

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**  
**Divisão de Astrofísica**  
**Workshop da Divisão de Astrofísica 2013**

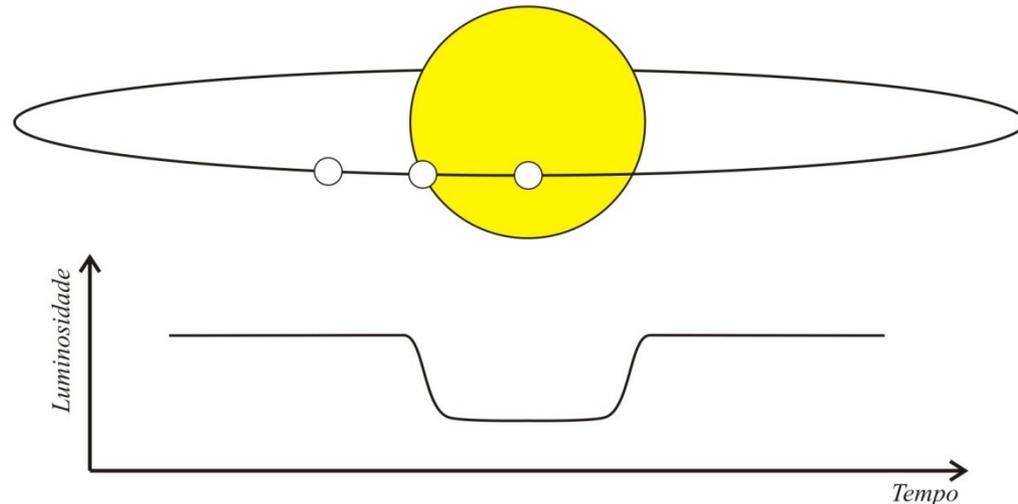
**Busca por Exoluas e Anéis  
em Órbita de Exoplanetas  
Utilizando os Telescópios Espaciais  
CoRoT e Kepler**

**Luis Ricardo Moretto Tusnski**

**Orientadora: Dra. Adriana Válio**

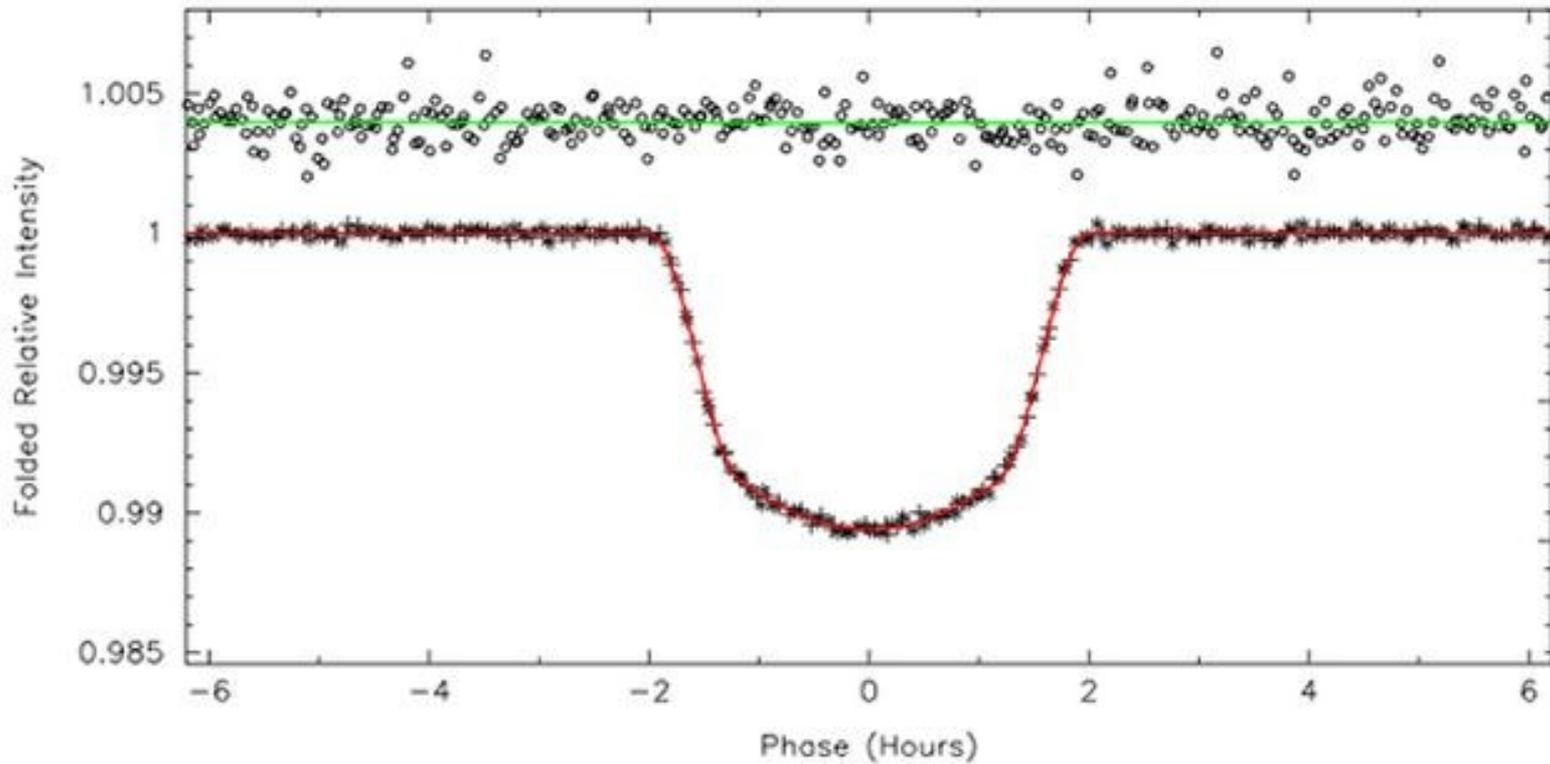
# Introdução

- Trânsitos Planetários: quando um exoplaneta passa diante de sua estrela hospedeira, causando um decréscimo na luminosidade observada da estrela.

