

Detecção de Exoplanetas por Astrónomos Amadores

Cédric Pereira – www.astrocedric.com

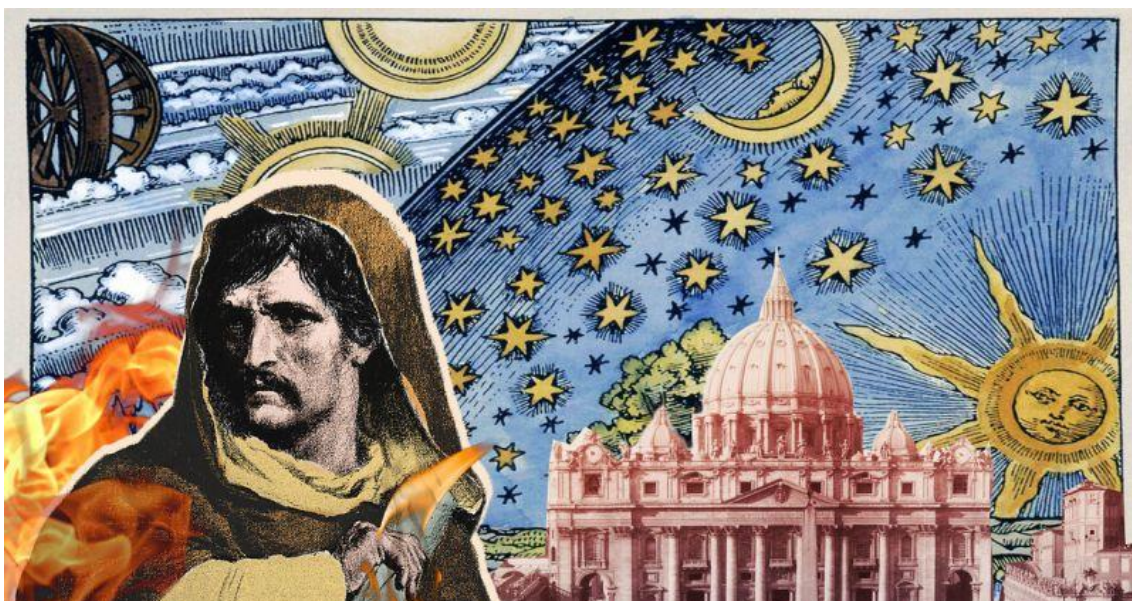
2017

1. Introdução

1.1. Breve Contexto Histórico

Antigamente pensava-se que a formação de planetas requeria condições muito específicas que só se poderiam encontrar em um baixo número de locais na nossa galáxia, como por exemplo no nosso sistema solar. Portanto a existência de exoplanetas em órbita de outras estrelas seria algo raro.

Apesar disso, por volta de 1584, já Giordano Bruno afirmava o seguinte: “Há incontáveis Terras, todas orbitando em volta de seus sóis da mesma maneira que os sete planetas do nosso sistema... Os incontáveis mundos no universo não são piores nem menos habitados que a nossa Terra.”



Giordano Bruno e o Universo.
credits: The Earth Chronicles of Life
<https://earth-chronicles.com/>

Hoje em dia, com a progressão da ciência, já se pode afirmar em termos estatísticos que existe no mínimo um exoplaneta a orbitar cada estrelinha que observamos no céu. Portanto todos os pontinhos de luz que podemos observar numa bela noite estrelada, não são apenas meras estrelas, mas sim, outros sistemas planetários que podem inclusive ter desenvolvido diferentes formas de vida.



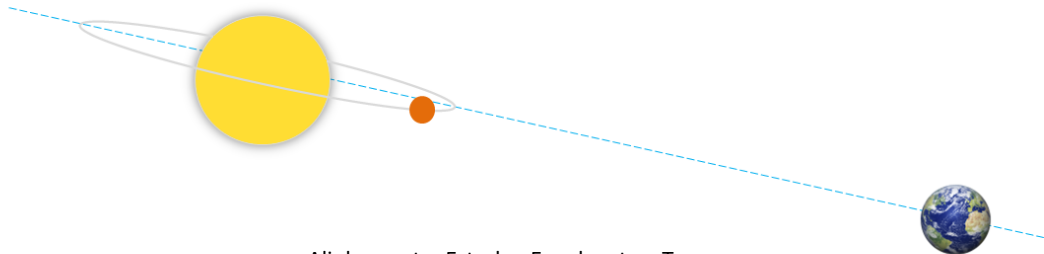
Fotografia do céu de Inverno – Monsaraz.
credits: Mergulhos no Oceano Cósmico
<https://www.cedricpereira.space>

- Estará ao alcance de um astrónomo amador a observação desses exoplanetas?

Apesar de recentemente, algumas equipas de investigação com recurso a poderosos telescópios, terem fotografado alguns exoplanetas, para um astrónomo amador este será um objecto astronómico muito difícil de observar directamente. Mas existem algumas técnicas indirectas de observação que podem ser utilizadas e que estão ao alcance da maioria do comum dos mortais.

1.2. Método do Trânsito

O método do trânsito é uma das formas indirectas de observação de exoplanetas. Existem vários casos de exoplanetas que o plano da sua órbita está orientado de tal forma, que um observador terrestre consegue observar o exoplaneta a passar em frente à sua estrela hospedeira.

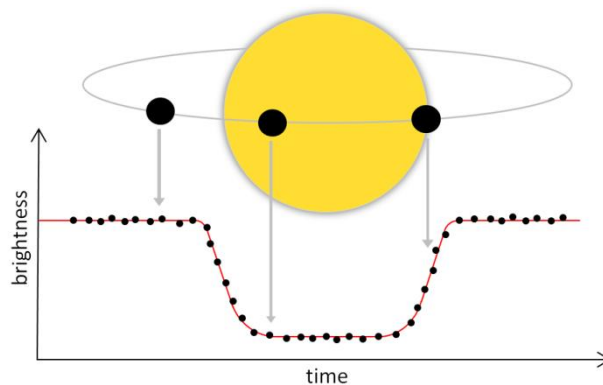


Alinhamento: Estrela - Exoplaneta – Terra.

credits: Mergulhos no Oceano Cósmico

<https://www.cedricpereira.space>

Quando tal acontece, se monitorizarmos a estrela hospedeira será expectável observar uma diminuição do seu brilho quando o exoplaneta se coloca à sua frente e posteriormente, um restabelecimento do seu brilho quando o exoplaneta sai da sua frente.



Variação do brilho da estrela hospedeira.

credits: Mergulhos no Oceano Cósmico

<https://www.cedricpereira.space>

Este é sem dúvida um dos métodos mais utilizados na detecção de exoplanetas, quer por astrónomos amadores como por astrónomos profissionais. Uma das missões mais bem sucedidas até ao momento na detecção de exoplanetas foi a missão Kepler, que inclusive utilizava este método. Em Portugal existem um astrónomo amador chamado João Gregório, que colabora activamente com equipas de investigação na detecção de exoplanetas. Ele já conta com mais de uma dezena de colaborações, em que a sua ajuda, com os seus equipamentos amadores, foram vitais na identificação e confirmação da existência de exoplanetas em torno de outras estrelas.

2. Aquisição de Dados

2.1. Planeamento da Observação

Como já foi referido, o método do trânsito é acessível a astrónomos amadores. Sendo assim, como poderemos observar um exoplaneta e obter a curva de luz do trânsito em torna da sua estrela hospedeira?

Em primeiro lugar é preciso conhecer quando irão ocorrer trânsitos de exoplanetas visíveis num determinado local de observação. Para tal, existe uma base de dados muito conceituada e fidedigna onde está toda essa a informação:

“Exoplanet Transit Database” – <http://var.astro.cz/ETD>.

Nessa base de dados basta aceder a “Transit Predictions”, colocar as coordenadas geográficas do local de observação (atenção que a Longitude é na verdade “Elongitude”, por exemplo, a longitude em Portugal é de cerca de -8° ou 8° W, na base de dados terá de se colocar o valor de $360^\circ - 8^\circ = 352^\circ$) e seleccionar qual o dia que se pretende observar. Na tabela serão apresentados os trânsitos que irão ocorrer para os parâmetros indicados.

ETD  Exoplanet Transit Database
<http://var.astro.cz/ETD>

ETD - Exoplanet Transit Database

[Observers community](#) | [How to contribute to ETD](#) | [Model-fit your data](#) | [Transit predictions](#) | [KEPLER Transit predictions](#) | [KEPLER Candidates](#)

Your ELONGITUDE (in deg): $0^\circ - 360^\circ$

Your LATITUDE (in deg): $90^\circ - 0^\circ - -90^\circ$

submit

Available predictions: (UT evening date)

2017-11- 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,
2017-12- 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20,

User defined time span: From: Till: Show

Transits predictions for ELONGITUDE: 352° and LATITUDE: 40°

OBJECT	BEGIN (UT/h,A)	CENTER (DD.MM. UT/h,A)	END (UT/h,A)	D (min)	V (MAG)	DEPTH (MAG)	Elements Coords
TrES-5 b Cyg	20:37 39°,NW	14.12. 21:33 32°,NW	22:29 26°,NW	111.312	13.7	0.0215	55443.25153+1.4822446°E RA: 20 20 53 DE: +59 26 55
KELT-3 b Lmi	20:48 8°,NE	14.12. 22:26 22°,NE	0:05 37°,NE	197	9.8	0.0098	56023.459+2.70348°E RA: 09 54 34.391 DE: +40 23 16.98
WASP-71 b Cet	20:04 50°,S	14.12. 22:35 45°,SW	1:05 21°,W	301.54	10.6	0.0043	55738.84977+2.9036747°E RA: 01 57 03.20 DE: +00 45 31.9
HAT-P-33 b Gem	20:32 22°,NE	14.12. 22:45 47°,E	0:57 71°,E	265	11.19	0.0097	55110.92595+3.474474°E RA: 07 32 44.24 DE: +33 50 05.6
HAT-P-10/WASP-11 b Ari	21:47 81°,S	14.12. 23:07 74°,SW	0:26 61°,W	159	11.89	0.0254	54729.90631+3.722469°E RA: 03 09 28.54 DE: +30 40 26.0

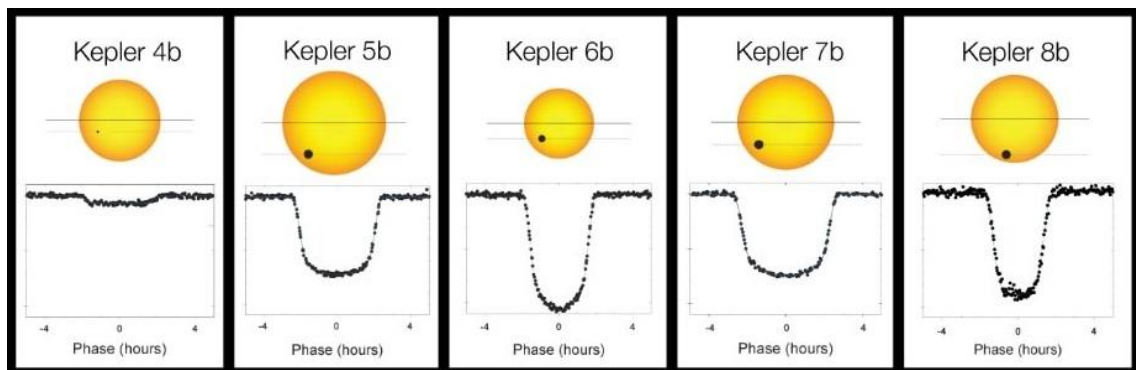
Tabela com os trânsitos que irão ocorrer em determinado dia/hora/local.

credits: Exoplanet Transit Database

<https://var.astro.cz/ETD>

- Na tabela, a primeira coluna “Object” representa o nome do exoplaneta [Tres-5 b].
- A segunda coluna “Begin (UT/h,A)” indica a hora a que começa o trânsito, ou seja, o momento previsto em que o exoplaneta se coloca em frente à estrela hospedeira [20:37], a constelação a que pertence [Cyg], a altitude a que se encontra naquele momento [39°] e ainda a direcção geográfica para onde observar [NW].
- A terceira coluna “Center (DD.MM. UT/h,A)” indica o dia em que ocorre o trânsito [14.12], a hora a que o trânsito está a meio [21:33], a altitude a que se encontra naquele momento [32°] e ainda a direcção geográfica para onde observar [NW].
- A quarta coluna “End (UT/h,A)” indica a hora a que finaliza o trânsito [22:29], a altitude a que se encontra naquele momento [26°] e ainda a direcção geográfica para onde observar [NW].
- A quinta coluna “D (min)” indica o tempo de duração do trânsito.
- A sexta coluna “V (mag)” indica a magnitude da estrela hospedeira.
- A sétima coluna “Depth (mag)” indica a profundidade do trânsito, ou seja, a variação de brilho que irá ser observada na estrela hospedeira.
- A oitava coluna “Elements Coords” indica as coordenadas para onde apontar o telescópio.

