

# Trânsito do exoplaneta WASP-110 b

Denis H. Kulh, Carlos A. Colesanti, Ester C. Olim, Luiz O. Mantovani,  
Tasso A. Napoleão, Wellerson L. Silva

Grupo Alfa Crucis

**RESUMO.** Descrevem-se aqui os resultados fotométricos da observação do trânsito do exoplaneta WASP-110 b ocorrido em 9-10 de agosto de 2019 e registrado, através de operação remota via internet, no Observatório Orion (Mairinque, SP, Brasil). Entre 23:10 UTC de 09 de agosto e 02:14 UTC de 10 de agosto, foram obtidas 357 imagens CCD brutas, das quais 337 foram utilizadas na redução fotométrica. A duração do trânsito segundo nossas medições foi de  $(195.7 \pm 29.3)$  minutos. A queda máxima de brilho (ou profundidade do trânsito) foi de  $(0.0318 \pm 0.0192)$  mag, ou seja, provavelmente algo da ordem de 30 milimagnitudes. A modelagem com base nesses dados indica um planeta de raio da ordem de 1.5 raios de Júpiter.

**Palavras-chave:** Exoplaneta. Trânsito. Fotometria. WASP.

## Transit of exoplanet WASP-110 b

**ABSTRACT.** We present our results for the transit of exoplanet WASP-110 b which took place on August 9-10, 2019. We observed through remote operation from Orion Observatory (Mairinque, SP, Brazil), obtaining 357 CCD frames from August 9, 23:10 UTC, to August 10, 02:14 UTC. Out of those, 337 were used for the photometric reductions. Our data indicate a transit duration of  $(195.7 \pm 29.3)$  minutes and a transit depth of  $(0.0318 \pm 0.0192)$  magnitudes. Model-fitting our data for WASP-110 b shows a radius equivalent to about 1.5 Jupiter radius for the exoplanet.

**Keywords:** Exoplanet. Transit. Photometry. WASP.

### 1. INTRODUÇÃO\*

Em agosto de 2018, o Grupo Alfa Crucis realizou a sua primeira observação de um trânsito de um planeta extrassolar: o exoplaneta WASP-77A b. Os resultados dessa pesquisa, vistos em Napoleão, Silva e Kulh (2019) (doravante, NSK19) foram animadores e incentivaram o grupo a prosseguir na atividade de monitoramento e registro de trânsitos exoplanetários. Assim, durante o outono e inverno de 2019 (épocas em que o clima é mais favorável no sudeste brasileiro), foi

possível a observação de trânsitos dos exoplanetas WASP-123 b, HD189733 b, XO-1 b, WASP-110 b, WASP-26 b, TrES-3 b e WASP-2 b. As reduções e análises dos dados de todos esses trânsitos estão sendo efetuadas no momento e serão publicadas ao longo dos próximos meses no website do Grupo Alfa Crucis (<https://alfacrucis.org/>). Por diversos motivos, optamos por dar prioridade nesse trabalho a dois exoplanetas: WASP-110 b (o presente artigo) e WASP-26 b (cuja redução foi realizada por outros membros do grupo e em breve será publicada no mesmo website).

---

\* Neste artigo será adotado o ponto (.) na notação de decimal.

Em NSK19, foram apresentadas as condições essenciais para que um trânsito exo-

planetário possa ser observado da Terra, bem como (de forma simplificada) os fatores que determinam a maior ou menor probabilidade de detecção real de trânsitos. Como descrito naquele artigo, esses fatores favorecem especialmente a descoberta, pelo método do trânsito, de exoplanetas do tipo que costuma ser chamado de “*hot Jupiters*”: são planetas que possuem raios e massas da ordem das de Júpiter e que se encontram muito próximos de suas estrelas (ou, o que é equivalente, que têm períodos orbitais muito curtos – algo em torno de dez dias no máximo). Como veremos a seguir, WASP-110 b é um exemplo típico dessa classe de exoplanetas. Para exoplanetas mais remotos e de períodos maiores, outras técnicas de detecção são mais eficientes, sobretudo a da velocidade de radial (como demonstrado na Figura 1).