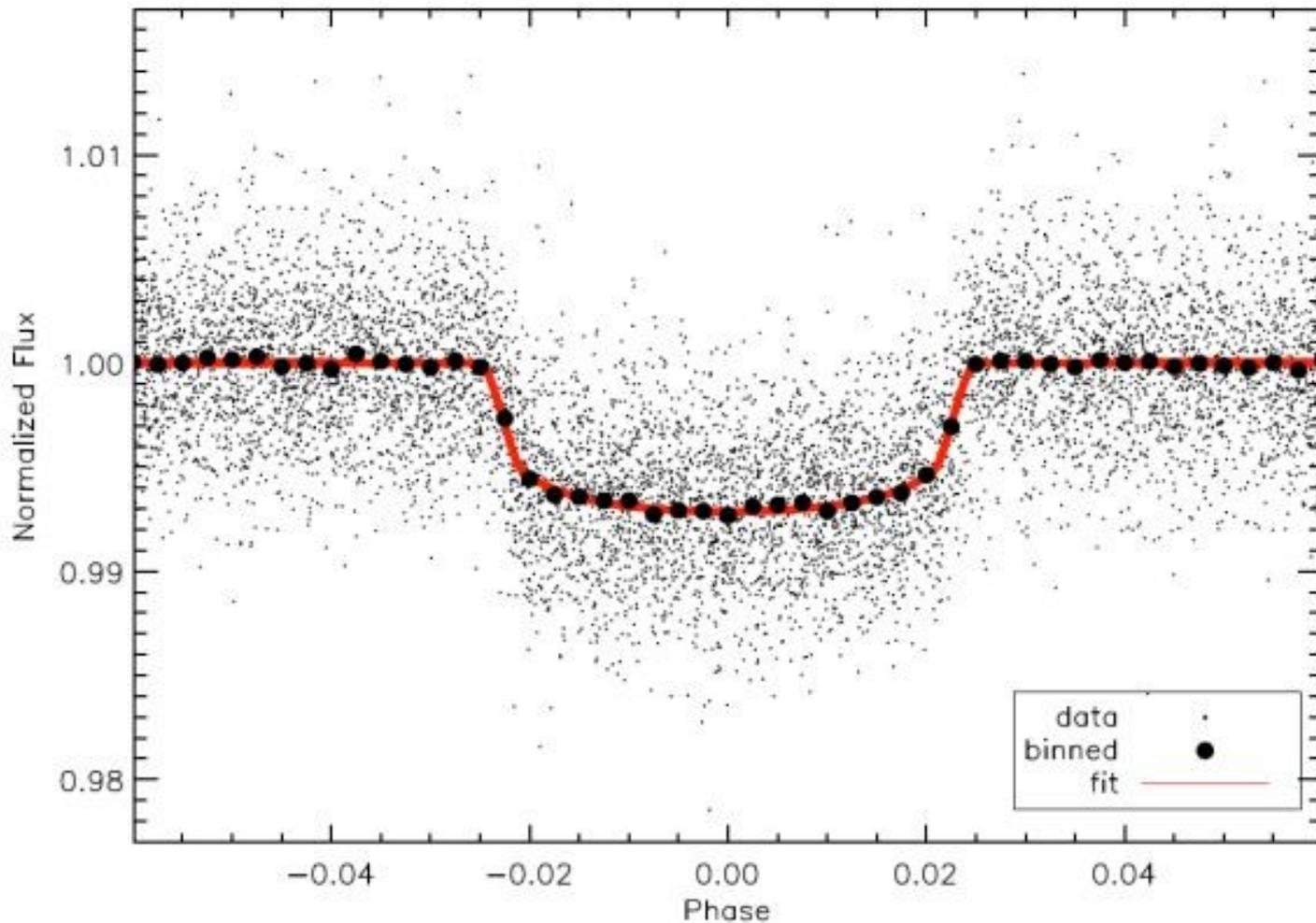


**Figura 1:** Detecção de planetas por trânsitos planetários.

- Planetas detectados por trânsitos e velocidades radiais possuem todos os parâmetros medidos, inclusive o ângulo de inclinação orbital, que deve ser próximo a 90o.
- Dos 871 exoplanetas detectados, 301 estão em trânsito (~ 34%).
- Duas missões espaciais estão detectando exoplanetas pelo método dos trânsitos:
  - CoRoT (CNES + colaboradores, inclusive o Brasil);
  - Kepler (NASA).



