

# FOTOGRAFAR O CÉU (Parte III)

Pedro Ré

<http://www.astrosurf.com/re>

As galáxias, as nebulosas e os enxames ou aglomerados de estrelas consideram-se geralmente como *objectos do céu profundo*, por se encontrarem para lá do sistema solar e da evidência imediata das constelações. As principais técnicas de localização e de observação destes objectos foram abordadas na obra: Almeida, G. , P. Ré, (2000). *Observar o céu profundo*, Platano Edições Técnicas. A referida obra constitui um manancial de conselhos e técnicas de observação, um guia prático e um atlas do céu profundo. A fotografia do céu profundo bem como a fotografia de superfícies planetárias, constituem, sem dúvida, dois dos campos mais exigentes da fotografia astronómica.

O método mais simples de fotografar o céu profundo consiste em montar uma câmara fotográfica sobre um telescópio que possua uma montagem equatorial motorizada. Neste caso a câmara é montada em paralelo ou em *piggy-back*. Se a montagem equatorial for colocada em estação, podem realizar-se astrofotografias de longa pose recorrendo ao uso de diversas objectivas fotográficas (28 mm a 300 mm de distância focal). Este tipo de imagens deve ser efectuado longe da poluição luminosa das grandes cidades e numa noite sem Lua (Figura 1). No caso das imagens serem realizadas em ambientes urbanos ou suburbanos, podemos recorrer ao uso de diversos filtros especiais. No caso de se utilizarem objectivas com distâncias focais curtas (objectivas grande-angulares e normais) a precisão da guiagem não é muito exigente.

Para fotografar o céu profundo através de um telescópio é necessário acoplar uma câmara fotográfica a um destes instrumentos segundo um dos processos anteriormente descritos. No entanto, para se realizarem fotografias do céu profundo, as exposições são necessariamente mais prolongadas. Isto significa que durante a exposição terá que se efectuar uma guiagem precisa do telescópio. Para tanto, é necessário que este seja suportado por uma montagem equatorial robusta e de boa qualidade. Para que uma montagem equatorial seja efectiva, torna-se necessário colocá-la rigorosamente em estação. A precisão do seguimento das montagens equatoriais pode ser muito variada. Em geral as montagens modernas são motorizadas nos dois eixos por meio de motores de passos. A realização de astrofotografias do céu profundo através de um telescópio implica a utilização de montagem equatoriais de boa qualidade, isto é, com uma excelente precisão de guiagem.