Os dois parâmetros determinantes para seleccionar um exoplaneta a observar são sem dúvida a profundidade de trânsito e a altitude. Quanto maior for o valor da profundidade, mais profunda será a curva luz e mais fácil será distinguir o trânsito no meio dos dados. Diferentes profundidades resultam em diferentes curvas de luz, conforme a relação de tamanhos entre o exoplaneta e a estrela hospedeira:

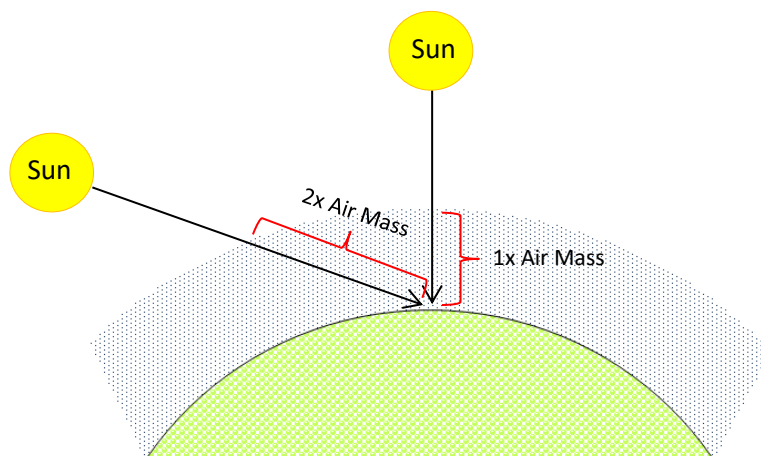


Diferentes curvas de luz.

credits: Nasa

<http://www.nasa.gov>

Por outro lado, quanto maior for a altitude da estrela a que ocorre o trânsito, melhor será a qualidade dos dados obtidos, visto que a luz que vem da estrela atravessará uma menor quantidade de atmosfera terrestre.

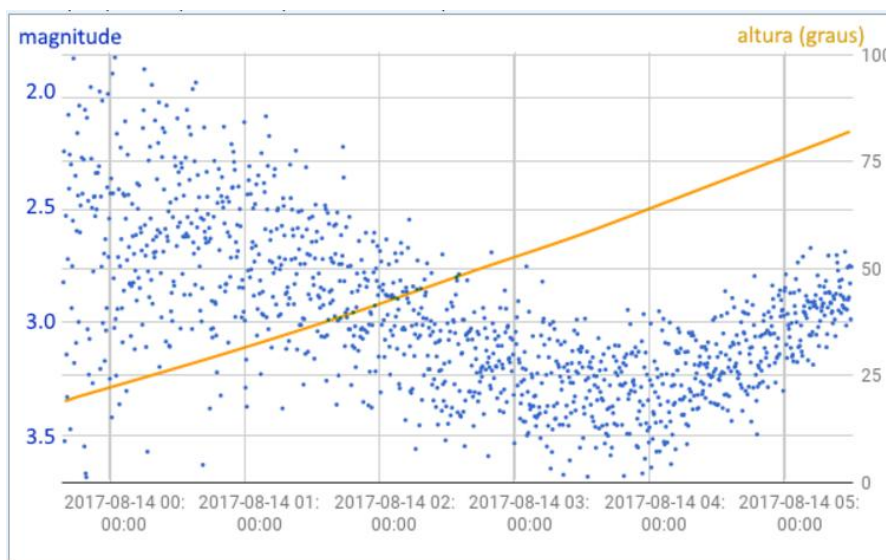


Massa de ar.

credits: Mergulhos no Oceano Cósmico

<https://www.cedricpereira.space>

Na seguinte figura, a azul, pode-se observar a magnitude da estrela Algol durante um período de tempo de 5 horas. A sua magnitude varia pois trata-se de um estrela binária eclipsante. A laranja, podem observar a altitude a que se encontra. Pode-se observar que a dispersão dos pontos no início da aquisição de dados é bastante elevada, quando a estrela se encontra a uma altitude de apenas 25°, contudo com o aumento da sua altitude ao longo do tempo, a dispersão reduz-se gradualmente até atingir bons valores de qualidade. Esta aquisição foi realizada pelo astrónomo amador português Filipe Dias.



Variação de magnitude de uma estrela binária eclipsante.

credits: Filipe Dias

<http://astrofil.blogspot.pt/>

Da seguinte tabela e de acordo com os critérios anteriormente mencionados, o exoplaneta “HAT-P-10/WASP-11b” é o alvo que apresenta melhores características. A profundidade de trânsito é bastante elevada [0.0254 mag] e apresenta uma boa altitude desde o início até ao fim da sessão [81° a 61°].

Da grande variedade de exoplanetas que a base de dados possui, os maiores valores de profundidade que se podem encontrar rodam os 0.03 mag. Valores abaixo de 0.01 mag já se consideram grandes desafios para câmaras menos apropriadas para fotometria, contudo não serão valores proibidos e mesmo com câmaras DSLR, é possível obter boas curvas de luz. Exoplanetas com altitudes inferiores a 30° devem ser excluídos do leque de possibilidades, pois irão comprometer os dados de aquisição.

A magnitude da estrela hospedeira não é um problema para a maioria dos telescópios e para a maioria das câmaras fotográficas modernas, que possuem sensores bastante sensíveis. A duração do trânsito apenas dependerá da paciência do observador.

ETD

... complete ... worldwide ... continuously growing ...

Exoplanet Transit Database

http://var.astro.cz/ETD

ETD - Exoplanet Transit Database

[Observers community](#) | [How to contribute to ETD](#) | [Model-fit your data](#) | [Transit predictions](#) | [KEPLER Transit predictions](#) | [KEPLER Candidates](#)

Your ELONGITUDE (in deg): 0° - 360°

submit

Your LATITUDE (in deg): 90° - 0° - -90°

Available predictions: (UT evening date)

2017-11- 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30,
2017-12- 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20,

User defined time span: From: Till:

Show

Transits predictions for ELONGITUDE: 352° and LATITUDE: 40°

OBJECT	BEGIN (UT/h,A)	CENTER (DD.MM. UT/h,A)	END (UT/h,A)	D (min)	V (MAG)	DEPTH (MAG)	Elements Coords
TrES-5 b Cyg	20:37 39°,NW	14.12. 21:33 32°,NW	22:29 26°,NW	111.312	13.7	0.0215	55443.25153+1.4822446°E RA: 20 20 53 DE: +59 26 55
KELT-3 b Lmi	20:48 8°,NE	14.12. 22:26 22°,NE	0:05 37°,NE	197	9.8	0.0098	56023.459+2.70348°E RA: 09 54 34.391 DE: +40 23 16.98
WASP-71 b Cet	20:04 50°,S	14.12. 22:35 45°,SW	1:05 21°,W	301.54	10.6	0.0043	55738.84977+2.9036747°E RA: 01 57 03.20 DE: +00 45 31.9
HAT-P-33 b Gem	20:32 22°,NE	14.12. 22:45 47°,E	0:57 71°,E	265	11.19	0.0097	55110.92595+3.474474°E RA: 07 32 44.24 DE: +33 50 05.6
HAT-P-10/WASP-11 b Ari	21:47 81°,S	14.12. 23:07 74°,SW	0:26 61°,W	159	11.89	0.0254	54729.90631+3.722469°E RA: 03 09 28.54 DE: +30 40 26.0

Tabela com os trânsitos que irão ocorrer em determinado dia/hora/local.

credits: Exoplanet Transit Database

https://var.astro.cz/ETD

Escolhido o exoplaneta pode-se recorrer a um software de simulação do céu nocturno, como por exemplo o software “Stellarium”, para averiguar e conhecer melhor o local onde se encontra o referido alvo.



Simulador do céu nocturno - Stellarium

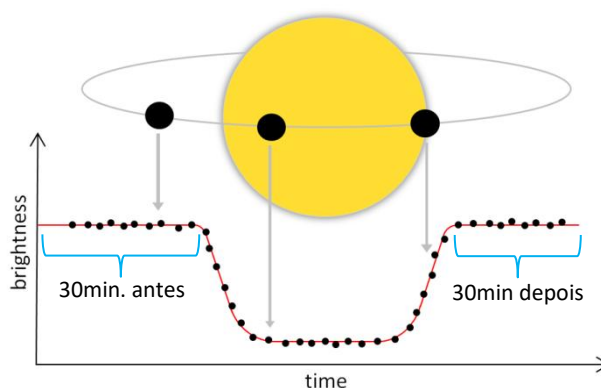
credits: Stellarium

<http://www.stellarium.org>

Resumido o planeamento da sessão de observação:

OBJECT	BEGIN (UT/h,A)	CENTER (DD.MM. UT/h,A)	END (UT/h,A)	D (min)	V (MAG)	DEPTH (MAG)	Elements Coords
HAT-P-10/WASP-11 b	21:47 Ari 81°,S	14.12. 23:07 74°,SW	0:26 61°,W	159	11.89	0.0254	54729.90631+3.722469°E RA: 03 09 28.54 DE: +30 40 26.0

Portanto o trânsito irá se iniciar às 21:47 e terminar às 0:26, contudo é importante começar a aquisição de dados cerca de meia hora antes, até meia hora depois do seu final, para se adquirir dados com a magnitude da estrela estável. De referir que as horas indicadas na base de dados estão em “UT”, ou seja, Tempo Universal. Devem ser convertidas para o respectivo tempo local.



Começar a aquisição de dados 30min. antes até 30min. depois do final indicado na base de dados.

credits: Mergulhos no Oceano Cósmico

<https://www.cedricpereira.space>

Outros factores a ter em conta no agendamento de uma sessão de observação são os tempos de montagem, afinação e calibração dos equipamentos, deslocamentos para o local, etc...

2.2. Aquisição de Dados

Não esquecer de levar roupa quentinha, comida, bebida e boa disposição para uma sessão de observação ☺.