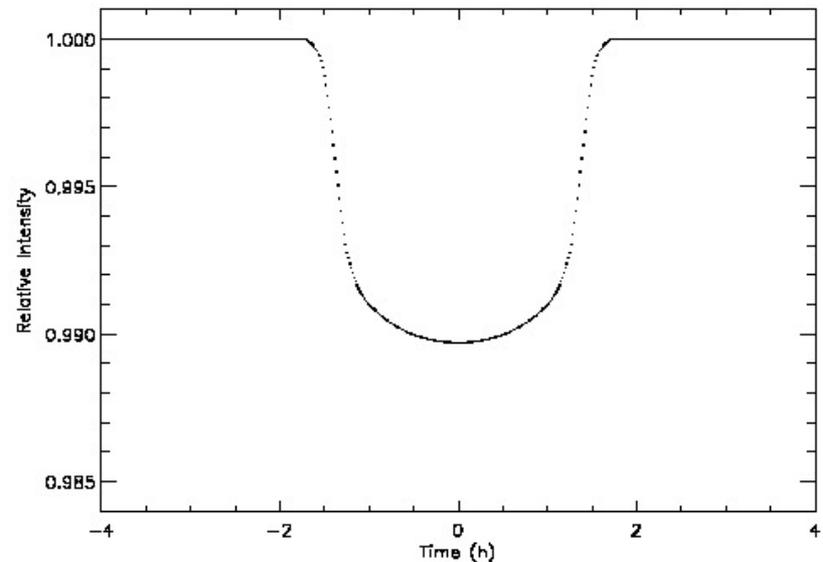
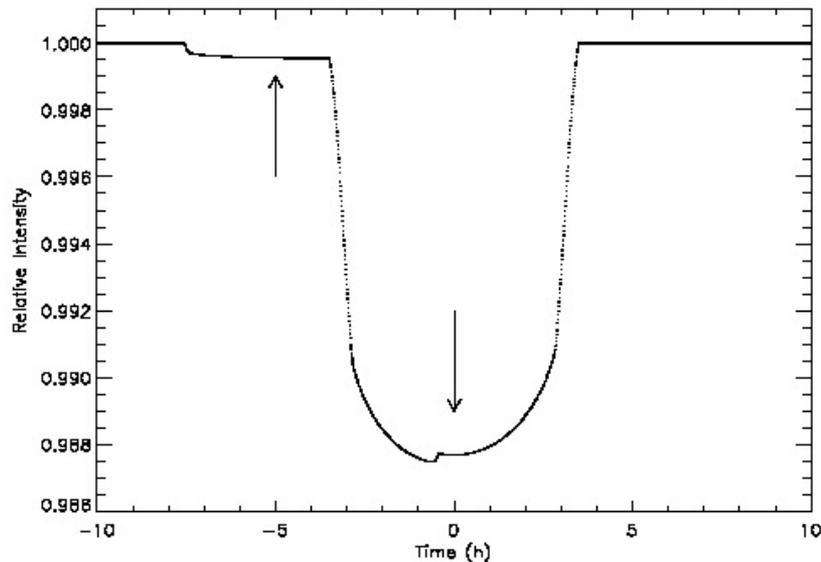
**Figura 2:** Curva de luz de Kepler-7b ( $R_p/R_* = 0.08$ )



**Figura 3:** Curva de luz de CoRoT-19b ( $RP/R^* = 0.09$ )

# Trabalho de Mestrado

- No Mestrado, foi desenvolvido um programa que simula o trânsito de um planeta com uma lua ou com anéis diante da estrela.
- Mostrou-se que como esse modelo pode ser usado na detecção de luas e anéis, e estabeleceu-se limites de detecção para os telescópios CoRoT e Kepler.
- O trabalho resultou em um artigo publicado no *The Astrophysical Journal* (arXiv: 1111:5599).