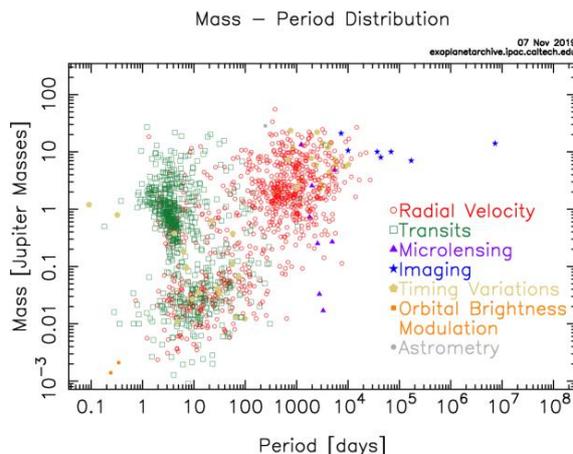


Figura 1. Distribuição dos exoplanetas conhecidos até novembro de 2019 de acordo com o método de descoberta. Fonte: NASA Exoplanet Archive.

A importância do método do trânsito para a descoberta de planetas extrassolares pode ser avaliada através de um exemplo simples: na data em que este texto é escrito (início de novembro de 2019), um total de 4128 exoplanetas haviam sido confirmados (SCHNEIDER, 2019). Nada menos de três quartos desse total haviam sido descobertos através de trânsitos, destacando-se aqui a sonda espacial Kepler, operada pela NASA

entre 2009 e 2013, com mais de 2600 exoplanetas descobertos. Esses números serão certamente ampliados drasticamente nos próximos anos com os resultados da sonda TESS (Transiting Exoplanet Survey Satellite), lançada em 2018 e operada pela NASA e MIT – <https://heasarc.gsfc.nasa.gov/docs/tess/>. A TESS pesquisará uma área do céu 400 vezes maior do que aquela examinada pela Kepler.

O programa WASP (Wide Angle Search for Planets) é uma colaboração entre diversas instituições acadêmicas britânicas para a descoberta de exoplanetas pelo método do trânsito. O WASP opera duas estações robóticas de imageamento: SuperWASP Norte (em La Palma, nas Ilhas Canárias) e SuperWASP Sul (em Sutherland, na África do Sul). Até novembro de 2019, o WASP havia descoberto 192 planetas extrassolares (<https://wasp-planets.net/wasp-planets/>). A estratégia observacional do WASP se concentra na pesquisa de trânsitos de exoplanetas em estrelas brilhantes (com magnitudes V entre 7.0 e 11.5), nas quais a precisão dos dados fotométricos é melhor que 1%, e que permitem ainda um acompanhamento espectroscópico posterior das candidatas selecionadas (POLLACCO et al., 2006).

O sistema de WASP-110 b, na constelação do Sagitário, foi descoberto recentemente (ANDERSON et al., 2014), em uma campanha que revelou ainda cinco outros exoplanetas do tipo *hot Jupiters* em torno de estrelas das classes espectrais F e G. (WASP-87 b, WASP-108 b, WASP-109 b, WASP-111 b e WASP 112 b). Foram usados nessa campanha a estação SuperWASP Sul, na África do Sul (para a descoberta) e três telescópios com aberturas entre 0.6 m e 1.52 m situados no ESO La Silla, no Chile (para a obtenção de dados fotométricos e espectroscópicos mais precisos).

A estrela central (WASP-110, ou GSC 7961:959) está situada à distância de  $320 \pm 30$  pc, é da classe espectral G9 e tem magnitude  $V = 12.3$ ; sua massa é de aproximadamente  $0.9 M_{\odot}$  e seu raio equivale a  $0.88 R_{\odot}$ . A estrela possui idade estimada de  $8.6 \pm 3.5$  bilhões de anos; tanto a sua temperatura efetiva ( $5400 \pm 140$ ) K como também a sua metalicidade ( $[Fe/H] = -0.06 \pm 0.1$ ) são bastante próximas das solares (dados de Anderson et al., 2014).

O planeta (WASP-110 b), também de acordo com o artigo da descoberta, possui massa equivalente a  $(0.515 \pm 0.064)$  massas de Júpiter e raio de  $(1.238 \pm 0.056)$  vezes o raio joviano; ele se encontra a 0.045 unidades astronômicas da estrela e seu período orbital é de apenas 3.778 dias.