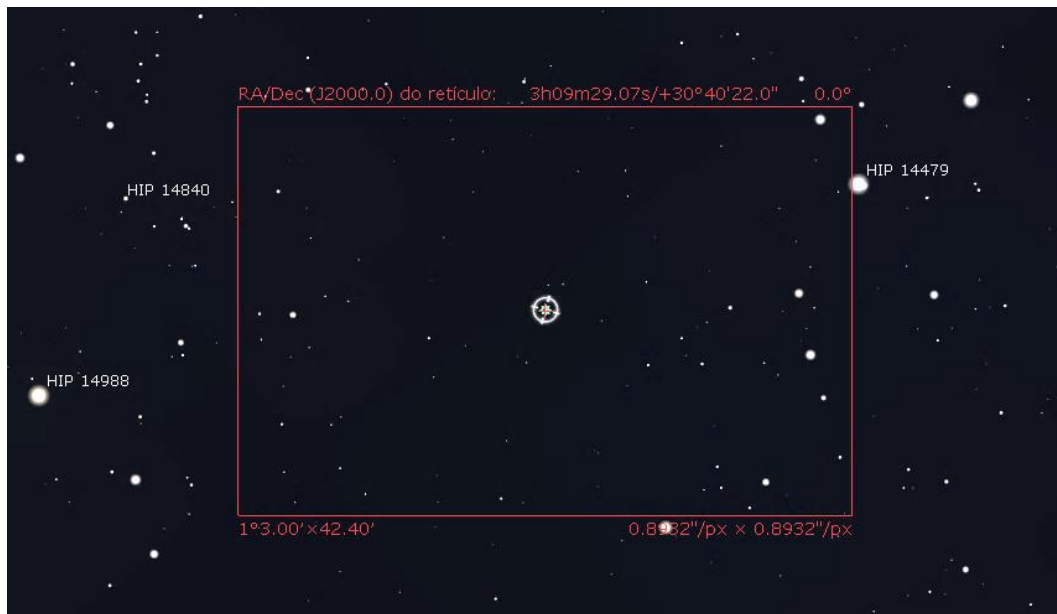
Sessão de observação – Observatório Lago Alqueva

credits: Mergulhos no Oceano Cósmico

<https://www.cedricpereira.space>

Após montagem, afinação e calibração dos equipamentos de aquisição de dados é necessário verificar se o telescópio estará a apontar para o sítio respectivo.

- O software “Stellarium” possui uma ferramenta que permite simular qual o campo de imagem que irá se obter com determinada câmara fotográfica. Esta ferramenta poderá ser útil para comparação das estrelas simuladas com as estrelas que obtêm numa fotografia do local para onde aponta o telescópio.

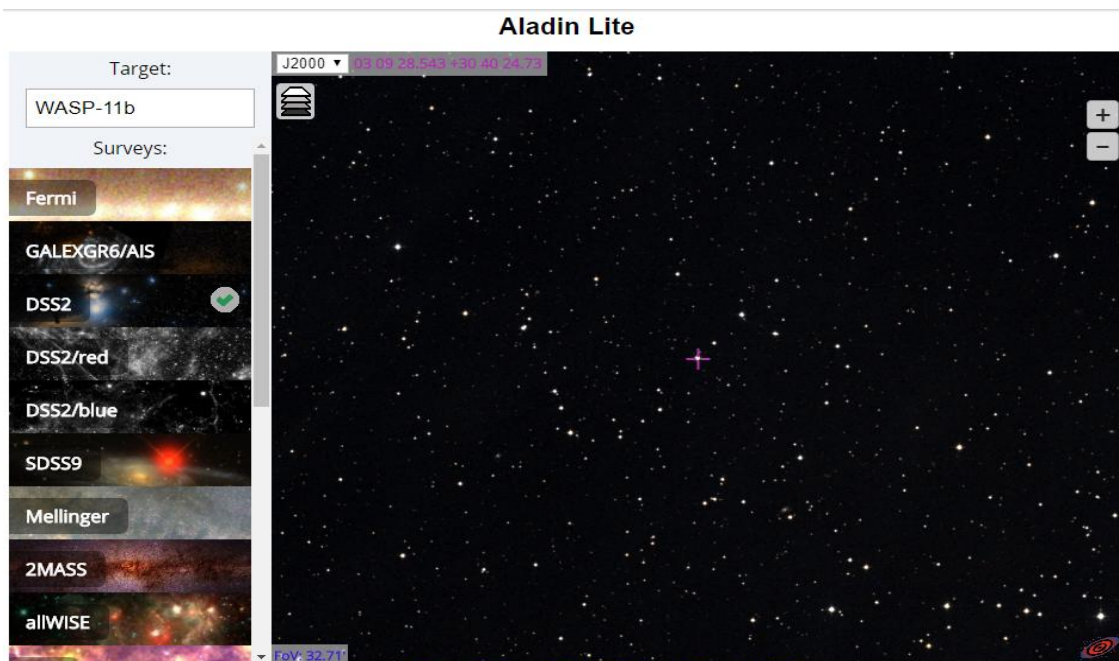


Ferramenta para comparação entre o local onde aponta o telescópio com o local correcto.

credits: Stellarium

<http://www.stellarium.org>

- Outra ferramenta útil é o “Aladin Lite” que pode ser consultada no seguinte web-site: <http://aladin.u-strasbg.fr/AladinLite/>. Esta ferramenta permite visualizar com um bom grau de precisão as estrelas que se podem observar no respectivo local.



Ferramenta para comparação entre o local onde aponta o telescópio com o local correcto.

credits: Aladin Sky Atlas

<http://aladin.u-strasbg.fr/AladinLite>

- Mesmo a base de dados “Exoplanet Transit Database” possui fotografias dos locais onde estão contidos os exoplanetas.

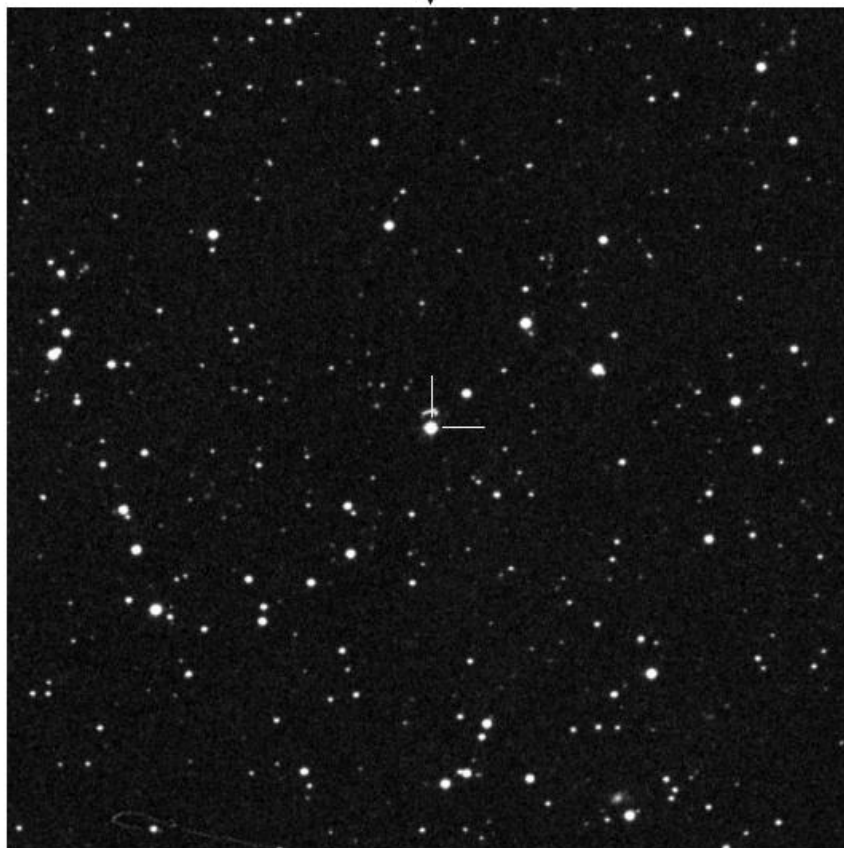


ETD - Exoplanet Transit Database

[Observers community](#) | [How to contribute to ETD](#) | [Model-fit your data](#) | [Transit predictions](#) | [KEPLER Transit predictions](#) | [KEPLER Candidates](#)

HAT-P-10/WASP-11 b (Ari)

RA (J2000): 03 09 28.54, DE (J2000): +30 40 26.0,
V = 11.89 mag, dV = 0.0254 mag, duration = 159 minutes
Per = d, T0(HJD) =

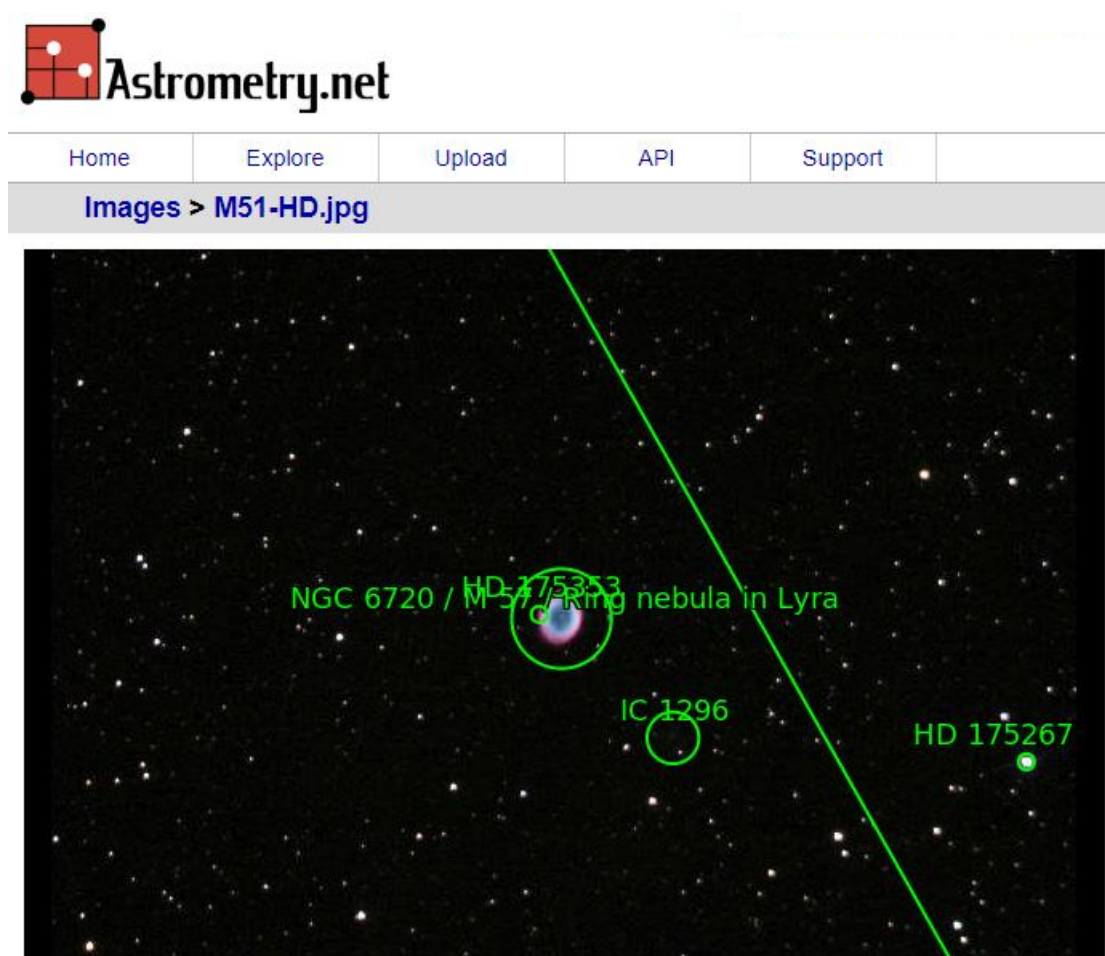


Ferramenta para comparação entre o local onde aponta o telescópio com o local correcto.

credits: Exoplanet Transit Database

<https://var.astro.cz/ETD>

- Outra ferramenta útil é o “Astrometry”, que pode ser consultada no seguinte web-site: <http://nova.astrometry.net/>. Esta ferramenta permite carregar uma fotografia captada do céu nocturno e identificar automaticamente as estrelas de maior relevância. Com essa referência e utilizando um simulador do céu nocturno, é possível compreender melhor para onde o telescópio poderá estar a apontar.