**Figura 4:** Simulação do trânsito de planetas com lua (esquerda) e anéis (direita).

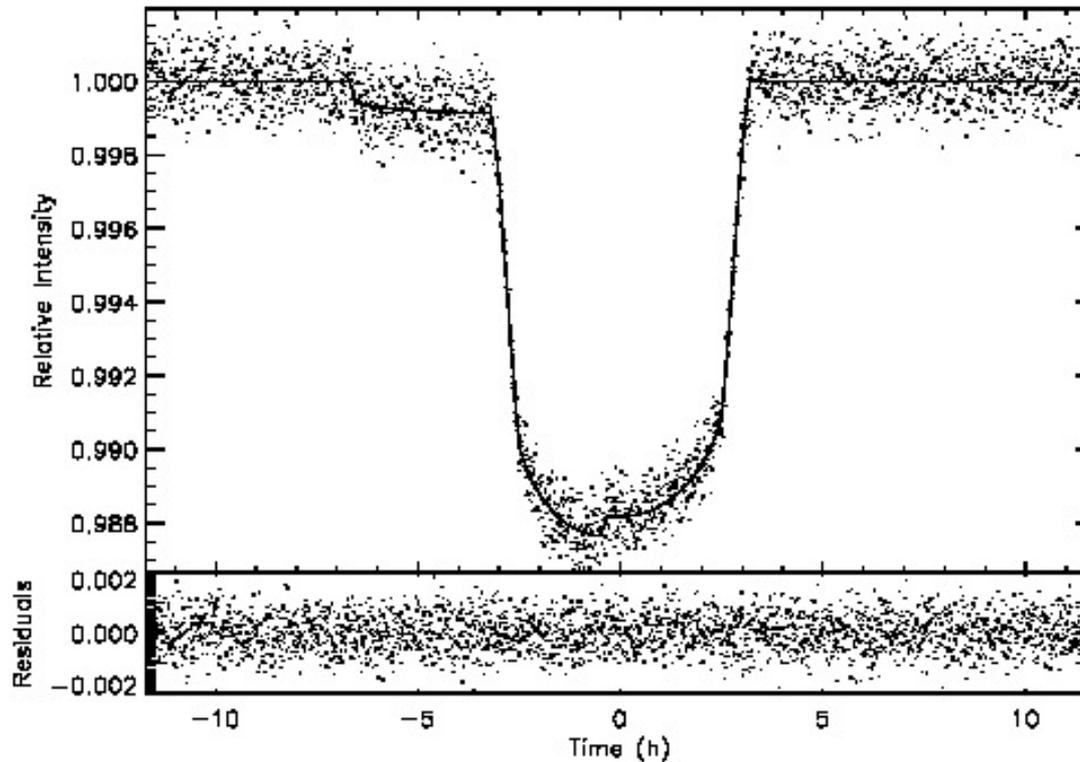
# Busca por Exoluas

- PSER – *Photometric Search for Exomoons and Rings.*
- Consiste em um programa desenvolvido em IDL para busca automatizada por exoluas e anéis em dados dos telescópios CoRoT e Kepler.
- Utiliza 3 métodos para seleção de candidatos.

# Sinais de Presença de Luas

- A presença de luas em órbita do planeta causa dois efeitos principais:
  - Distorções na curva de luz (degraus e assimetrias);  
e
  - Efeitos de variações temporais (no instante central e na duração do trânsito planetário).
- A detecção e medida desses efeitos permite obter os parâmetros físicos e orbitais da lua: período orbital, massa e raio.