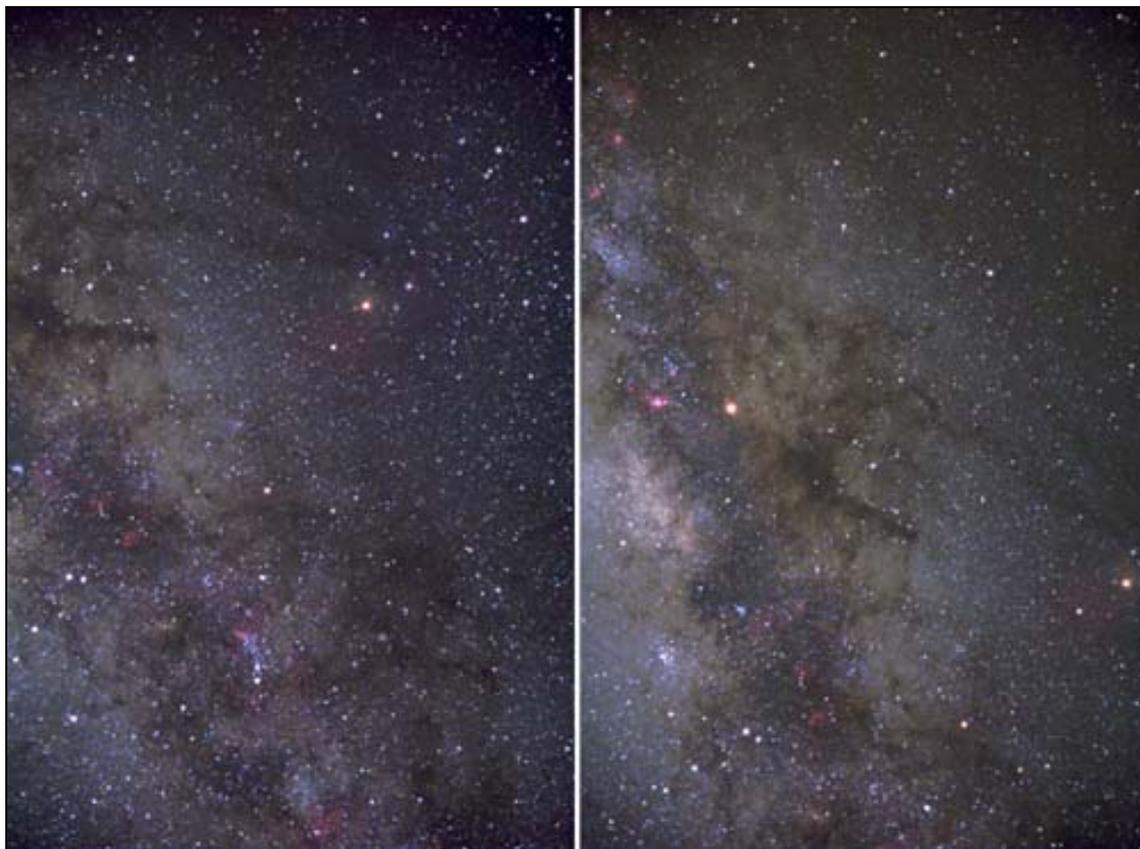


Figura 1- Constelação do Escorpião. *Olympus OM-1*, 50 mm 1:1.8 (2.8). Filme *Kodak Ektachrome E200*. Exposições de 15 min Pedro Ré e José Carlos Diniz, Chile (2001).

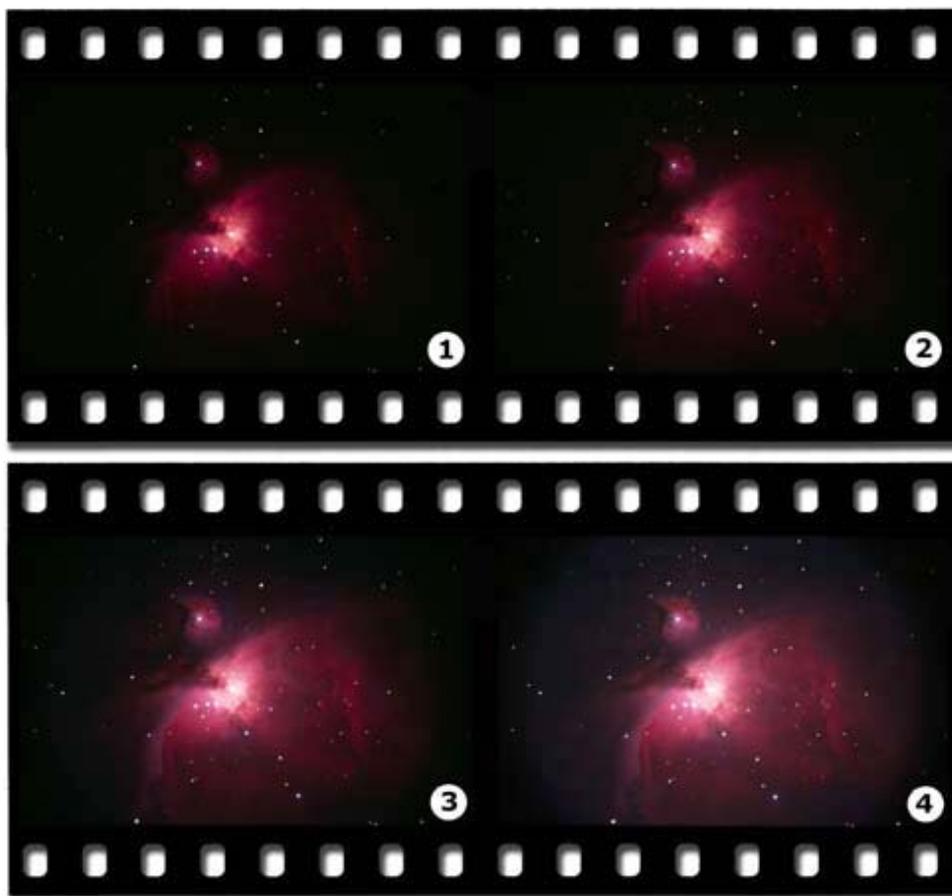


Figura 2- Nebulosa do Oriente (M 42). Telescópio Schmidt-Cassegrain Celestron 350 mm  $f/11$  (reductor /corrector  $f/7$ ). Filme *Kodak Ektachrome* E200. Exposições 5 min (1), 10 min (2), 15 min (3), 20 min (4), (20020116). Pedro Ré (2002).