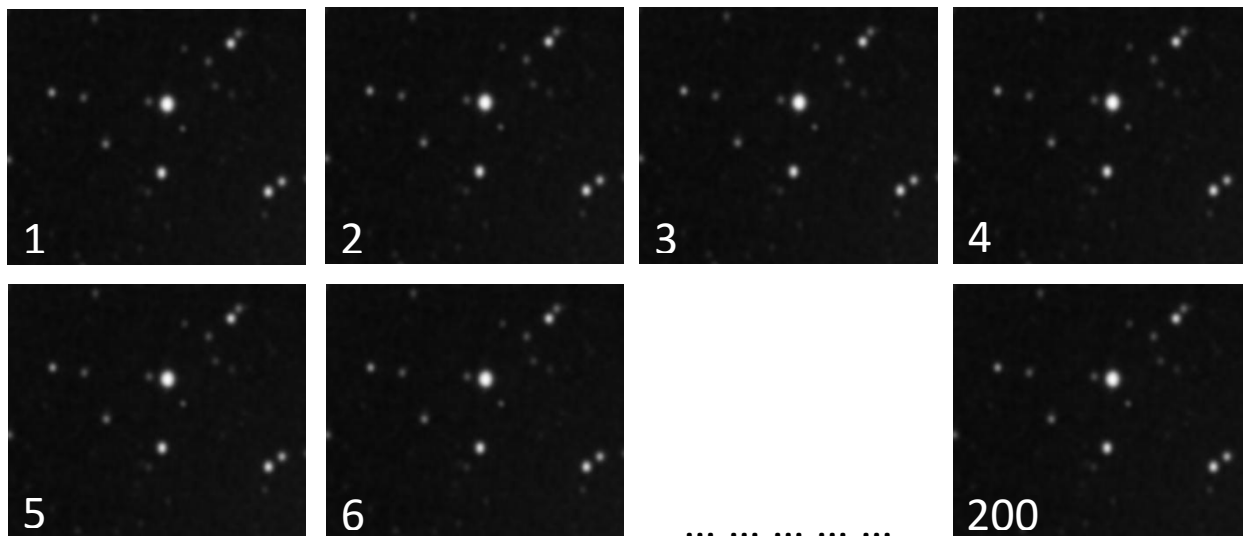
Ferramenta de identificação de astros em fotografias.

credits: Astrometry.net

<http://nova.astrometry.net>

Após direccionar o telescópio correctamente para o local onde está o exoplaneta, está na hora de configurar os parâmetros da câmara fotográfica para realizar uma correcta aquisição de dados.

A ideia é adquirir várias fotos da estrela alvo de modo a analisar o seu brilho a cada foto. Quanto maior for o numero de fotos adquiridas, maior será a estatística que permitirá traçar uma curva de luz mais fidedigna. Contudo os parâmetros fotográficos irão limitar o número de fotos.



Várias fotografias captadas de uma estrela alvo.

credits: Mergulhos no Oceano Cósmico

<https://www.cedricpereira.space>

Numa câmara fotográfica DSLR existem 3 parâmetros chave que serão precisos definir:

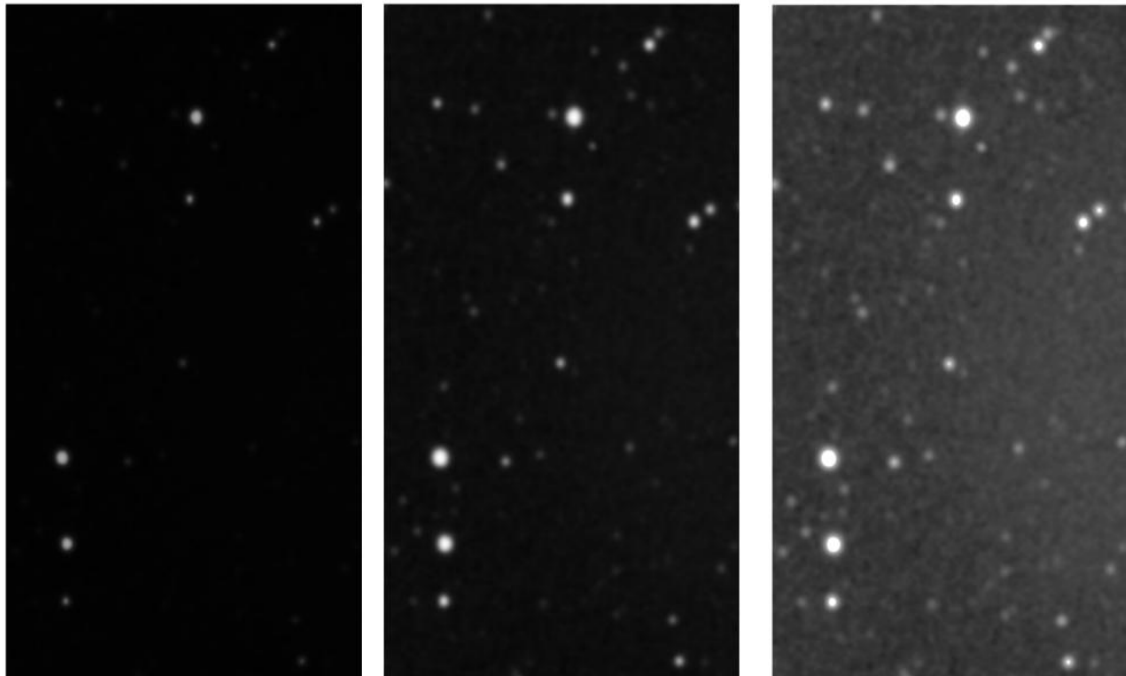
- ISO: Quanto maior for o valor de ISO, maior será a sensibilidade do sensor, originando uma foto mais clara ou mais sensível a objectos de baixa luminosidade. Por outro lado, quanto maior for o valor de ISO, maior irá ser o nível de ruído presente na foto.
- Abertura: Quanto maior for a abertura da lente, mais luz chegará ao sensor, originando uma foto mais clara ou mais sensível a objectos de baixa luminosidade. Por outro lado, quanto maior for a abertura, menor será a focagem de objectos a diferentes profundidades.
- Exposição: Quanto maior for o tempo de exposição, mais luz será recolhida pelo sensor, originando uma foto mais clara ou mais sensível a objectos de baixa luminosidade. Por outro lado, quanto maior for o tempo de exposição, maior será o arrastamento de objectos em movimento.

Não abordando muito o tema, pois supõe-se que o leitor tem conhecimentos ou poderá pesquisar sobre o processo fotográfico, apenas ficam os seguintes conselhos: para tirar uma fotografia a uma estrela alvo de modo a analisar o seu brilho, pode-se definir a maior abertura que a lente permita (caso seja com um telescópio, a abertura será fixa), para chegar ao sensor a maior quantidade de luz possível. Já o tempo de exposição e o ISO deverão ser ajustados em conjunto. Deve-se utilizar o menor ISO possível de modo a minimizar o ruído presente na fotografia, contudo ISO's baixo, podem requerer longos tempos de exposição. Como referência inicial pode-se definir um tempo de exposição de 1min. e ajustar o ISO de modo a que a estrela apareça bem definida.



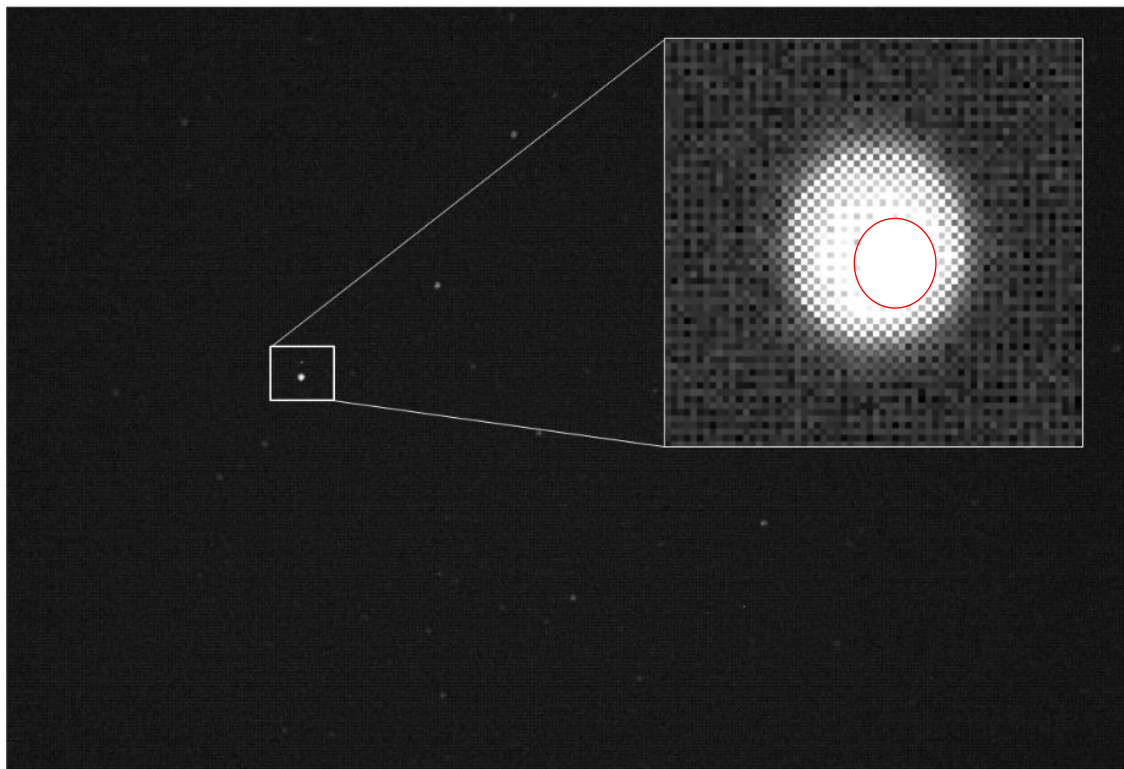
Parâmetros chave da fotografia.
credits: Mergulhos no Oceano Cósmico
<https://www.cedricpereira.space>

As fotografias obtidas não devem ser muito claras nem muito escuras:



Diferenças de intensidade em diferentes fotografias.
credits: Mergulhos no Oceano Cósmico
<https://www.cedricpereira.space>

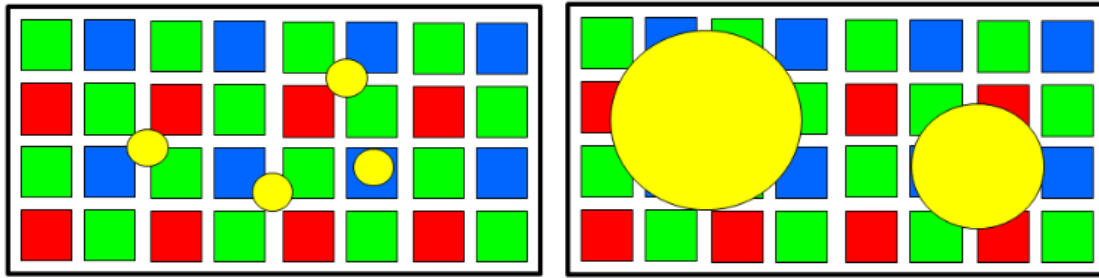
Na verdade, é importante que a estrela alvo não fique saturada, isto é, os pixéis não atinjam os valores máximos. Imaginando que um pixel pode apresentar valores entre 0 a 255, em que 0 corresponde a um pixel preto e 255 corresponde a um pixel branco, um pixel saturado terá atingido o valor 255 durante a exposição. De pixéis saturados não será possível extrair informação correcta para medir o brilho da estrela. Uma regra inicial que pode ser utilizada é: mais vale uma estrela escura na fotografia do que uma estrela muito brilhante! Contudo estrelas escuras apresentam pouco sinal, face ao ruído que a foto poderá conter. É importante conhecer a câmara fotográfica e conseguir obter pixéis da estrela alvo com bons valores de intensidade, talvez a 50% do seu máximo.