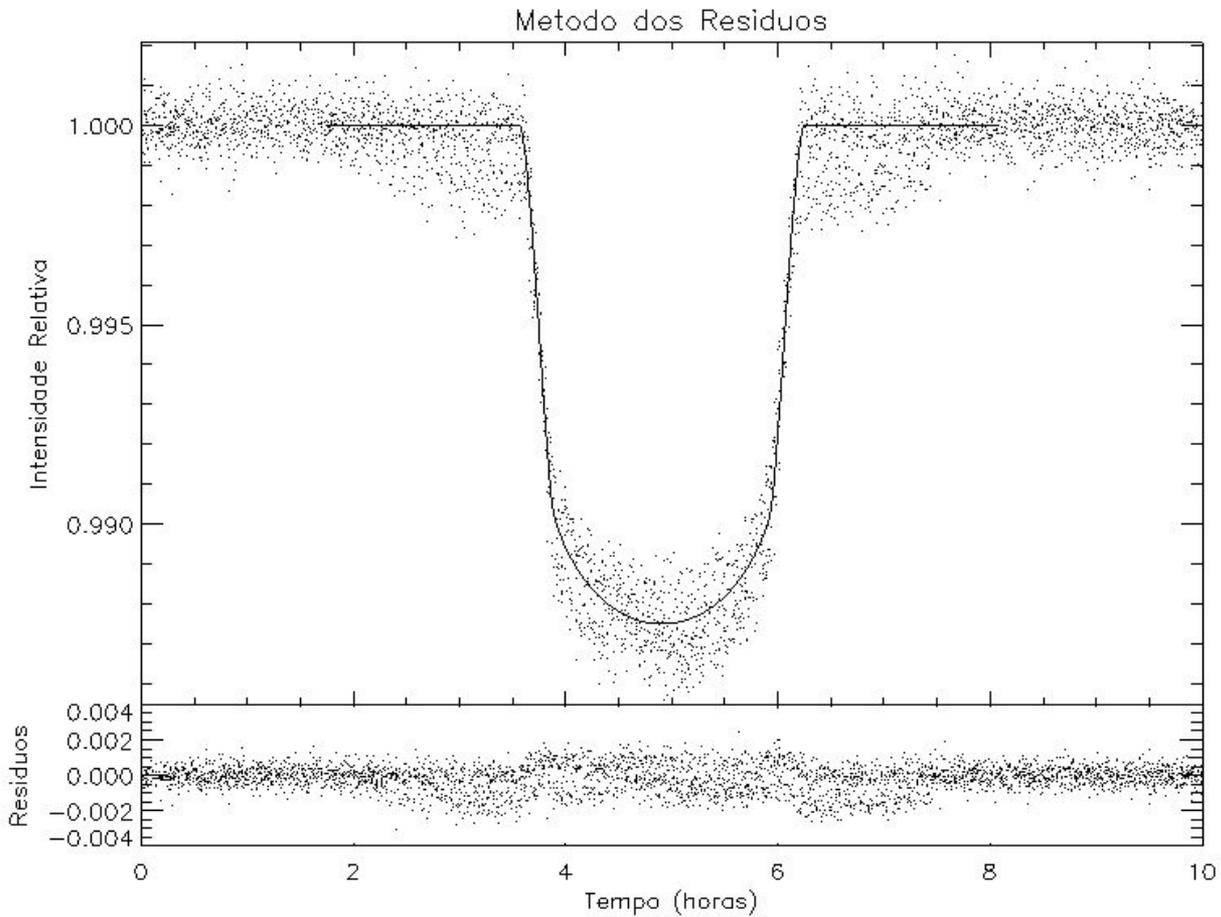
# Deformações na Curva de Luz



**Figura 5:** Deformações na Curva de Luz causadas pela presença de uma lua em órbita do planeta.

# Método dos Resíduos (*Scatter Peak*)

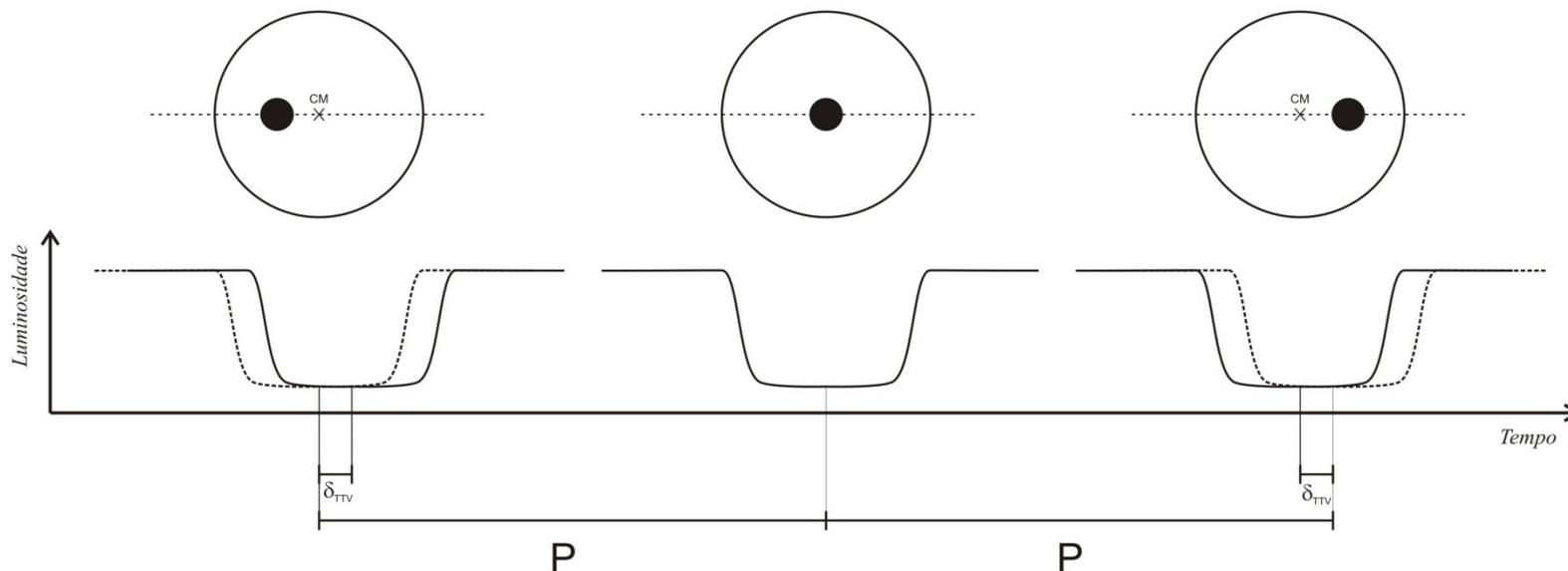
- Proposto por *Szabó et al (2010)*. Permite apenas detectar a lua, porém sem medir seus parâmetros.
- Consiste em sobrepor um grande número de trânsitos ( $\sim 100$ ), e ajustar a curva com o trânsito de um planeta.
- Caso o planeta analisado possua luas, será visto um excesso de resíduos antes e depois do trânsito.



**Figura 6:** Exemplo do método dos resíduos.

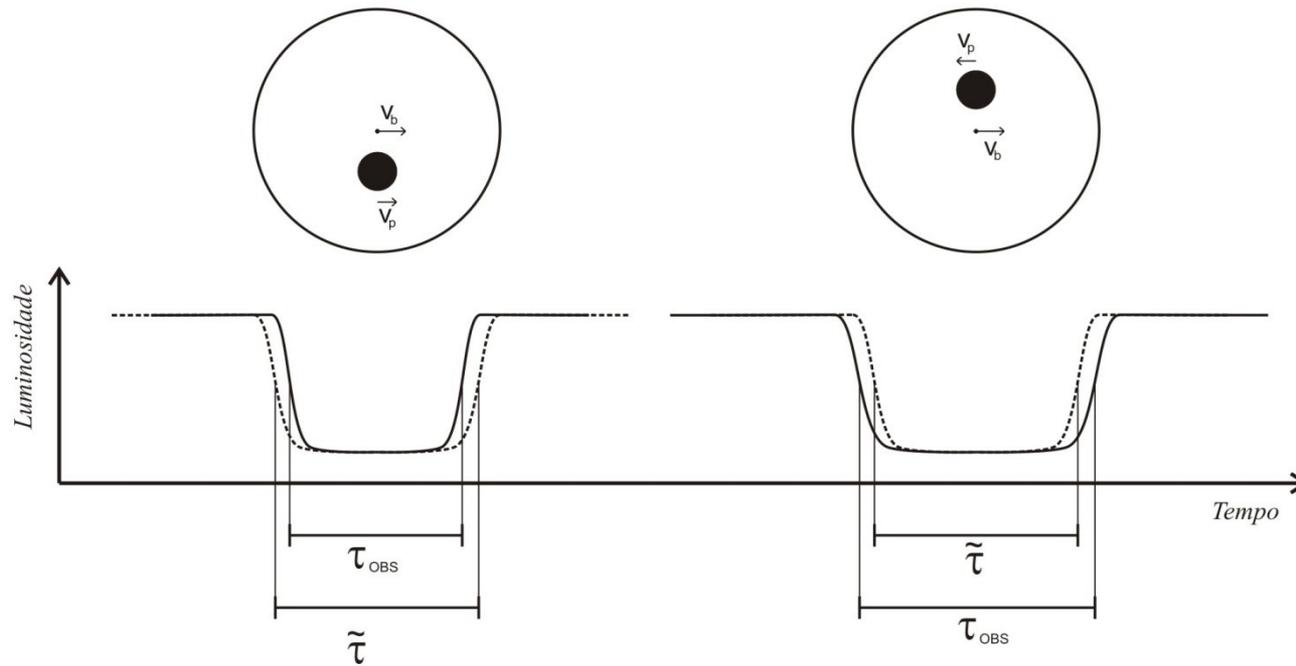
# Variações Temporais

- TTV (transit time variation): variações no instante de trânsito devido à posição do planeta em

