

# Análise de Instantes de Trânsitos em Exoplanetas Usando o Programa TAP

Marildo G. Pereira<sup>1</sup>, Leonardo A. Almeida<sup>2</sup>, Aysses do Carmo Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Física – Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS)  
Feira de Santana – BA – Brasil

<sup>2</sup>Instituto Astronômico, Geofísico e Ciências Atmosféricas – Universidade de São Paulo  
(IAG-USP)  
São Paulo – SP - Brasil

marildogp@gmail.com;leonardodealmeida.andrade@gmail.com;ayssesdocarmo@gmail.com

**Abstract.** *Observations of times of the planetary transit on front a host star is an usual technique to detect exoplanets. This technique can be used to detect other bodies disturbing the orbit of the planet in transit causing variations in the moments of eclipses. This paper presents a study of the planetary system WASP-4, using the Transit Analysis Package. The results of central moments of transit measurements showed that the chain numbers used in the MCMC, is critical to minimize the errors associated with the instants of transits. However, the values of the errors measurement presented with values > 50% compared to that observed in literature.*

**Resumo.** *Observações dos instantes de trânsito planetário em frente a uma estrela hospedeira é uma técnica usual de detecção de exoplanetas. Esta técnica pode ser usada para a detecção de outros corpos planetárias que possam perturbar a órbita do planeta eclipsante, provocando variações nos instantes de eclipses. Este trabalho apresenta um estudo do sistema planetário WASP-4, usando o pacote de análise de trânsito TAP. Os resultados dos instantes de centro de trânsito mostraram que é crítico o número de cadeias utilizadas no método MCMC, minimizando os erros associados aos instantes dos trânsitos. Entretanto, os valores dos erros associados se apresentaram com valores >50% em relação aos observados na literatura.*

## 1. Introdução

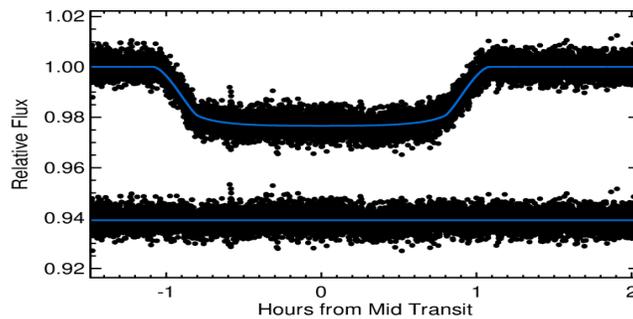
Na década de 90 foi realizada a descoberta dos primeiros planetas fora do Sistema Solar. Wolszczan & Frail (1992) descobriram dois planetas orbitando em torno do pulsar PSR 1257+12. Em 1995, Mayor & Queloz (1995) descobriram o primeiro planeta orbitando em torno de uma estrela da sequência principal. Desde então, o número de descobertas destes objetos, chamados de exoplanetas, tem crescido, atingindo hoje um número superior a 800. Dentre as técnicas de detecção dos exoplanetas se destacam as de medidas de Velocidade Radial, obtidas através de observações espectroscópicas, e a de Trânsito Planetário, realizada por meio de fotometria. A técnica de trânsito consiste na observação fotométrica da passagem do planeta sobre o disco de sua estrela hospedeira. A observação destes trânsitos permite a determinação de sua estrutura, bem como a determinação precisa de sua efeméride. Medidas de vários trânsitos permitem aferir se há outros corpos planetários no sistema perturbando a órbita do planeta conhecido.

Neste trabalho são apresentados os resultados da análise do sistema planetário em torno da estrela WASP-4. Esta estrela possui um planeta, tipo júpiter (WASP-4b), orbitando ao seu redor com um período  $P = 1,34d$  (Wilson et al., 2008). Almeida, Jablonski & Pereira (2012) propõem a existência de um segundo planeta perturbando a órbita de WASP-4b. Pesquisas buscando por variações de instantes de trânsito devido à perturbações gravitacionais provocadas pela presença de outros corpos com massas planetárias são adequadas para sistemas planetários eclipsantes com períodos de curta duração. Neste sentido, a técnica de Variação de Instante de Trânsito (sigla no inglês TTV) se mostra uma importante ferramenta para este tipo de análise.

Uma das ferramentas computacionais utilizadas para este tipo de análise é o Pacote de Análise de Trânsito (TAP – Transit Analysis Package) (Gazak et al., 2012). Este pacote é baseado no programa EXOFAST (Eastman, Gaudi & Agol, 2013) e utiliza uma interface gráfica IDL. TAP usa o procedimento Monte Carlo com Cadeia de Markov (MCMC) para ajustar curvas de luz de trânsitos planetários através do modelo analítico de Mandel e Agol (2002). Este pacote é implementado com a função de verossimilhança baseada em wavelet (Carter & Winn, 2009), a qual permite ao MCMC parâmetros de incertezas mais robustos que o tradicional método  $\chi^2$ . Neste trabalho, são apresentados os procedimentos e análises utilizando o TAP para medir instantes de trânsitos em curvas de luz de WASP-4b. São apresentados os valores de instantes de trânsito obtidos com o TAP, sendo as medidas de erros destes instantes comparadas com os valores usuais encontrados na literatura.