Figura 3- Nebulosa do Oriente (M 42). Telescópio Schmidt-Cassegrain Celestron 350 mm  $f/11$  (reductor /corrector  $f/7$ ). Filme *Kodak Ektachrome* E200. Tempo total de exposição 39 min. Imagem processada por computador (20020116). Pedro Ré (2002).

A utilização de câmaras CCD refrigeradas por parte de astrónomos amadores tem vindo a revolucionar, nos últimos anos, as técnicas e os campos de observação. A astronomia CCD encontra-se actualmente em fase de verdadeira expansão.

As enormes vantagens que as câmaras CCD têm relativamente às emulsões fotográficas podem ser resumidas em dois pontos:

1. as câmaras CCD conseguem registar até 90% dos fotões incidentes (elevada eficiência quântica) enquanto que uma película fotográfica apenas regista 2 a 5%;
2. as câmaras CCD não apresentam falha de reciprocidade, isto é, o seu sinal de saída, *output*, é quase directamente proporcional aos fotões incidentes, ou seja, aos tempos de exposição (linearidade quase perfeita).

Estas duas vantagens permitem obter imagens astronómicas com poucos minutos de exposição ao contrário do que sucede se utilizarmos emulsões fotográficas, que requerem dezenas de minutos ou mesmo horas (objectos do céu profundo). Além disso, as imagens obtidas com câmaras CCD podem ser posteriormente optimizadas por meio de *software* apropriado de modo a realçar aspectos relevantes ou eliminar defeitos inerentes à própria imagem (câmara escura digital).

No entanto as câmaras CCD também apresentam alguns inconvenientes:

1. necessidade de utilizar um computador para obter as imagens (câmaras CCD refrigeradas);
2. dimensão reduzida da superfície sensível à luz;
3. número de elementos de imagem (*pixels*) relativamente pequeno.

Os sensores ou detectores CCD são constituídos por uma superfície sólida sensível à luz, dotada de circuitos que permitem ler e armazenar electronicamente imagens digitais. O conjunto formado pelo detector CCD, circuitos electrónicos, sistema de refrigeração e suporte mecânico constituem uma câmara CCD (Figura 4).

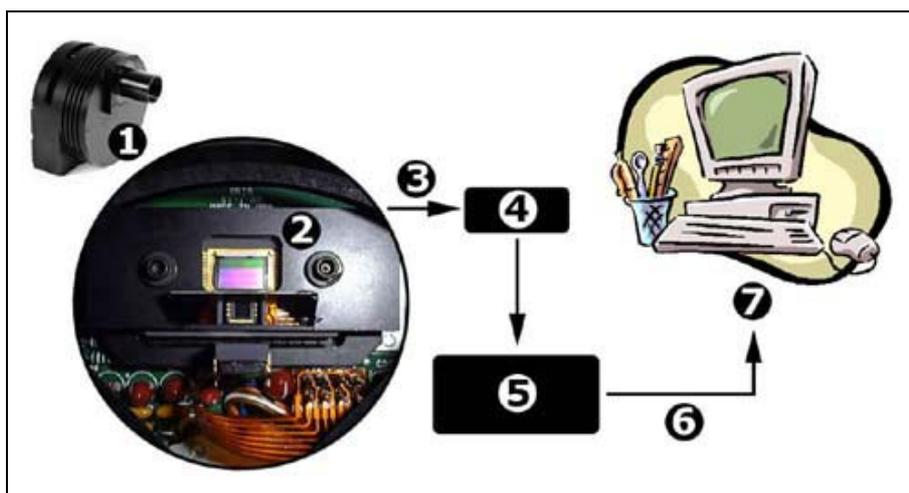


Figura 4- Esquema simplificado de uma câmara CCD. 1- Câmara CCD, 2- Sensor CCD, 3- Leitura e amplificação (sinal analógico), 4- Amplificador, 5- Conversor analógico/digital, 6- Digitalização (sinal digital), 7- *Download* para computador. Pedro Ré (2002).