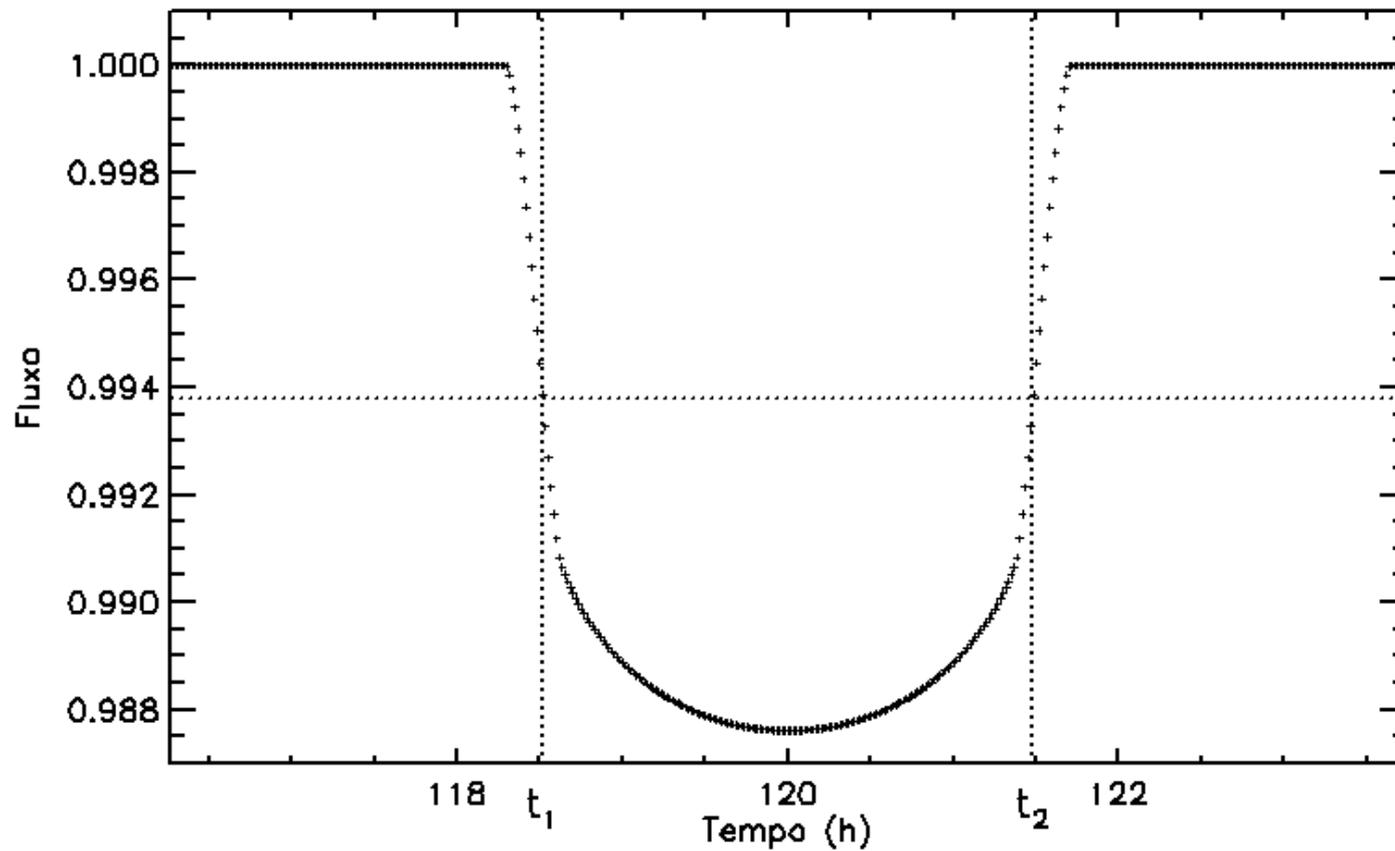


**Figura 7:** Transit Time Variation (TTV).

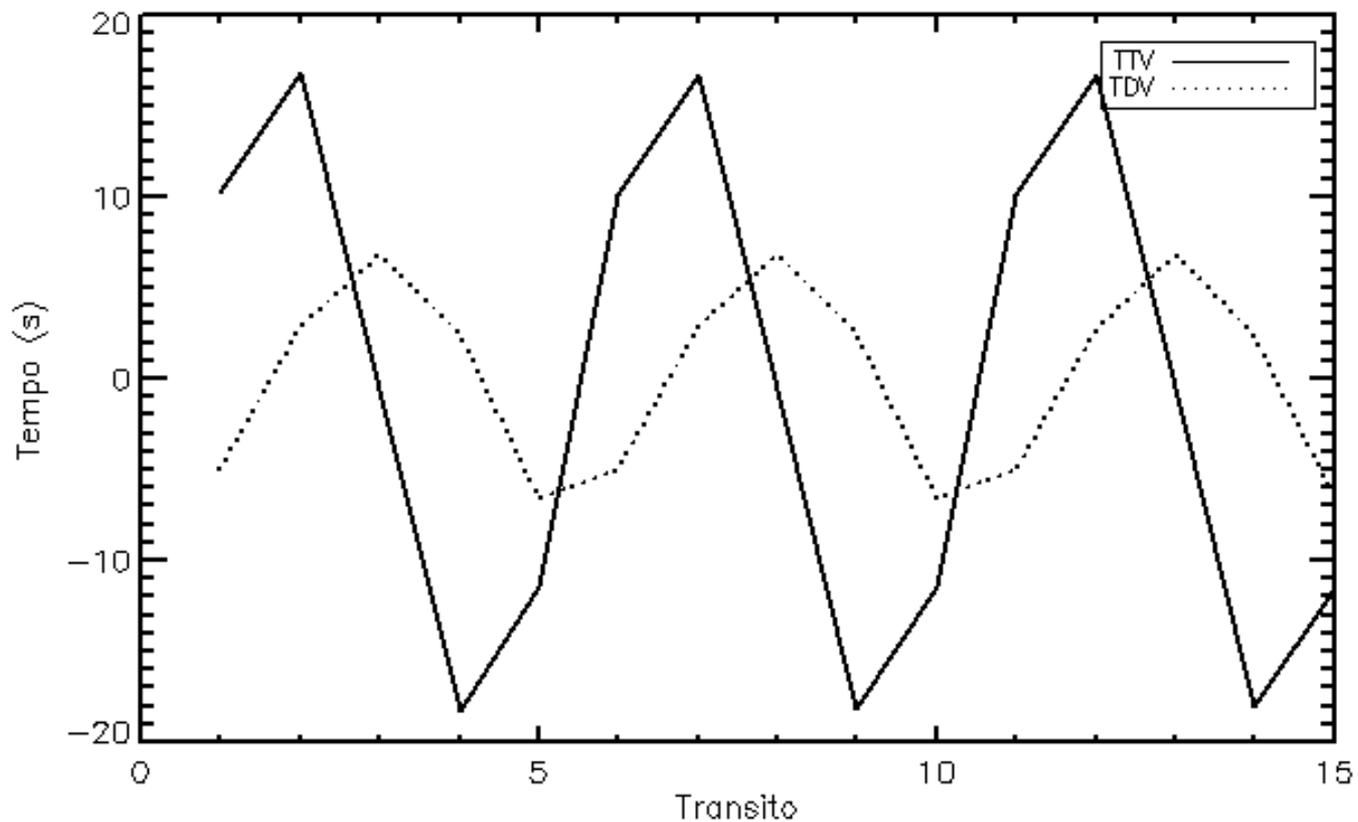
- Transit Duration Variation (TDV):



**Figura 8:** Transit Duration Variation (TDV).



**Figura 9:** Medidas diretas de TTV e TDV.



**Figura 10:** Medidas simultâneas de TTV e TDV.

# Detecção de Anéis Planetários

- Anéis podem ser detectados pelos resíduos.
- A diferença entre resíduos de anéis e luas é que resíduos de anéis são simétricos nos trânsitos individuais.