Curiosamente, esses são os únicos dados disponíveis até hoje sobre o sistema de WASP-110 b. Nem o banco de dados ETD (Exoplanet Transit Database), mantido pela Sociedade Astronômica Tcheca e hoje considerado o mais completo repositório de registros de trânsitos exoplanetários, nem os sites <http://exoplanet.eu/> (Observatório de Paris) e <https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/> (NASA Exoplanet Archive) ou mesmo buscas no ADS ou CDS trazem informações adicionais ao que foi relatado no paper original. Aparentemente, o presente artigo é apenas o segundo já escrito sobre este exoplaneta, e o primeiro após sua descoberta. Essa escassez de dados sobre WASP-110 b foi o motivo principal da prioridade que atribuímos a esse exoplaneta.

## 2. AQUISIÇÃO DOS DADOS

A detecção do trânsito de um exoplaneta, com um sinal fotométrico na casa dos milésimos de magnitude, está longe de ser uma observação trivial. Em NSK19, discutimos os diversos fatores de natureza astro-

nômica, instrumental, operacional e ambiental que devem ser considerados e superados para uma observação desse tipo. No caso específico deste trânsito de WASP-110 b, existia ainda um desafio adicional: a robotização do Observatório Orion, que havia sido efetuada poucas semanas antes da data do trânsito e ainda estava em fase de ajustes. O presente trabalho é o primeiro no qual toda a operação foi feita remotamente via internet (de São Paulo e da Flórida, EUA).

O Observatório Orion, instalado na cidade de Mairinque (SP) desde 1986, é um dos mais tradicionais observatórios amadores do Brasil. Entre diversas inovações, foi o primeiro observatório não profissional brasileiro a usar câmeras CCD (em 1991), o único a registrar as marcas do impacto do cometa Shoemaker-Levy com Júpiter (em 1994) e o primeiro a fazer o monitoramento espectroscópico de determinadas linhas de Eta Carinae durante o ciclo de 5.5 anos dessa estrela no ano de 2003. As coordenadas do observatório são: latitude  $23^{\circ}34'10.19''$  Sul, longitude  $47^{\circ}12'40.38''$  Oeste, altitude de 884 m.



Figura 2. Observatório Orion, em Mairinque (SP).

O telescópio principal é um Schmidt-Cassegrain Meade LX-200 com abertura de 12 polegadas (305 mm) e distância focal de 3048 mm (f/10). Para este trabalho foi usado

também um redutor focal Meade  $f/3.3$  e um filtro V da série UBVRI Johnson-Cousins. A câmera CCD é uma SBIG ST7-XME (chip Kodak KAF402, com  $765 \times 510$  pixels de 9 micra). A montagem é uma Paramount MX robótica, controlada pelo programa TheSky X (Software Bisque) e operada a distância por meio de interfaces desenvolvidas especialmente para o observatório e da ferramenta de suporte remoto TeamViewer. Uma análise prévia de apontamento polar do telescópio foi executada (remotamente) com o software TPoint, que trabalha em conjunto com o TheSky X. Para tanto foi feita uma modelagem baseada no plate solving de cerca de 100 estrelas. Embora esse procedimento tenha melhorado substancialmente a precisão do apontamento polar (a ponto de permitir o imageamento sem guiagem), ficou constatado que ainda havia necessidade de um refinamento: um pequeno ajuste mecânico nos parafusos de azimute e altura da montagem (que não pode, todavia, ser feito remotamente). Isso significa um potencial para melhoria nas futuras observações, bastando efetuar essa regulagem in loco.

A escolha da data do trânsito específico de WASP-110 b foi feita com o auxílio do website ETD (Exoplanet Transit Database), da Seção de Exoplanetas da Sociedade Astronômica Tcheca (ver Referências). Levou-se em conta principalmente uma limitação frequente na região de Mairinque: certa instabilidade climática que costuma ocorrer nas noites de inverno (infiltrações de nuvens baixas e rápidas que cobrem parcial ou totalmente o céu durante parte da noite). Obviamente, isso é um sério entrave para este tipo de observação, que tipicamente requer várias horas seguidas de céu perfeitamente estável e transparente. Por esse motivo, geralmente são necessárias várias tentativas até que se consiga o monitoramento de um trânsito por toda a sua extensão. WASP-110 b não foi exceção a essa regra.

Porém, na noite de 09-10 de agosto de 2019, as condições atmosféricas se mostravam muito favoráveis: céu aberto, temperatura estável, bom seeing. Um trânsito de WASP-110 b estava previsto, com início às 23:19 UTC de 09/8, meio do evento às 00:43 UTC de 10/08 e final às 02:07 UTC de 10/08. As posições da estrela no céu (altura/azimute) eram respectivamente de  $49^\circ/130^\circ$ ,  $62^\circ/215^\circ$  e  $50^\circ/228^\circ$  naqueles três instantes.