Estrela saturada.

credits: Mergulhos no Oceano Cósmico
<https://www.cedricpereira.space>

Outro conselho que poderá ser utilizado, principalmente em câmaras a cores, é a desfocagem das estrelas. É aconselhado desfocar ligeiramente as estrelas de modo a que estas ocupem um maior número de pixéis. Quanto maior o número de pixéis abrangidos, maior será a estatística e menor a dispersão de dados. Uma estrela que ocupe uma área de 100 pixéis é provavelmente suficiente para a análise do seu brilho, mesmo em um sensor a cores. Os sensores das máquinas fotográficas são compostos por muitos pixéis, contudo entre eles podem existir algumas áreas mortas. Utilizando um sensor a cores, as estrelas podem abranger apenas pixéis de uma determinada cor e deixar outras cores de fora. A desfocagem das estrelas permite mitigar estes problemas e uniformizar melhor a aquisição. Além disso, ao se desfocar uma estrela, a luz abrange uma área maior e o efeito de saturação torna-se menos provável. Atenção, que dependentemente do telescópio, desfocar uma estrela em um sentido ou no sentido inverso provocam efeitos diferentes. É preciso analisar qual o melhor sentido de desfocagem.



Utilização de estrelas desfocadas.

credits: Mergulhos no Oceano Cósmico

<https://www.cedricpereira.space>

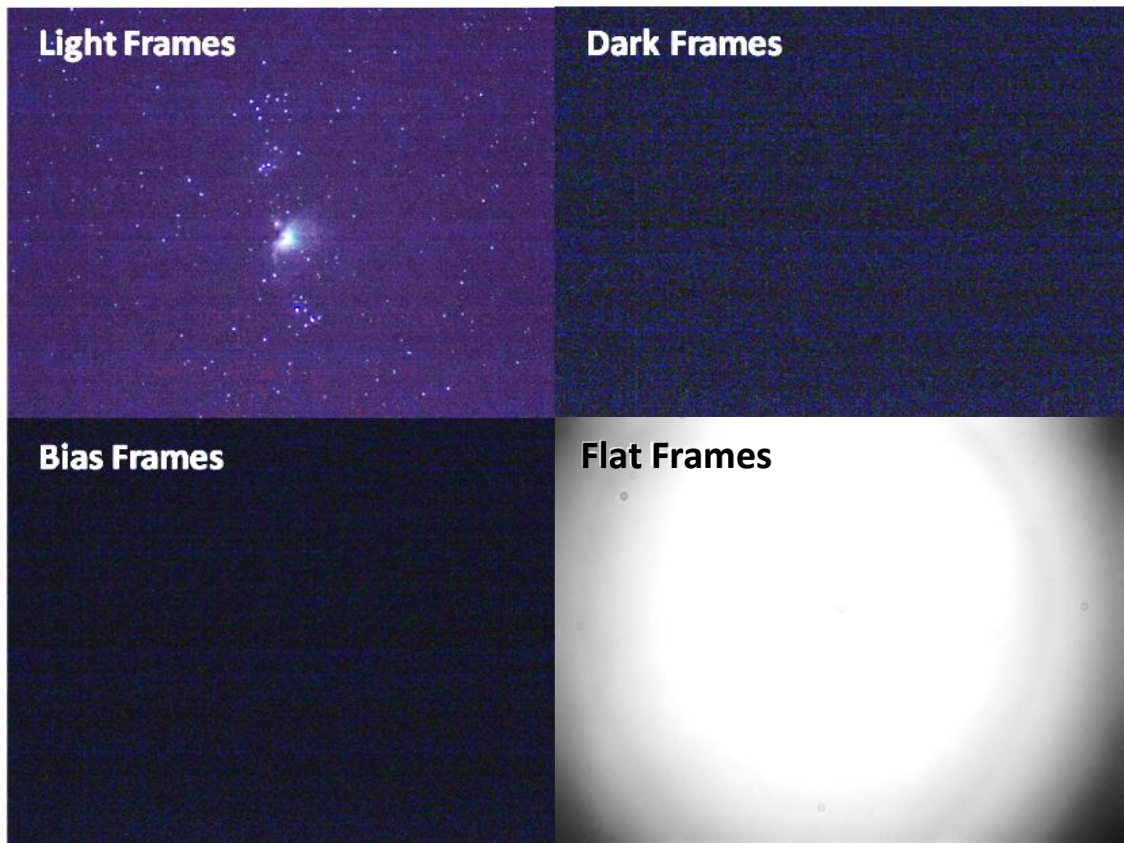
Para finalizar a aquisição de dados é importante ainda referir que é necessário captar fotos de calibração.

As fotografias ditas normais, que possuem a estrela alvo ou o objecto a fotografar, chama-se de “Light Frames”. Essas fotos além de conterem o sinal luminoso dos astros, possuem também ruído intrínseco da câmara fotográfica.

Para poder minimizar o ruído nas “Light Frames” é necessário captar algumas dezenas de fotografias chamadas de “Dark Frames”. Estas fotos são captadas com a lente/telescópio tapado, ou seja, não contêm sinal luminoso mas apenas ruído (ruído relacionado com o efeito de Johnson-Nyquist ou ruído térmico). Deve-se utilizar os mesmos parâmetros fotográficos utilizados na aquisição das “Light Frames”, ou seja, o mesmo tempo de exposição e o mesmo ISO. Cerca de 20 a 30 fotografias são suficientes. É importante captar este tipo de fotografias imediatamente a seguir à captura dos “Light Frames”, para ambos os conjuntos de fotos terem sido captados a temperaturas semelhantes.

Outro tipo de fotografias importantes são as chamadas “Bias Frames”. Estas fotografias irão adquirir outro tipo de ruído intrínseco da câmara (ruído de leitura). Para captar este tipo de fotografias basta a seguir à captura dos “Dark Frames”, reduzir o tempo de exposição para o mínimo que a câmara permite. Cerca de 20 a 30 frames também serão suficientes.

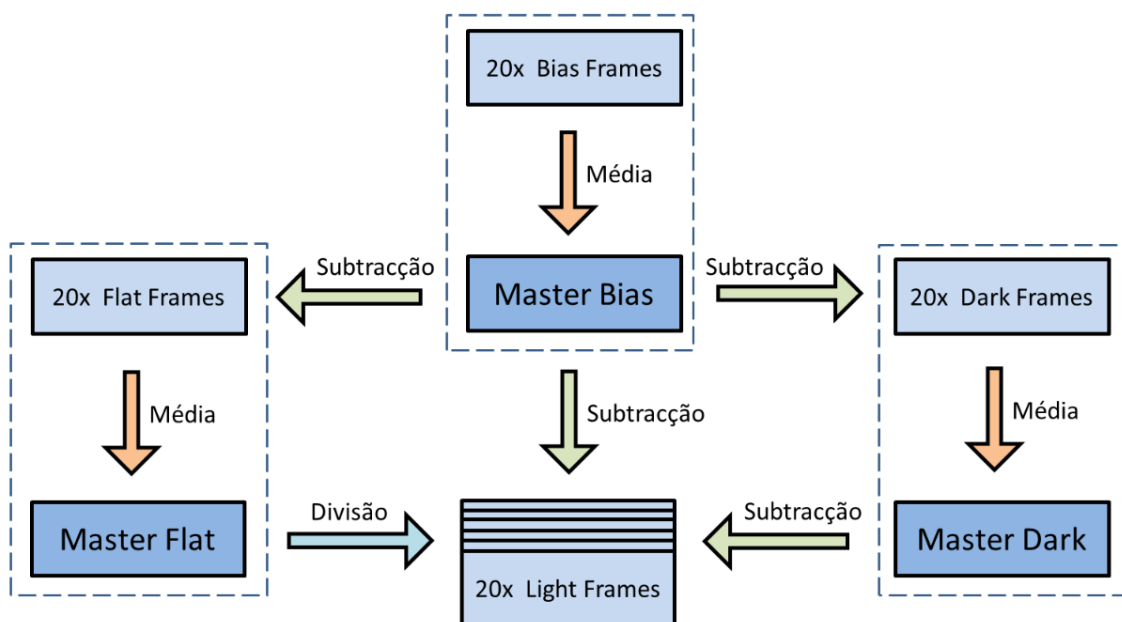
Para finalizar, é importante obter as chamadas fotografias “Flat Frames”, que irão adquirir os erros ópticos, poeiras e sujidade nas lentes/espelhos, efeitos de vinhetagem, etc... Para tal, é necessário adquirir fotografias de campos uniformemente iluminados. As fotografias não devem ser muito escuras nem muito claras. Com recurso a um histograma, deve-se ajustar os parâmetros fotográficos de modo que o pico do histograma fique centrado no eixo horizontal. Cerca de 20 a 30 frames também serão suficientes.



Fotos de calibração.

credits: Mergulhos no Oceano Cósmico
<https://www.cedricpereira.space>

Após captura de todos os frames de calibração é necessário utilizar um software que permita a calibração dos “Light Frames”. O software basicamente irá realizar as seguintes tarefas:



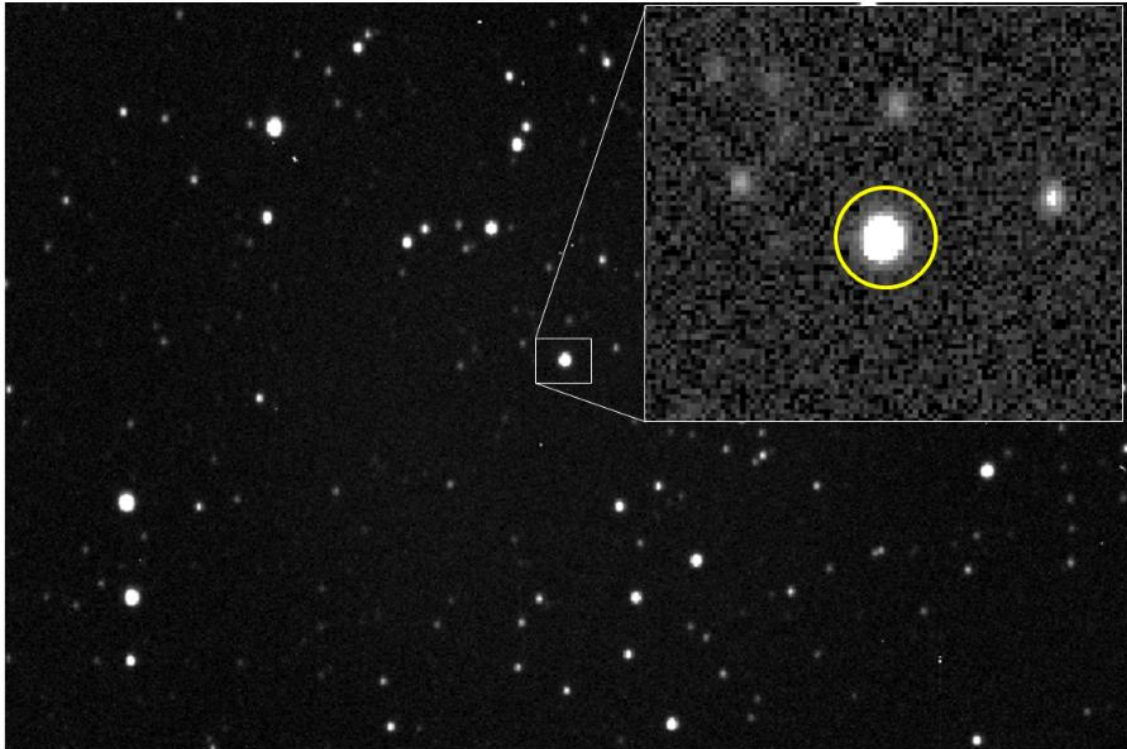
Processo de calibração de fotografias.