O modo como um sensor CCD transforma uma imagem num ficheiro de computador é relativamente simples. A luz que incide num conjunto de centenas de milhares de detectores ("*pixels*"), produz cargas eléctricas, que são por sua vez lidas, medidas, convertidas em números e gravadas num ficheiro de computador. As câmaras deste tipo, necessitam portanto, de um computador (PC ou Mac) para poderem ser operadas.

Na fotografia convencional, chama-se tempo de exposição ao tempo durante o qual a película recebe luz do objecto que se quer registar. Na captação de imagens CCD, a este tempo chama-se tempo de integração. As integrações de longa duração obtidas com o auxílio de um sensor CCD enfermam fundamentalmente de três tipos de defeitos que se descrevem seguidamente.

Durante o tempo de integração, é acumulada uma interferência térmica em cada *pixel* ou elemento de imagem. O sensor CCD necessita de ser refrigerado a uma temperatura muito baixa (da ordem dos  $-173^{\circ}\text{C} = 100\text{ K}$ ) para que este sinal seja reduzido a um nível negligenciável<sup>1</sup>. A maioria das câmaras CCD é afectada por esta interferência, uma vez que habitualmente os sensores CCD não são refrigerados a temperaturas inferiores a  $-50^{\circ}\text{C}$ . A imagem é deste modo afectada por uma corrente negra ou *dark current* (cujo nome é derivado do facto desta interferência estar presente mesmo quando o sensor se encontra no escuro).

<sup>1</sup> De um modo geral o ruído de uma imagem decresce 50% por cada abaixamento da temperatura de  $6^{\circ}\text{C}$ . As vantagens da refrigeração tornam-se, por isso, óbvias.

Adicionalmente existe ainda um enviesamento também designado *offset* ou *bias* que é independente do tempo de integração e da temperatura do sensor. Este *offset* é induzido pelas características do *output* do sensor CCD e dos circuitos electrónicos do processador do sinal de vídeo.

A sensibilidade à luz não é idêntica para todos os elementos que constituem um sensor CCD. Se este for iluminado por uma fonte luminosa uniforme (por exemplo o céu crepuscular ou um ecrã branco) o resultado não é necessariamente uma imagem uniforme.

Todos estes defeitos podem ser corrigidos com relativa facilidade. O pré-processamento de uma imagem obtida com um sensor CCD envolve uma série de procedimentos no computador utilizando *software* apropriado, nos quais se inclui a *subtracção* do mapa de corrente escura ou *dark frame* e mapa de *offset*, e a *divisão* pelo mapa de iluminação uniforme ou *flat field*.