- Além disso, anéis não causam efeitos temporais.

# O Programa de Busca

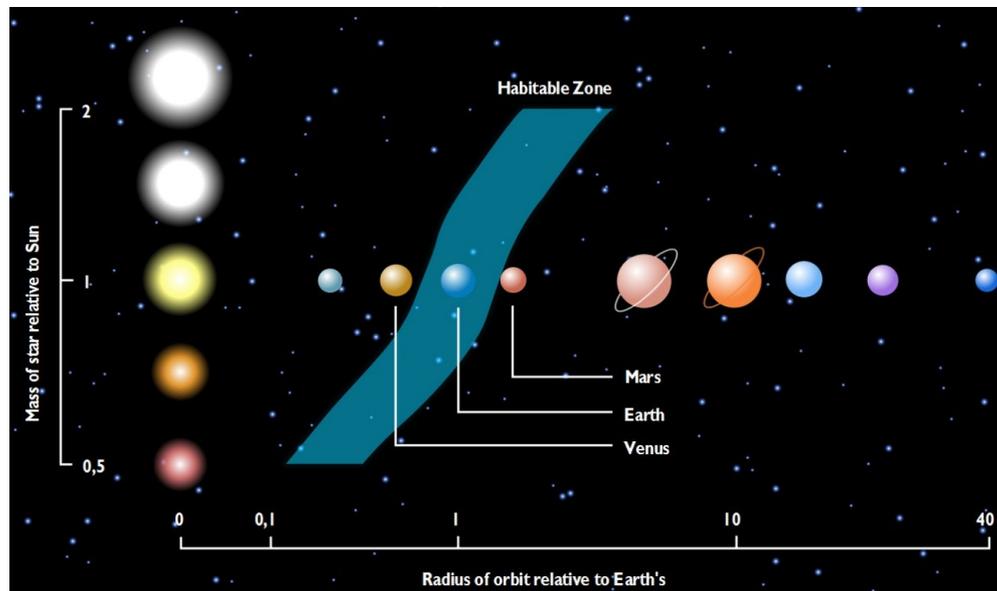
1. Dados de entrada – arquivos .FITS
  1. Cabeçalho – informações da estrela hospedeira
  2. Tabela – curva de luz
2. Identificação do primeiro trânsito
3. Cálculo de resíduos
4. Medidas de instante central e duração de cada trânsito
5. Identificação de candidatos
6. Utilizar o modelo desenvolvido no mestrado para determinação de parâmetros de possíveis luas ou anéis