credits: Mergulhos no Oceano Cósmico
<https://www.cedricpereira.space>

3. Análise de Dados

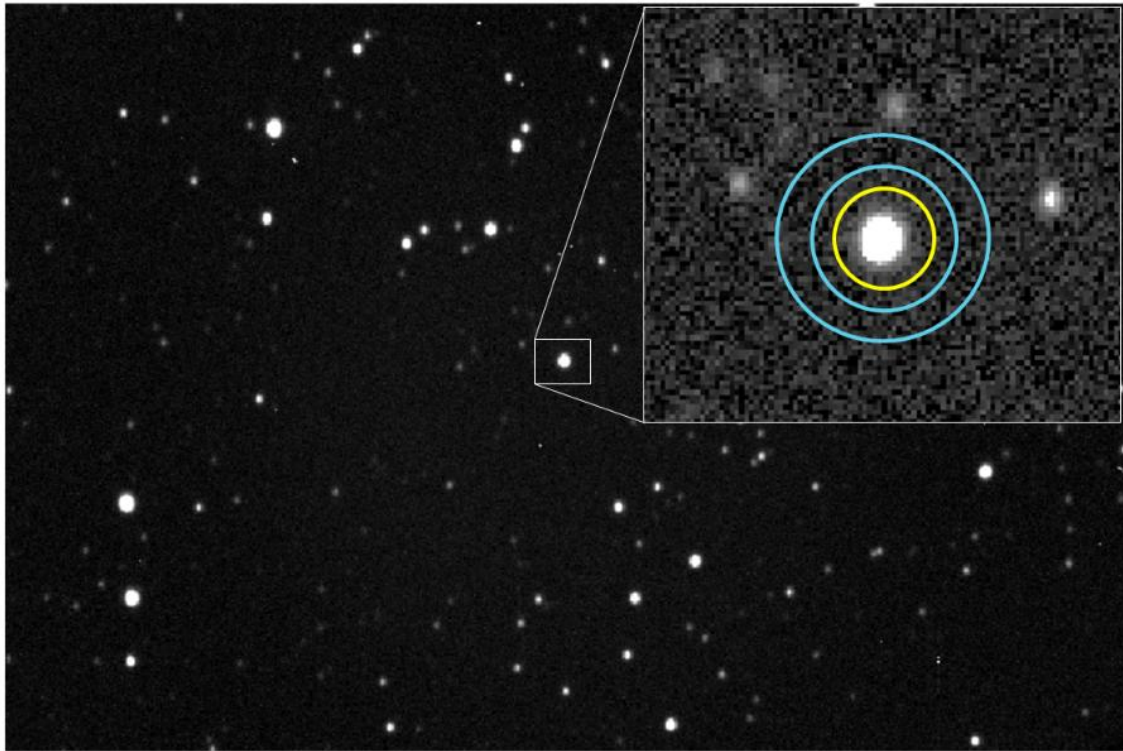
3.1. Fotometria Diferencial

A fotometria diferencial consiste numa técnica de análise de dados, em que se analisa o brilho de um astro relativamente a outros astros de referência. Para analisar o brilho da estrela alvo em cada fotografia é necessário contabilizar o valor da intensidade dos pixéis que correspondem à estrela. Para tal, é preciso delimitar uma determinada área circular. O problema é que é difícil de definir onde termina a estrela, portanto define-se normalmente uma área ligeiramente maior que irá conter também alguns pixéis correspondentes ao céu nocturno.



Fotometria diferencial – área da estrela.
credits: Mergulhos no Oceano Cósmico
<https://www.cedricpereira.space>

Sendo que a área contabilizada contém pixéis da estrela e pixéis que não queremos contabilizar do céu nocturno, para minimizar esse problema, define-se uma nova área contida entre duas circunferências que apenas corresponda a pixéis de céu nocturno. Com esta segunda área é possível calcular uma média do valor dos pixéis correspondentes ao céu nocturno e subtrair essa média ao valor dos pixéis correspondentes à área definida para a estrela alvo.



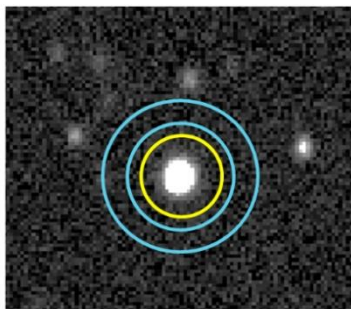
Fotometria diferencial – área da estrela e área do céu nocturno.

credits: Mergulhos no Oceano Cósmico

<https://www.cedricpereira.space>

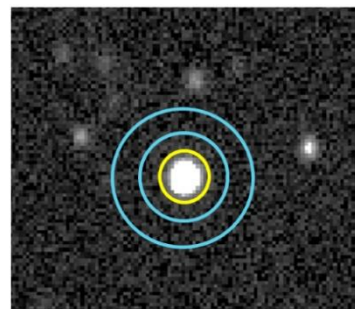
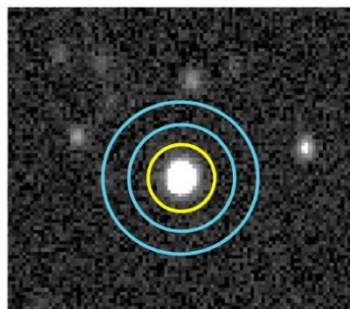
Sendo assim, é possível calibrar a área dos pixéis correspondentes à estrela e medir o seu brilho relativo.

Ter em atenção para não definir uma área corresponde à estrela muito grande nem muito pequena. Áreas grandes irão conter todos os pixéis correspondentes à estrela, mas por outro lado também irão conter mais ruído do céu nocturno. Áreas pequenas, apesar de terem menos ruído do céu nocturno, poderão não contabilizar todos os pixéis que correspondem à estrela.



Abertura Grande:

- Mais luz da estrela: > Sinal
- Mais ruído do céu: < Sinal



Abertura Pequena:

- Menos luz da estrela: < Sinal
- Menos ruído do céu: > Sinal

Fotometria diferencial – tamanho da área da estrela

credits: Mergulhos no Oceano Cósmico

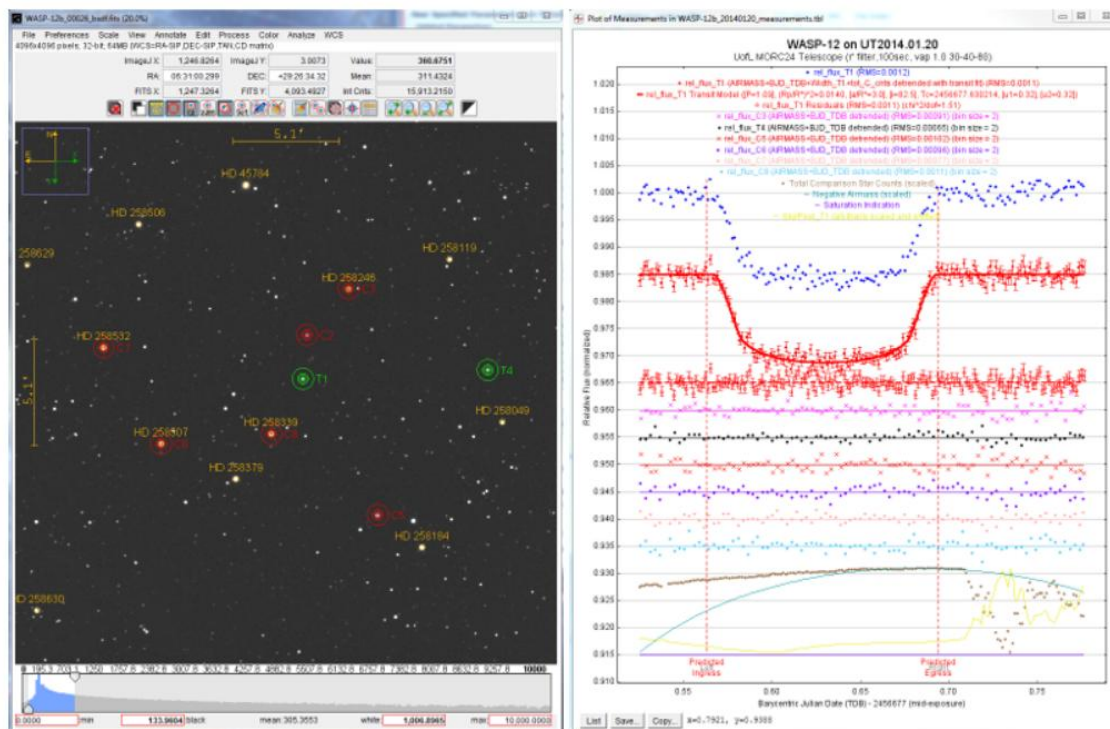
<https://www.cedricpereira.space>

Quando se contabiliza o brilho de uma estrela fotografia após fotografia é preciso ter cuidado com alguns factores externos que poderão causar variações. Imaginando que durante a aquisição de dados uma nuvem passa na direcção de observação, obviamente que o brilho da estrela alvo irá reduzir. Para conseguir distinguir se a redução de brilho advém de factores externos, compara-se o brilho da estrela alvo com o brilho de estrelas de magnitude constante, contidas na mesma fotografia. No caso da nuvem, caso o brilho de todas as estrelas tenha reduzido, significa então que houve algum factor externo a interferir no processo de aquisição. Daí o nome, fotometria diferencial.

3.2. Workflow “AstroImageJ”

Aprendido o básico da fotometria, aqui ficam os passos de como analisar as fotografias com o software “AstroImageJ”, um software gratuito e bastante popular na análise de trânsitos de exoplanetas.