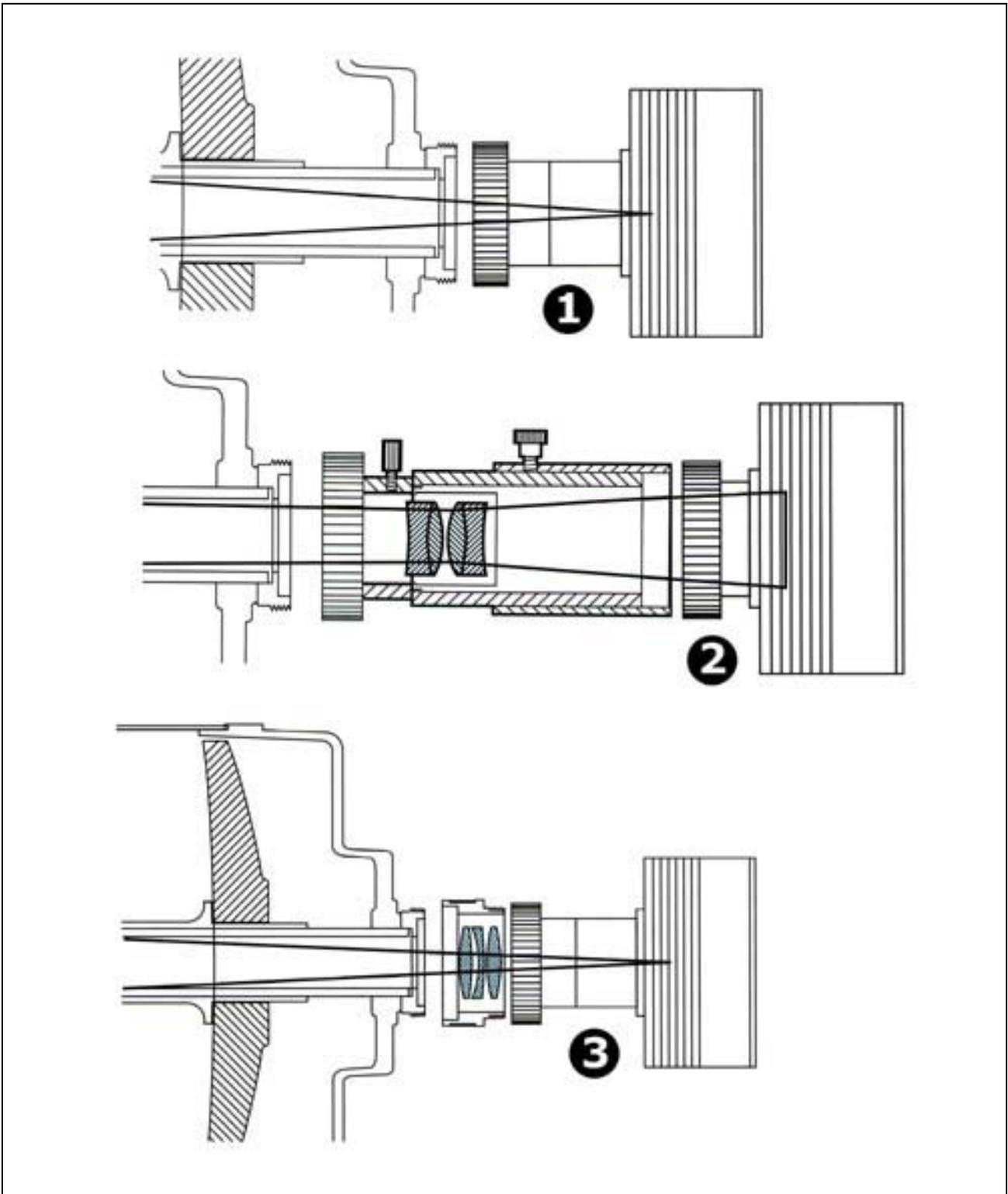


Figura 5- Como acoplar uma câmara CCD a um telescópio: 1- Foco principal; 2- Projecção (positiva); 3- Compressão.