Não eram condições ideais. A Lua (com fração iluminada de 74%) se encontrava à distância angular de  $50^\circ$  da estrela, o que, sabíamos, certamente significaria certo prejuízo à qualidade das imagens. Além disso, pouco antes do início do trânsito, a estrela ainda se encontrava escondida atrás de pinheiros existentes no local (o que nos impossibilitava iniciar o imageamento meia hora antes do horário previsto – intervalo que consideramos o mínimo adequado para facilitar a redução). Juntamente com a poluição luminosa da própria cidade de Mairinque, que fica a leste-nordeste do observatório, estes eram os fatores desfavoráveis. Ou seja, certamente não eram as condições ideais – mas eram as possíveis. Decidimos então realizar o monitoramento desse trânsito mesmo com essas limitações.

Foram realizadas 357 imagens do campo de WASP-110 b (das quais 337 foram aproveitadas na redução), iniciando às 23:10:54 UTC e encerrando às 02:14:39 UTC. Acharmos prudente encerrar o imageamento apenas sete minutos após o fim do trânsito (novamente fugindo à nossa “regra” de meia hora antes e depois dos instantes previstos para o trânsito) porque, às 02:18 UTC, a estrela atingiria o meridiano e a montagem iria executar o flip nesse momento.

Outros dados e condições operacionais: Temperatura da câmera CCD:  $-15^\circ\text{C}$ . Tempo

de exposição de cada imagem: 25 s, com intervalo de 5 s entre elas. Binning 1:1. Campo de cada imagem: aproximadamente 32.6 x 21.7 arcmin. Distância focal efetiva do setup completo: 728 mm. Escala de placa: cerca de 2.55 arcsec/pixel. Magnitude-limite das imagens: cerca de 16.0. Na Figura 3 reproduzimos uma das imagens obtidas.

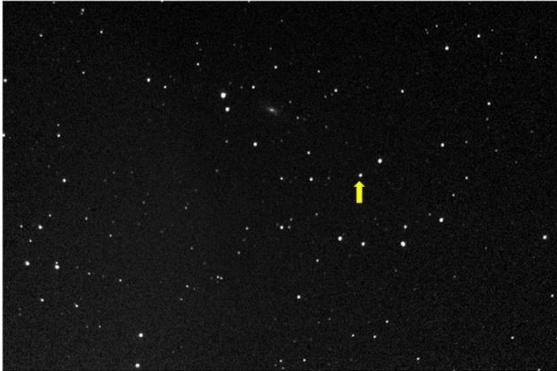


Figura 3. Campo de visão da estrela WASP-110 (indicada pela seta). Orientação da imagem: Norte para cima, Leste para a esquerda.

### 3. REDUÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Esta seção descreve o conjunto de procedimentos usados para converter os dados observacionais brutos descritos na seção anterior em resultados e conclusões finais, acompanhados de sua interpretação física. Dentre os procedimentos de redução, destacamos a seleção das imagens de trabalho, o processo de calibração das mesmas e a realização de sua fotometria diferencial. Já entre os procedimentos de análise merece nota o tratamento estatístico aplicado aos dados fotométricos, além dos algoritmos de modelagem de trânsito aplicados a esses dados e os consequentes resultados astrofísicos obtidos.

#### 3.1. Redução

Para a redução dos dados brutos foram utilizados os procedimentos descritos no capítulo 7 do manual *A Practical Guide to*

*Exoplanet Observing* (CONTI, 2018). Esse capítulo é dedicado à utilização do software AstroImageJ (AIJ) tanto para as atividades de redução quanto para a modelagem de trânsito. Mais especificamente, seguimos as fases de preparação, calibração e fotometria diferencial do suplemento *The AIJ Cookbook* (BOYCE, ed. por D. Conti). A seguir estão descritos mais detalhes sobre essas fases.

##### 3.1.1. Fase de preparação

Das 357 imagens científicas (light frames) obtidas na sessão de aquisição foram posteriormente descartadas 20. O critério de descarte levou em consideração o aparecimento de artefatos (raios cósmicos, hot pixels) nas imagens próximas às potenciais estrelas de comparação.

Assim, para as fases seguintes foram selecionadas 337 imagens, além das 10 imagens de bias frames e 10 imagens de flat frames.