AstroImageJ ImageJ for Astronomy



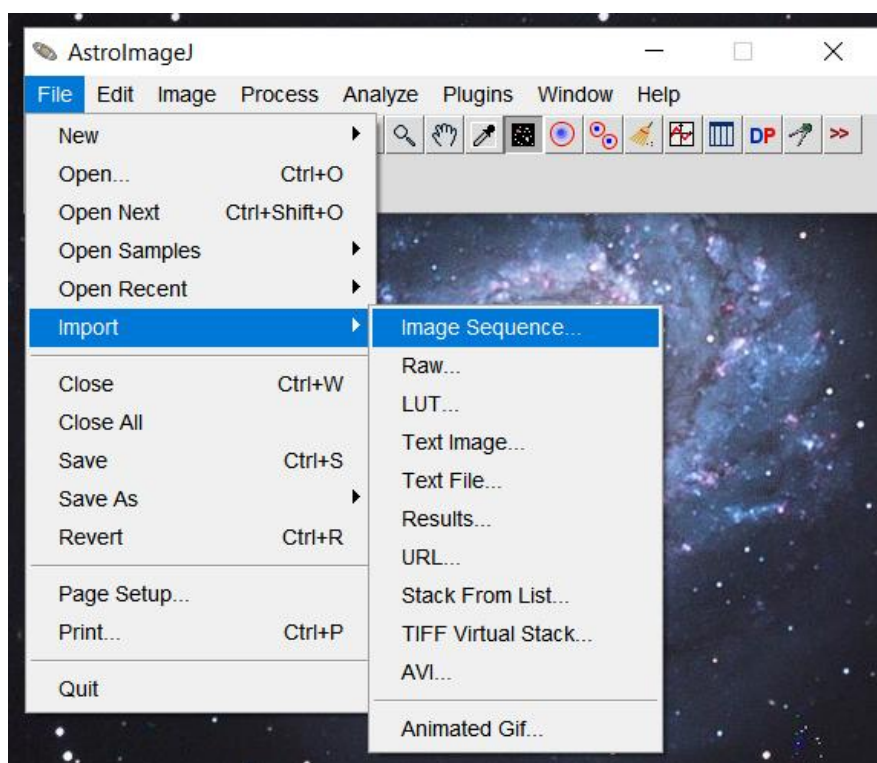
AstroImageJ

credits: AstroImageJ

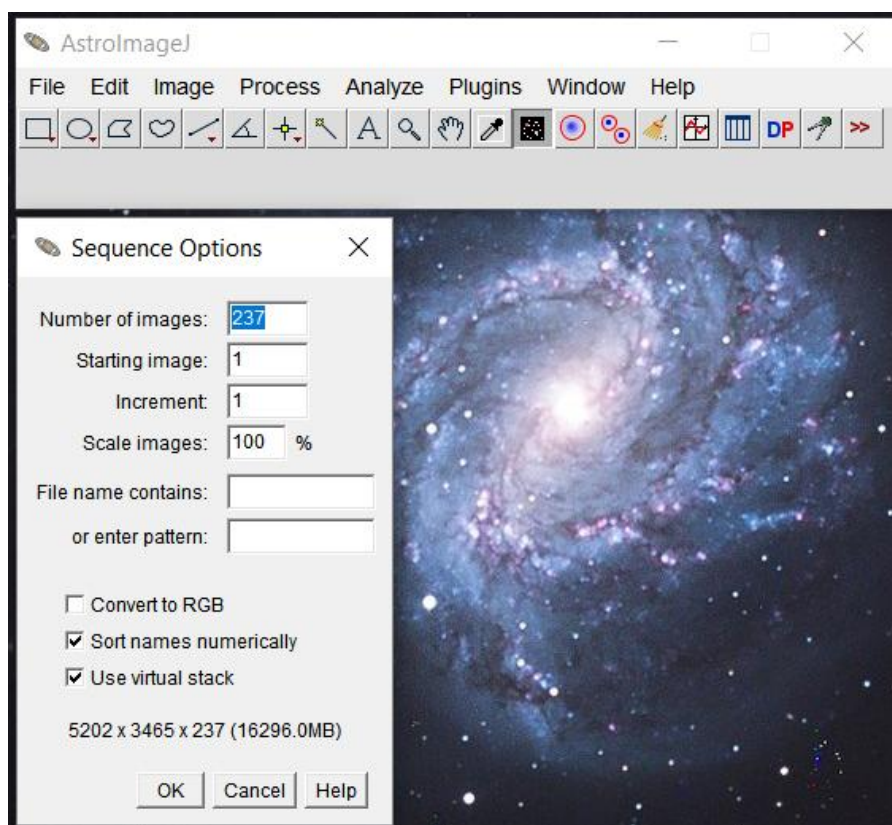
<http://www.astro.louisville.edu/software/astroimagej/>

Após calibração, alinhamento e conversão das imagens para um formato mais apropriado, como por exemplo “fits”, pode-se realizar os seguintes passos para obter a curva de luz:

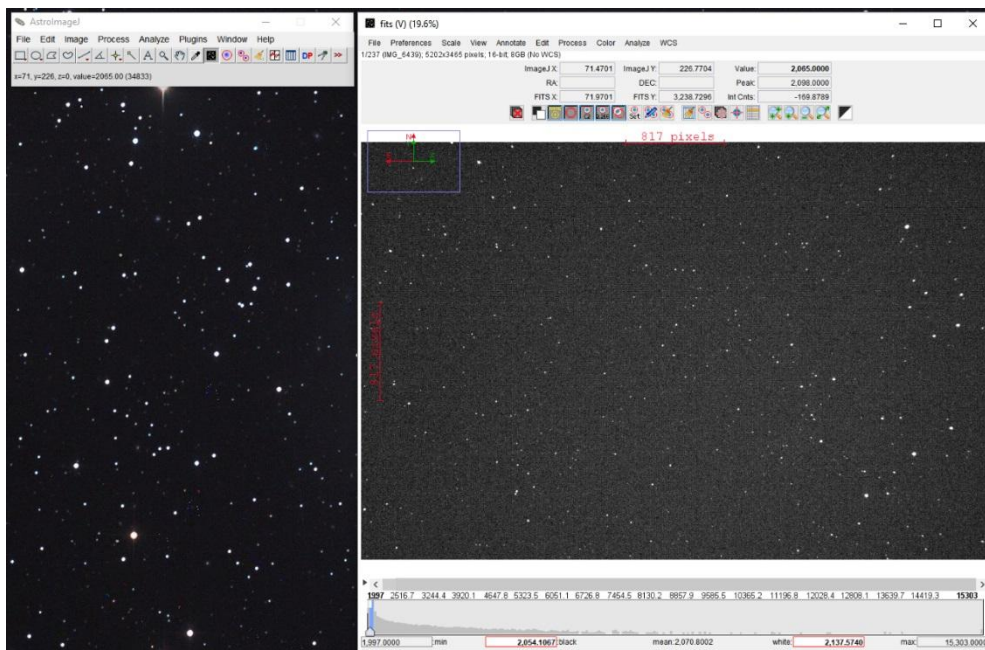
Abrir os ficheiros de fotografia: File -> Import -> Image Sequence. Todos os ficheiros devem estar contidos em uma pasta que apenas possua ficheiros a analisar. Basta seleccionar apenas o primeiro ficheiro dessa pasta:



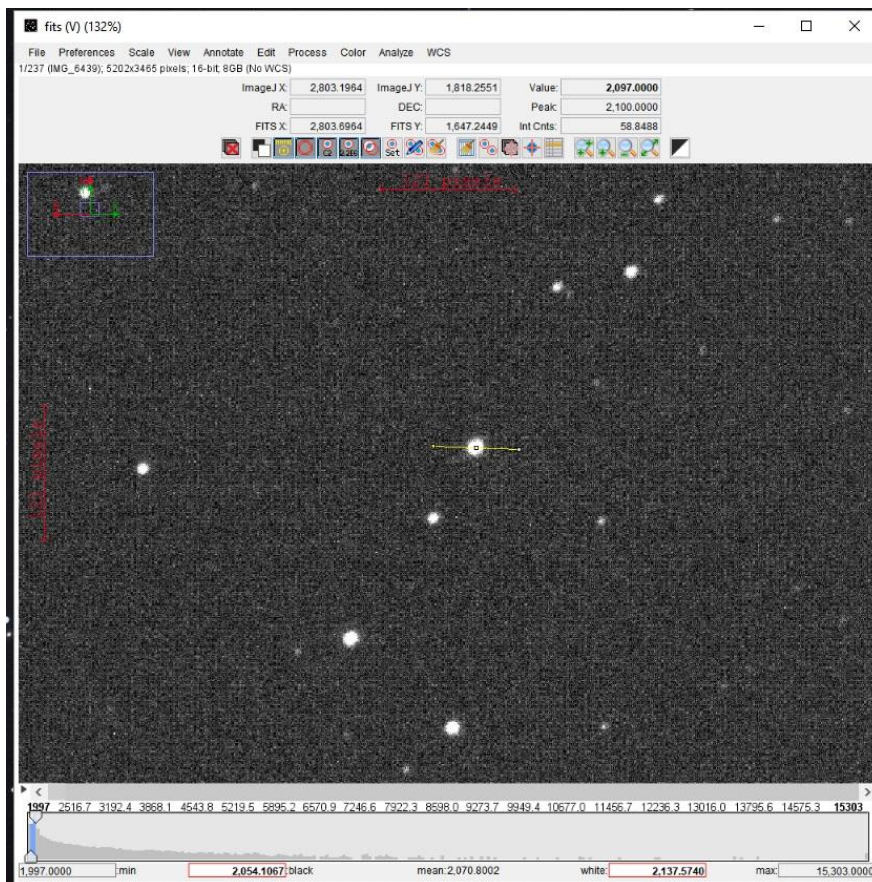
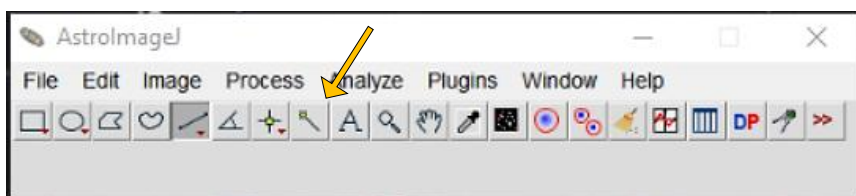
Selecionar a última caixa de verificação para assegurar a disponibilidade de memória do computador “Use virtual stack”:



A primeira fotografia irá ser aberta em uma nova janela:

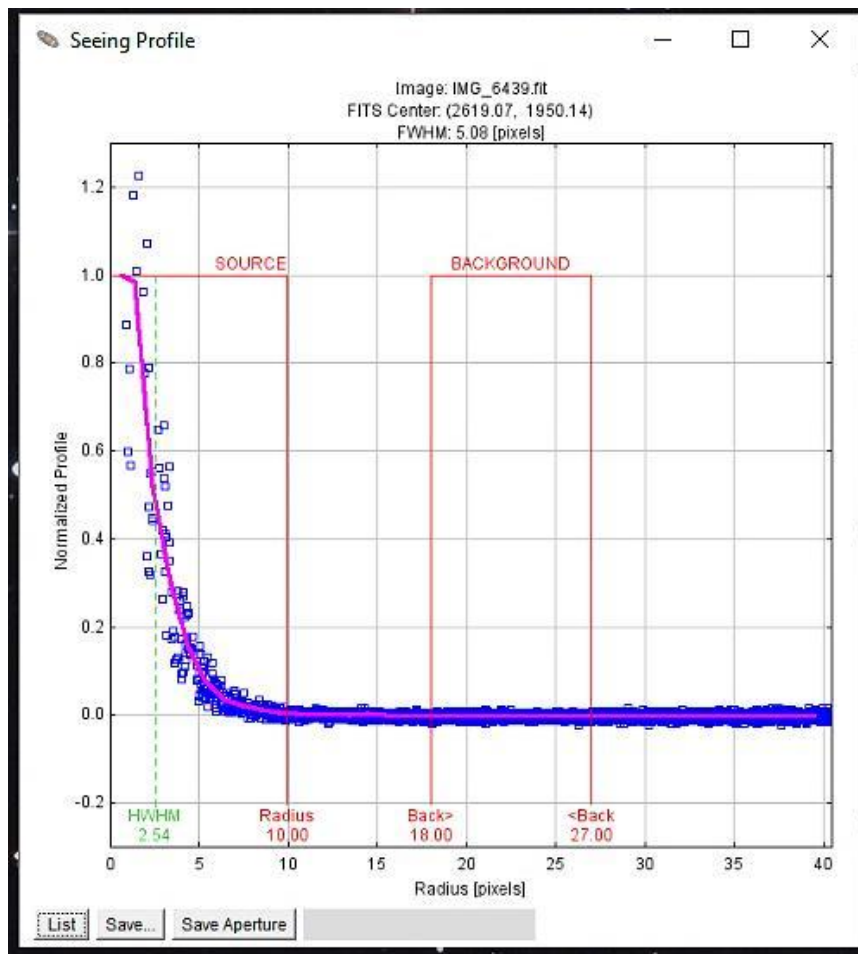


Para ajudar a definir a área da estrela alvo, usar a seguinte ferramenta para traçar uma recta na estrela com o ponto central sobre a mesma:

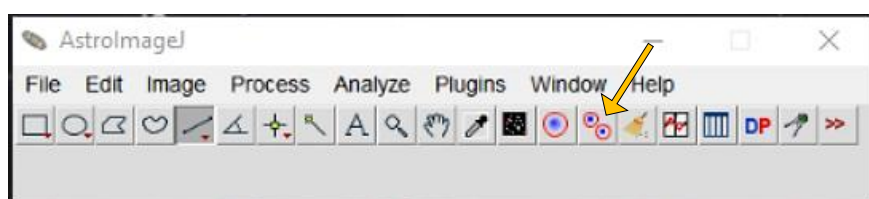


Posteriormente aceder a Analyze -> Plot seeing profile... *(or alt-click star):

De seguida uma nova janela irá ser aberta com um gráfico similar ao seguinte. É possível observar no gráfico uma primeira área definida como “Source” que apresenta um raio de 10 pixéis e uma segunda área definida como “Background” que apresenta um raio inicial de 18 pixéis até a um raio final de 27 pixéis. Estes são os valores aconselhados a definir no alvo fotométrico.