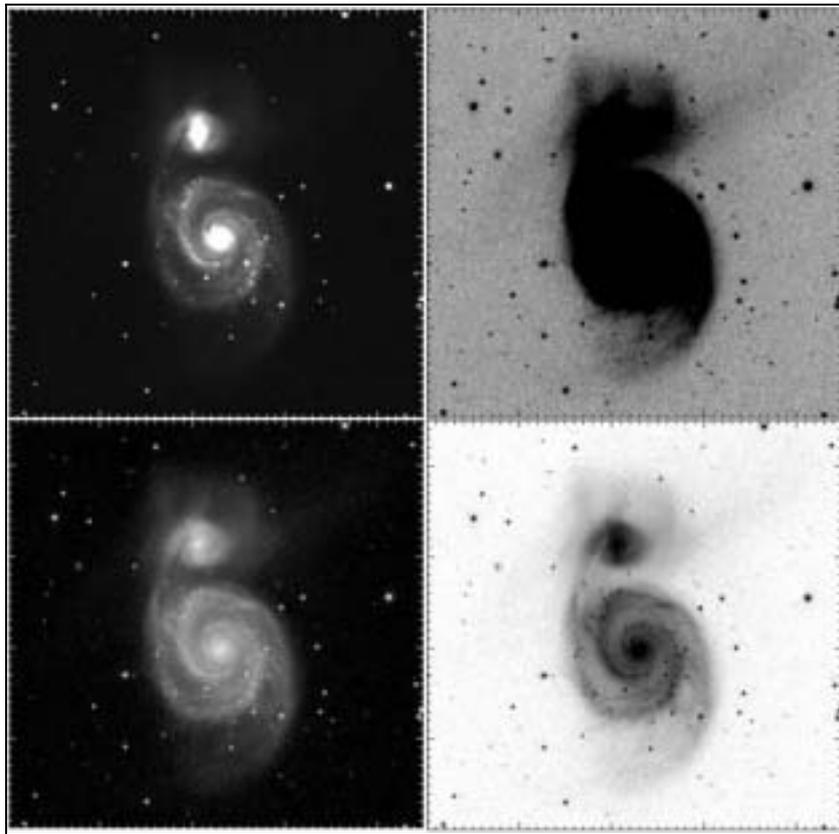


Figura 6- Exemplo de diversos métodos de visualização da informação contida numa imagem CCD (M 51). Telescópio refractor Apocromático *Takahashi* FS102 *f*/8. Câmara CCD *SBIG* ST-7. Tempo total de integração 40 min (soma de 20 imagens com 2 min). Pedro Ré (2001).

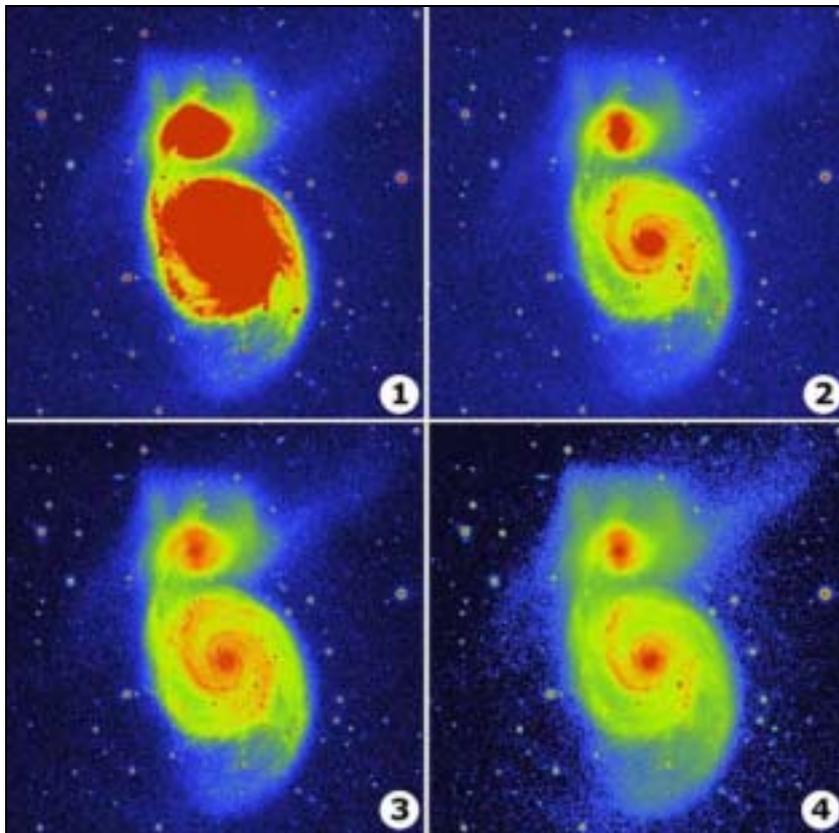


Figura 7- Imagens pós-processadas da galáxia M 51 (imagens em cor falsa). 1- Soma, 2- *logarithmic scaling*, 3- *digital development processing*, 4- *modified equalization*. Telescópio refractor Apocromático *Takahashi* FS102 *f*/8. Câmara CCD *SBIG* ST-7. Tempo total de integração 90 min (soma de 45 imagens com 2 min). Imagens processadas com o programa *Iris*. Pedro Ré (2001).

A maioria das câmaras CCD refrigeradas produz imagens a preto e branco. Se se pretender obter imagens coloridas (Figura 8) é necessário recorrer à utilização de filtros coloridos e de *software* e *hardware* adequados. As imagens CCD coloridas são produzidas obtendo integrações através de diversos filtros (RGB e CMY<sup>2</sup>) que são posteriormente (soma, média ou mediana). A maioria dos sensores CCD não responde de um modo equivalente a todos os comprimentos de onda do espectro visível. Por este motivo as integrações efectuadas através de cada filtro não são necessariamente idênticas. Habitualmente recorre-se a uma roda ou a um selector de filtros.