# Resultados

- 21 Planetas foram analisados:
  - CoRoT-2b, 3b, 4b, 5b, 6b, 8b, 9b, 10b, 11b and 12
  - Kepler-4b, 5b, 6b, 7b, 8b, 12b, 15b, 17b, 18b, 21b and 27b
- Próxima etapa: analisar também os *candidatos a planetas* do Kepler.

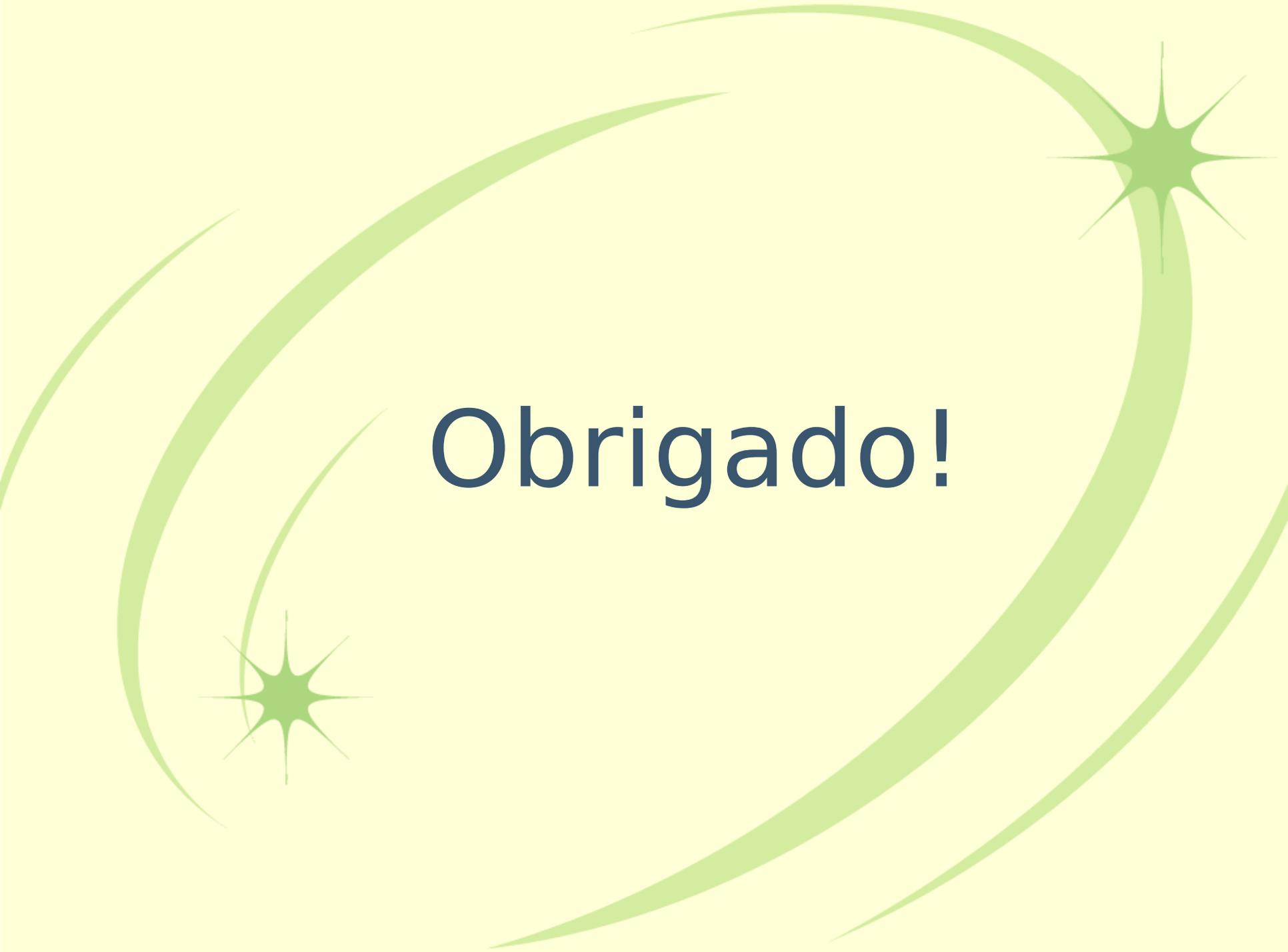
# Por quê luas e anéis?

- Habitabilidade: luas em órbita de planetas localizados na zona habitável também são habitáveis.



**Figura 11:** Zona Habitável.

- Formação planetária:
  - Formação antes ou depois da migração?
  - Interação lua/anéis com o disco durante a migração?
  - Interação lua/anéis com outros planetas durante a migração?
- Interação das luas/anéis com a estrela.
- No caso de não serem detectadas: *onde estão as exoluas?*

The background is a light green color. It features several thick, curved green lines that sweep across the frame. Two starburst shapes, composed of multiple thin green lines radiating from a central point, are positioned on the left and right sides of the image.

**Obrigado!**