## 2. Redução dos Dados

Os dados utilizados neste trabalho são oriundos de observações fotométricas de imagens na banda do infravermelho. As observações foram realizadas no Very Large Telescope (VLT/ESO). As imagens são reduzidas com extração de bias, normalização por flat-field, subtração de dark e linearização. Após este tratamento é realizada a fotometria de diferencial usando a técnica conhecida com fotometria de abertura. O resultado deste processo é mostrado na Fig. 1.



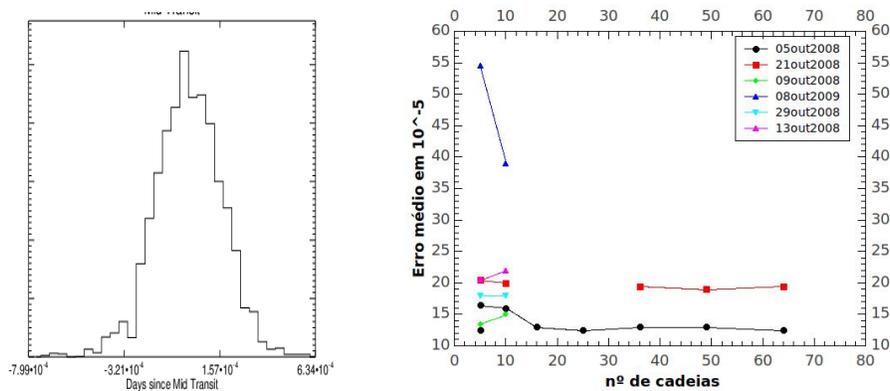
**Figura 1:** Curva de luz normalizada do trânsito de WASP-4b em 05/10/2008 (curva superior). A curva inferior mostra os resíduos entre os dados observacionais e o modelo (curva azul).

### 3. Análise dos Trânsitos

O processo de inicialização do tratamento das curvas de luz com o TAP consiste na introdução da configuração correlacionada com o MCMC e a utilização de parâmetros físicos do sistema com valores típicos do sistema. No caso de WASP-4b foi fixado o period orbital  $P = 1.33823144d$ .

### 4. Análise e Resultados

As análises realizadas neste trabalho visam determinar principalmente os instantes do centro dos trânsitos (Mid Transit). Foram realizadas simulações com várias configurações buscando obter a redução do erro associado com as medidas do centro dos trânsitos. Os parâmetros físicos foram delimitados pelos valores conhecidos na literatura (Carter & Winn, 2009; Gazak et al, 2012). Foram realizadas simulações variando o número de cadeias, de forma a obter uma boa amostragem das distribuições a posteriori dos parâmetros livres, como mostrado na Fig. 2 (esquerda). Os valores médios destas distribuições são os valores de saída gerados. Na Fig. 2 (direita) é mostrado o teste de variação do erro associado com o instante de centro dos trânsitos em relação ao número de cadeias utilizadas.



**Figura 2:** Histograma da distribuição posteriori produzida para o instante de centro de trânsito (esq.) e gráfico mostrando a relação entre  $\sigma_T$  e o número de cadeias (dir.).

Os valores dos instantes do centro do trânsito, mostrados na Tab. 2, são compatíveis com os valores obtidos com outros métodos, como Wilson-Devinney por exemplo (Kallrath et al., 1998). Entretanto, os valores dos erros associados  $\sigma_T$  estão se apresentando significativamente maiores (>50%) (Nikolov et al. 2012). Testes com a variação dos limites de validade das soluções podem ser a solução para este tipo de problema e serão avaliados na continuidade deste trabalho.

**Tabela 2:** Instantes de Centro de Trânsitos de WASP-4b Derivados pelo TAP.

Data	T Mid (DJBT)	$+\sigma_T$	$-\sigma_T$
05Out2008	4744,63132	0,00013	0,00012
09Out2008	4748,64731	0,00013	0,00014
13Out2008	4752,66160	0,00021	0,00020
21Out2008	4760,69172	0,00019	0,00019
29Out2008	4768,72177	0,00019	0,00017
08Out2009	5112,6486	0,0041	0,0037

### Agradecimentos

Esse estudo foi parcialmente apoiado pela CAPES, pela Fapesp (LAA: [2012/09716-6](#)) e FAPESB (ACO: Bolsa de IC).

### Referências

- Almeida, L. A., Jablonski, F. & Pereira, M. G., Sagan Summer Workshop: Working with Exoplanet Light Curves, CALTECH, 2012.
- Carter, J. A. & Winn, *Ap.J.*, **704**, 51-67, 2009.
- Eastman, J., Gaudi, B. S.; Agol, E., *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Vol. **125**(923), 83-112, 2013.
- Gazak, J. Z. et al., *Advances in Astronomy*, Vol. **2012**, Article ID 697967, 8 pages, 2012.
- Kallrath, et al., *Ap. J.*, **508**, 308-313, 1998.
- Mandel, K. & Agol, E., *Ap. J.*, **580**, L171-L175, 2002.
- Mayor, M. & Queloz, D., *Nature* **378**, 355 – 359, 1995
- Nikolov N., Henning T., Koppenhoefer J., Lendl M., Maciejewski G., Greiner J., *Astron. Astrophys*, **539**, A159, 2012.
- Thorsett, S. E., Arzoumanian, Z., & Taylor, J. H. , *ApJ Letters*, **412**, L33, 1993.
- Wilson, D. M.D. *et al.*, *ApJ*, **675**, L113, 2008.
- Wolszczan, A. & Frail, D. A., *Nature*, **355**, 145, 1992.