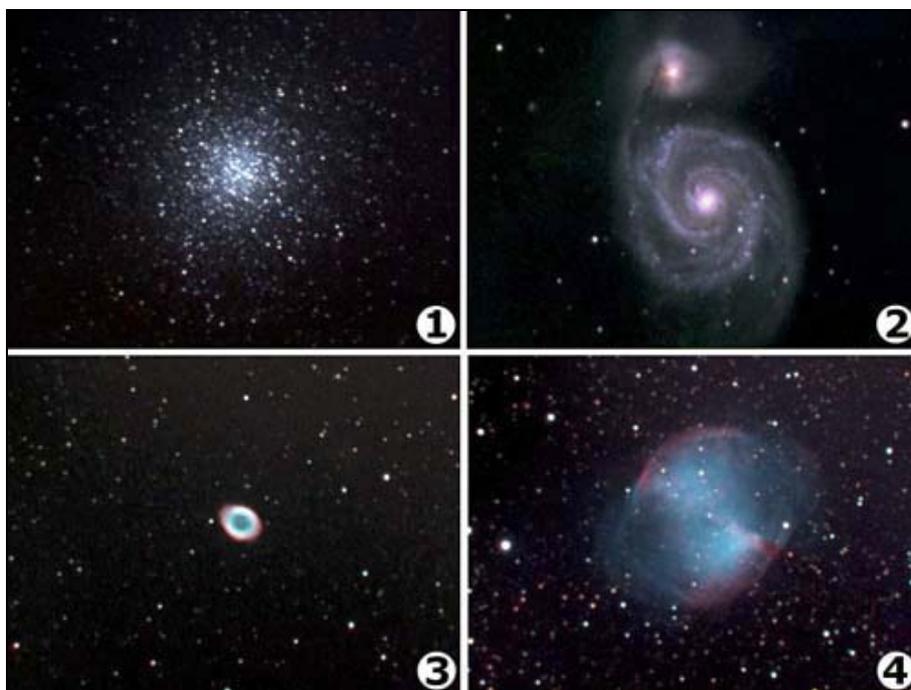


Figura 8- Imagens CCD coloridas obtidas com o auxílio de filtros (RGB). 1- M 13, 2- M 51, 3- M 57, 4- M 27. Telescópio Schmidt-Cassegrain 350 mm f/6. Câmara CCD MX916. Pedro Ré (1999).