##### 3.1.2. Fase de calibração

O objetivo desta fase é calibrar as imagens científicas para que a fotometria diferencial de abertura da próxima fase possa ser realizada adequadamente. Utilizamos o recurso “CCD Data Processor” do software AIJ. Como o funcionamento desse recurso foi bem explorado em NSK19, não entraremos em detalhes neste trabalho.

Durante a aquisição das imagens foi aplicado o autodark. Assim, o recurso de “dark subtraction” não foi necessário na calibração.

Conforme detalhado no capítulo de aquisição, foi identificada a necessidade de um refinamento no apontamento polar na montagem. A falta desse refinamento ocasionou pequenos desvios entre as imagens cien-

tíficas registradas. Dessa forma, após a fase de calibração no AIJ, procedemos ao alinhamento das mesmas. O AIJ possui o recurso de alinhamento, mas o software PixInsight, muito utilizado para astrofotografia, se mostrou mais eficiente nessa tarefa. Para o alinhamento utilizamos a funcionalidade StarAlignment da versão 1.8.8 Ripley do PixInsight. Esta funcionalidade exige uma imagem de referência, e para tanto usamos a primeira imagem adquirida, visto que a estrela em estudo neste trabalho encontrava-se perfeitamente posicionada naquela imagem.

### 3.1.3. Fase de fotometria diferencial

A fotometria diferencial consiste em aplicar um fotômetro de abertura na estrela-alvo e em múltiplas estrelas de referência, comparando então as diferenças relativas nos fluxos ajustados (CONTI, 2018). Segundo Conti, para obter um bom resultado, seria preciso pelo menos 8 estrelas de comparação com magnitudes próximas da estrela-alvo, além de outros requisitos que foram descritos em NSK19.

Graças à distância focal utilizada durante a fase de aquisição e também à região do céu em estudo, muitas estrelas de comparação estavam disponíveis para escolha. Além dos requisitos explorados em NSK19, dois outros critérios foram utilizados na escolha das estrelas de comparação. Um critério foi a região na imagem com melhor relação sinal-ruído em função da poluição luminosa existente no local da aquisição. O outro critério foi a posição das estrelas na imagem em função do deslocamento provocado pela falta do refinamento do alinhamento polar. Considerando tais restrições, foram selecionadas 10 estrelas de comparação para a realização da fotometria diferencial, conforme apresentado na Figura 4.

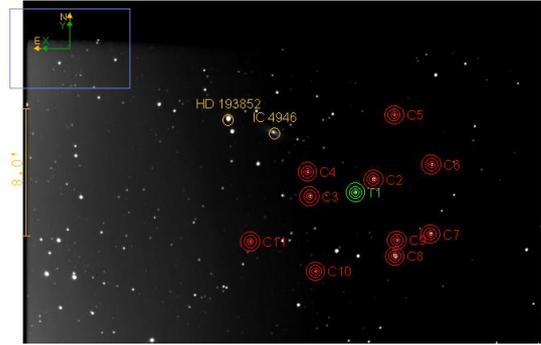


Figura 4. Campo de visão e seleção de estrelas de comparação para fotometria diferencial do objeto WASP-110 b.

Após a seleção das estrelas de comparação, partimos para a determinação do raio de abertura do fotômetro, dos anéis internos e externos de medição de background. Neste trabalho foi usado o método automatizado descrito no guia de Conti (2018). Para WASP-110 b, foram sugeridos os raios 5, 9 e 14, respectivamente, conforme a Figura 5. Os raios sugeridos foram também adequados para as estrelas de comparação escolhidas.

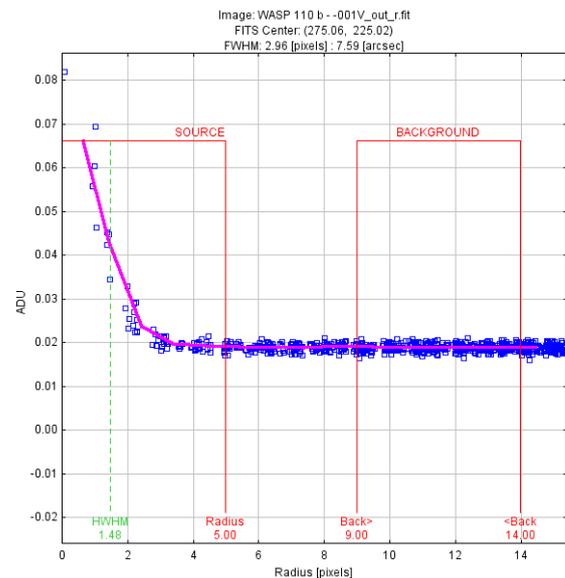


Figura 5. Seeing profile: parâmetros do fotômetro sugeridos para o objeto WASP-110 b.