Pressionar então o seguinte botão:



Uma nova janela irá abrir. Nessa nova janela definir os valores dos raios apresentados anteriormente, em que, “Radius of object aperture” corresponde ao raio da “Source” [10 pixels]. “Inner radius of background annulus” e “Outer radius of background annulus” correspondem aos raios do “Background” [18 e 27 pixels]. Após definir os raios pressionar o botão “Place Apertures”.

Multi-Aperture Measurements

First slice < [] > 1

Last slice < [] > 237

Radius of object aperture < [] > 10

Inner radius of background annulus < [] > 18

Outer radius of background annulus < [] > 27

☐ Use previous 7 apertures (1-click to set first aperture location)

☐ Use RA/Dec to locate aperture positions

☐ Use single step mode (1-click to set first aperture location in each image)

☐ Allow aperture changes between slices in single step mode (right click to advance image)

☒ Reposition aperture to object centroid ☒ Halt processing on WCS or centroid error

☒ Remove stars from background ☐ Assume background is a plane

☐ Vary photometer aperture radius based on FWHM

FWHM factor (set to 0.00 for radial profile mode): < [] > 1.30

Radial profile mode normalized flux cutoff: 0.010 (0 < cutoff < 1 ; default = 0.010)

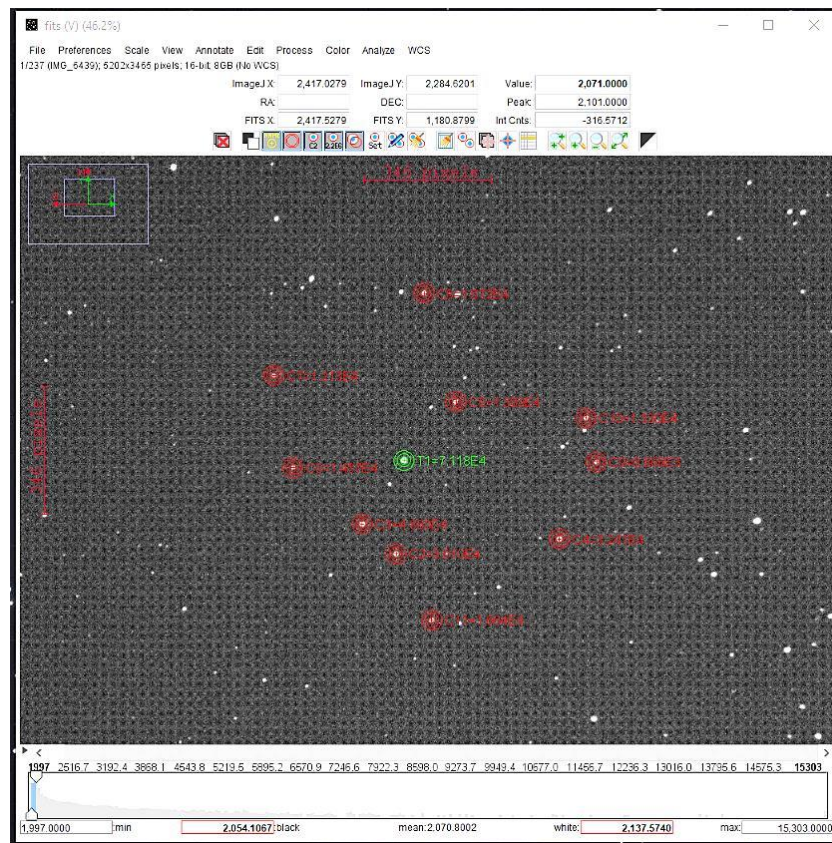
☐ Prompt to enter ref star apparent magnitude (required if target star apparent mag is desired)

☒ Update plot of measurements while running ☒ Show help panel during aperture selection

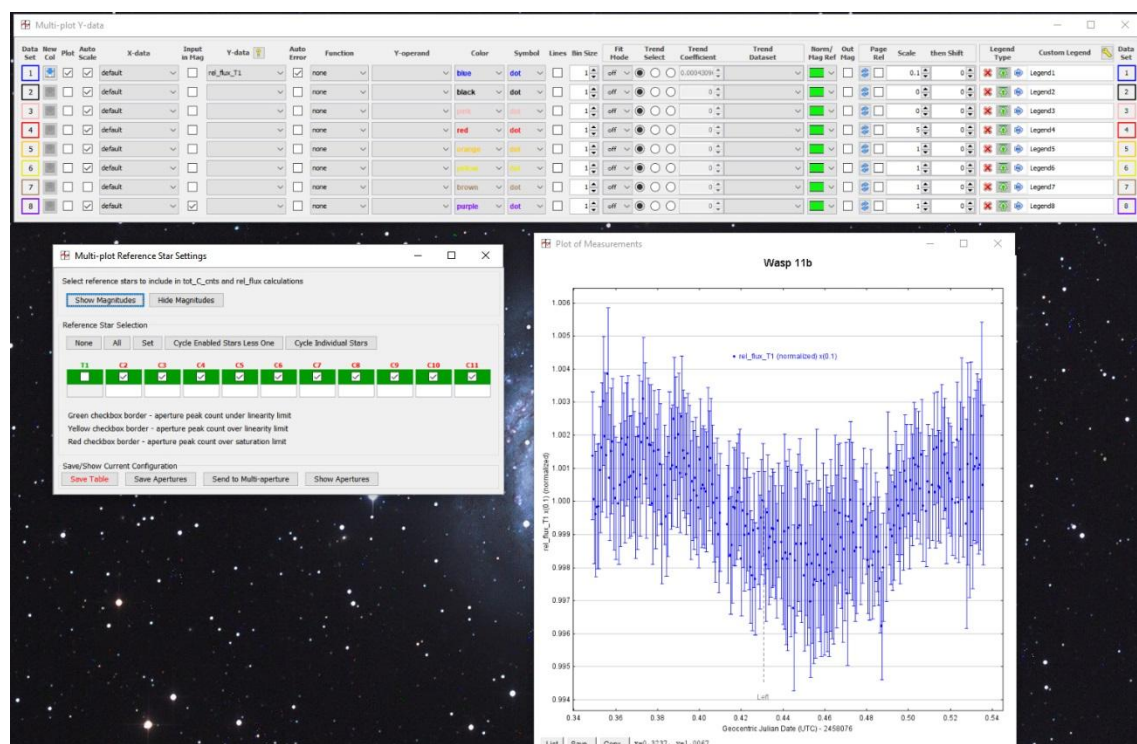
CLICK 'PLACE APERTURES' AND SELECT APERTURE LOCATIONS WITH LEFT CLICKS.
THEN RIGHT CLICK or <ENTER> TO BEGIN PROCESSING.
(to abort aperture selection or processing, press <ESC>)

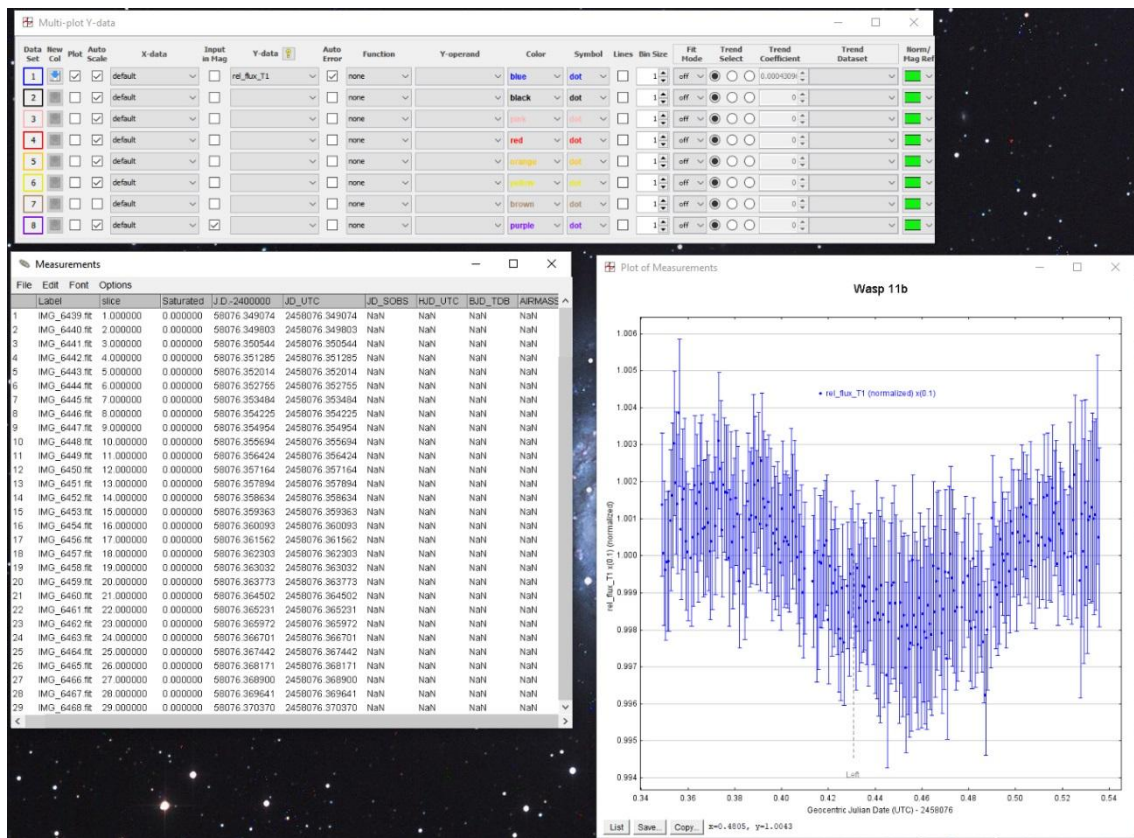
Place Apertures Aperture Settings Cancel

Primeiramente seleccionar a estrela alvo. Posteriormente seleccionar as estrelas de referência. As estrelas de referência devem ser estrelas com magnitude semelhante à estrela alvo. Devem ser seleccionadas estrelas de referência em torno da estrela alvo e próximo desta.



Após selecção das estrelas, pressionar o botão do lado direito do rato em cima da imagem e a análise começará. Várias janelas irão ser abertas e quando a análise terminar deverá ser apresentado um gráfico como se pode observar na imagem seguinte:





Nas janelas anteriores os dados poderão ser guardados, modificados, poderão seleccionar ou remover estrelas de referencia, etc...

Poderão ainda utilizar a base de dados “Exoplanet Transit Database” para traçar uma curva dos vossos dados. Para tal, guardar os dados obtidos com “AstroImageJ” e carregar esses mesmos dados na base de dados “Exoplanet Transit Database”.