Ao informar os parâmetros do fotômetro no software AIJ, foi gerada uma tabela simples com 337 linhas contendo os dados fotométricos de fluxo dos objetos selecionados.

dos, bem como os demais dados relevantes para a fase de análise (JD, HJD, erro-padrão da medida de fluxo, AIRMASS etc.), concluindo assim a fase de redução dos dados.

### 3.2. Análise

Conforme discutido em NSK19, antes de proceder aos cálculos de modelagem de trânsito a partir dos dados fotométricos obtidos na etapa de redução, é recomendável diminuir a dispersão das medidas de fluxo presentes naturalmente em aquisições realizadas com equipamentos amadores. Uma maneira de se atingir esse objetivo é fazendo um tratamento estatístico desses dados, por exemplo, calculando a média ou mediana de grupos de pontos adjacentes.

Adicionalmente, esse agrupamento de pontos deve ser feito observando-se os critérios de qualidade de dados definidos na seção 3.2 do trabalho sobre a redução e processamento de dados fotométricos de trânsito de exoplanetas de Poddany (2010), pois a relação descrita naquele trabalho é capaz de indicar um bom compromisso entre dispersão fotométrica e resolução temporal ao relacionar tais grandezas em um único índice, conforme quadro a seguir.

$$\alpha = (\delta / S) * \rho^{1/2}$$

Onde:

- α é um índice temporal de qualidade de dados;
- δ é a profundidade medida do trânsito;
- S é o desvio médio absoluto entre os dados e o modelo ajustado;
- ρ, que representa a taxa de amostragem de dados, é igual a N / l, onde l é a duração da sessão de observação em minutos e N é o número de pontos.

Quadro 1. Índice temporal de qualidade de dados (PODDANY, 2010).

Da relação acima, depreende-se que o índice α aumenta (melhor qualidade) com a raiz do aumento da taxa de amostragem

(aumento da quantidade de pontos) e é inversamente proporcional ao nível de dispersão S. Isso deixa evidente que deverá haver um compromisso entre a taxa de amostragem e dispersão para manter um índice de qualidade elevado.

No presente trabalho, obteve-se um bom compromisso entre o valor de dispersão S e a taxa de amostragem ρ agrupando os 337 pontos resultantes da fotometria diferencial em pares (média de dois pontos adjacentes). Com isso, o número de pontos passou a ser N = 169 para uma sessão de observação de 183.75 minutos, resultando em um índice de qualidade α = 2.4, conforme detalhado na Figura 6.

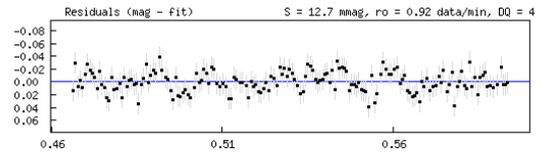


Figura 6. Análise residual para determinação do índice de qualidade.  $\delta = 0.03118 \text{ mag}$  (31.2 mmag),  $S = 12.7 \text{ mmag}$ ,  $\rho = 169 / 183.75 = 0.92 \text{ amostras/minuto}$ ,  $\alpha = (\delta / S) * \rho^{1/2} = 2.4$ .

Ainda conforme Poddany (2010), o índice α pode ser enquadrado em uma escala de cinco níveis de qualidade de dados que varia de DQ1 a DQ5, onde DQ1 é a melhor qualidade (Tabela 1). Observe na Figura 6 que, apesar do arranjo escolhido resultar em um DQ4, o valor de α = 2.4 já está bem próximo do nível DQ3, que começa em α = 2.5.

DQ	Intervalo de α
1	α > 9.5
2	9.5 > α >= 6.0
3	6.0 > α >= 2.5
4	2.5 > α >= 1.3
5	α < 1.3

Tabela 1. DQ x índice temporal de qualidade de dados (PODDANY, 2010).

Utilizando essa configuração de agrupamento, os dados foram submetidos para o procedimento de ajuste da curva de luz (PEJCHA, 2008). O modelo obtido da curva de luz pode ser visto na figura a seguir.

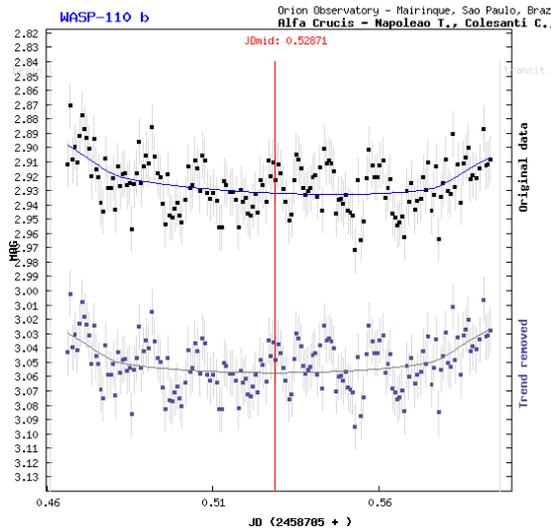


Figura 7. Em cima: Curva de luz ajustada para os dados originais. Embaixo: Curva de luz ajustada para os dados com a tendência removida.

Diretamente da curva de luz ajustada foi possível obter os principais parâmetros do trânsito, como seu instante central HJD ou JD, sua profundidade e sua duração total, conforme pode ser visto no quadro a seguir.

Mid transit JDmid:	2458705.52871 +/- 0.00389	
Mid transit HJDmid:	2458705.53375 +/- 0.00389	(helcor = 0.00504)
Mid transit - UTC:	2019-08-10 00:41:20	
Transit duration:	195.7 +/- 29.3	minut
Transit depth:	0.0318 +/- 0.0192	mag
Submitted data:	geocentric based on UTC	

Quadro 2. Parâmetros obtidos através do protocolo de ajuste dos dados ao modelo da curva de luz do trânsito.

A Figura 8 sintetiza os resultados astrofísicos derivados dos dados ajustados numericamente pelo método de Pejcha (2008).



Figura 8. Quadro superior: Resultados astrofísicos derivados do processo de ajuste. Imagens: comparação gráfica das geometrias do Sol, Júpiter e do sistema medido neste trabalho.

Os resultados obtidos indicam que o raio do planeta  $R_p$  é aproximadamente 50% maior que o raio de Júpiter e o fator de impacto, considerando a margem de erro, está coerente com o valor de catálogo.

#### 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Observando a Figura 7 ao lado, pode-se notar claramente que o objetivo de detectar a passagem do exoplaneta WASP-110 b através de operação remota via internet foi alcançado. Isso é uma boa notícia, pois representa um potencial incremento significativo no número de trânsitos exoplanetários que poderão ser monitorados doravante pelo Grupo Alfa Crucis.

Porém, esse aumento na produtividade deverá ser acompanhado por certas medidas na direção da melhoria da dispersão dos dados quando o sistema robótico for usado. Para entender melhor esse ponto, consideremos a Tabela 2, que relaciona os valores médios obtidos na presente observação, comparados aos da única referência existente para WASP 110 b (ANDERSON et al., 2014):

	Nossos dados	Anderson et al. (2014)	Diferença
Meio do trânsito (HJD + 2458705)	0.53375	0.52995	+0.0038 dias
Queda de brilho (mag)	0.0318	0.0225	+0.0093 mag
Duração do trânsito (min)	195.70	167.88	+27.82 min

Tabela 2. Comparação entre os valores médios obtidos neste trabalho e os do artigo de descoberta.

Analisando as diferenças, percebe-se que o desvio (O-C) encontrado para o instante do meio do trânsito (que corresponde a cerca de 5.5 minutos, em comparação com a efeméride calculada pelos dados originais de Anderson et al., 2014) ainda nos parece ra-

zoável (se considerarmos que 583 ciclos do planeta se passaram entre as duas observações, o desvio acumulado, em termos percentuais, seria da ordem de  $10^{-4}$  %). No entanto, quando se comparam os valores médios, e principalmente as incertezas nas medidas da queda de magnitude (depth) e da duração do trânsito, nota-se claramente que existe espaço para aperfeiçoamento da precisão dos dados obtidos neste monitoramento robótico de WASP-110b. Se os compararmos, por exemplo, com os resultados mais precisos que obtivemos para WASP-77A b (NSK19), cuja aquisição foi feita presencialmente, ficam claras algumas medidas que terão de ser implementadas no protocolo de operação a distância para que a precisão e a dispersão dos dados sejam no mínimo equivalentes às da operação presencial.

Algumas delas já foram citadas: o protocolo do imageamento por pelo menos 30 minutos antes e depois do evento (que foi impossível por razões contingenciais neste trânsito) deverá ser observado à risca nas próximas aquisições. Isso ajudará a melhorar o problema (perceptível na Figura 7) de que o início e o final do trânsito não estão muito bem definidos, prejudicando a precisão das medidas da queda de magnitude e particularmente da duração. Naturalmente, na próxima sessão de observação de WASP-110b procuraremos, dentro do possível, uma ocasião em que a Lua não interfira tanto como neste trabalho. Além disso, será realizada presencialmente a otimização do alinhamento polar do telescópio com a repetição do processo de modelagem (T-point) após os ajustes mecânicos na regulagem da montagem. Um software que permita o ajuste do clock do computador a intervalos mais frequentes (digamos, a cada 10 min) também será instalado. Se, com essas melhorias, a guiagem se mostrar necessária mesmo com a Paramount MX, ela será também implementada. Por fim, será considerado um

protocolo de aquisição que poderíamos chamar de “semi-robótico”, ou seja, embora trabalhando a distância via internet, o operador estará 100% do tempo acompanhando as imagens e efetuando pequenas correções devidas a eventuais variações ambientais (seeing, transparência do céu etc.) que possam resultar em aumento da dispersão dos dados – exatamente como fazemos na operação presencial.

Como consideração final, é interessante notar que WASP-110 b foi de longe o sistema menos observado entre os seis exoplanetas descobertos e relatados em Anderson et al. (2014): apenas 121 medidas fotométricas (em um único filtro, I) foram feitas no ESO-La Silla, contra milhares feitas para os outros cinco exoplanetas (em B, V, R, I e outros filtros). Junte-se a isso o fato de que a observação desses autores foi a única já realizada para esse sistema até o presente momento. Ou seja, a base de comparação é bastante escassa e obviamente requer mais dados observacionais para que os parâmetros desse sistema sejam estabelecidos com um maior grau de confiança. Por tudo isso, está em nossos planos voltar a WASP-110 b novamente no ano de 2020.

## 5. REFERÊNCIAS

- ANDERSON, D.R. et al. Six Newly-Discovered Hot Jupiters Transiting F/G Stars: WASP-87b, WASP-108b, WASP-109b, WASP-110b, WASP-111b & WASP-112b. 2014. Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1410.3449.pdf>>.
- BOYCE, G. *The AIJ Cookbook*. Ed. Dennis Conti. Disponível em: <<http://astrodennis.com/AIJCookbook.pdf>>.
- CONTI, D. *A Practical Guide to Exoplanet Observing*. Revision 4.0. 2018. Disponível em: <<http://astrodennis.com/Guide.pdf>>.

ETD – Exoplanet Transit Database. Website TRESKA. Link para predições de trânsitos: <<http://var2.astro.cz/ETD/predictions.php>>.

NAPOLEÃO, T.A.; SILVA, S.G.; KULH, D.H. Trânsito do exoplaneta WASP-77A b. 2019. Disponível em: <<https://alfacrucis.org/fotometria/waspp-77/>>.

NASA Exoplanet Archive. Website. 2019. Disponível em: <<https://exoplanetarchive.ipac.caltech.edu/>>.

PEJCHA, O. Exoplanet Transit Parameters from Amateur-Astronomers Observations. 2008. Disponível em (Exoplanet Transit Database): <<http://var2.astro.cz/ETD/FitProcedureDescription-Pejcha2008.pdf>>.

PODDANY S.; BRAT L.; PEJCHA O. *New Astronomy* 15, pp. 297-301, 2010. Exoplanet Transit Database. Reduction and Processing of the Photometric Data of Exoplanet Transits (arXiv:0909.2548v1). Disponível em: <<https://arxiv.org/abs/0909.2548>>.

POLLACCO, D.L. et al. The WASP Project and the SuperWASP Cameras. *PASP* 118, pp. 1407-1418, 2006.

SCHNEIDER, J. The Extrasolar Planets Encyclopaedia website. 2019. Disponível em: <<http://exoplanet.eu/>>.

WASP website. 2019. Disponível em: <<https://wasp-planets.net/>>.