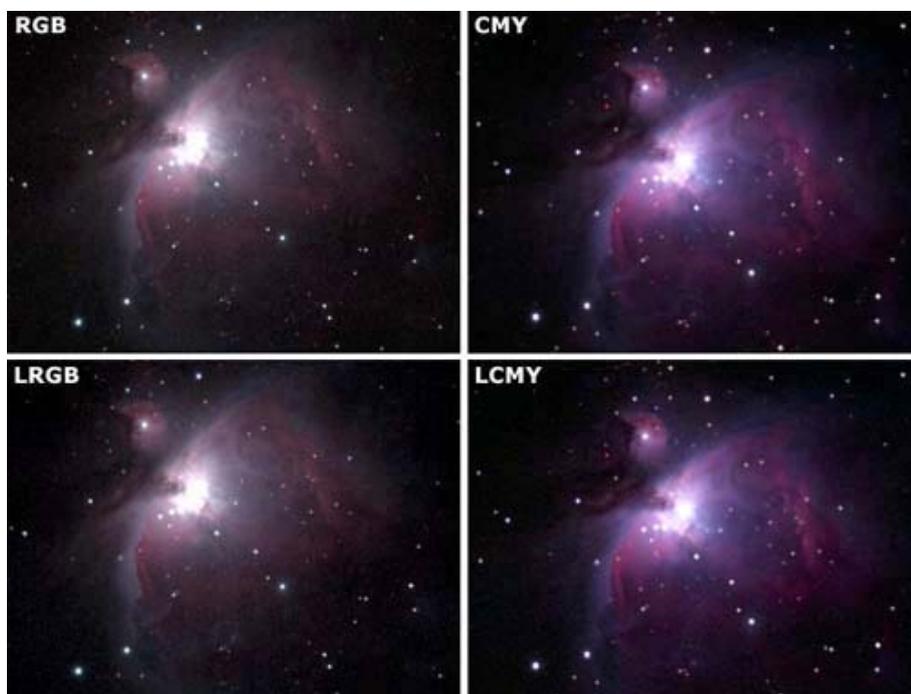


Figura 9- Imagens CCD coloridas da nebulosa M 42. Telescópio Schmidt-Cassegrain 100 mm f/6,3. Câmara CCD MX916. Tempo total de integração 9 min (Média de 3 imagens de 1 min obtidas através de cada filtro). A camada de luminância (L) é o resultado da soma de todas as integrações. Imagem processada com os programas *Astroart* e *Photoshop* 6.0. Pedro Ré (1999/2000).

<sup>2</sup> RGB- Red, Green, Blue, (Vermelho, Verde e Azul). CMY- Cyan, Magenta, Yellow, (Cian, Magenta e Amarelo).

# OS SATÉLITES GALILEANOS

António José Cidadão

[planetary\\_observer@yahoo.com](mailto:planetary_observer@yahoo.com)

Secção planetária da APAA (Associação Portuguesa de Astrónomos Amadores):

<http://www.apaa.online.pt/planetas/>

Secção de Júpiter da IOPW (International Outer Planets Watch):

[http://atmos.nmsu.edu/iopw/current\\_images.htm](http://atmos.nmsu.edu/iopw/current_images.htm)

Secção de Júpiter da BAA (British Astronomical Association):

<http://www.britastro.com/jupiter/>

Secção de Júpiter da ALPO (Association of Lunar and Planetary Observers):

<http://www.jpl.arizona.edu/~rhill/alpo/jup.html>

Secção de Júpiter da ALPO do Japão:

<http://www5.ocn.ne.jp/~planets/Jupiter.htm>

Descobertos em 1610 por Galileo Galilei, os quatro maiores satélites de Júpiter<sup>3</sup> expandem as oportunidades observacionais que os amadores podem alocar a este “gigante gasoso”. O seu brilho, cor e diâmetro aparente variam, e tal pode ser confirmado com o auxílio de um telescópio de boa qualidade e, principalmente, numa noite de estabilidade atmosférica adequada. Io é ligeiramente amarelado em observação visual, Europa branco, e tanto Ganimedes como Calisto apresentam, do meu ponto de vista, tonalidade acinzentada, sendo o último nitidamente menos brilhante. Ganimedes, o maior e mais brilhante satélite galileano, e que orbita em torno de Júpiter em pouco mais de 7 dias, é simultaneamente o maior satélite natural do sistema Solar, sendo inclusivamente maior que planetas como Mercúrio e Plutão.

Frequentemente, os satélites passam sobre o disco de Júpiter, e a isso chamamos trânsitos. Dependendo da data do evento, relativamente à data da oposição, a sombra que o satélite projecta sobre o planeta quando do trânsito pode preceder ou seguir o satélite. Cronometrar o início e fim dos trânsitos, assim como o aparecimento (“ingresso”) e desaparecimento (“egresso”) da sombra do satélite é ainda um interessante exercício, que testa a nossa acuidade visual e pode ser comparado com efemérides publicadas<sup>4</sup>, ou obtidas a partir de software apropriado já referido na passada semana.

Igualmente frequentes são os fenómenos nos quais os satélites são ocultados, ou seja “escondidos” da nossa observação durante o período de tempo em que, devido ao seu movimento orbital, eles passam por trás do planeta. Antes ou depois das ocultações, mais uma vez dependendo da altura do evento relativamente à data da oposição, um dado satélite pode atravessar o cone de sombra projectado por Júpiter, desaparecendo temporariamente num fenómeno a que chamamos eclipse. Tal como referido anteriormente, cronometrar as ocultações e eclipses é um exercício interessante, mas observa-los é seguramente uma oportunidade a não perder numa noite de boa estabilidade. Nestas circunstâncias, será notório que o início e fim das ocultações, assim como a entrada e saída do satélite do cone de sombra Joviano são acontecimentos graduais, onde o pequeno disco do satélite em questão se vai progressivamente transformando num fino crescente, até finalmente desaparecer, e vice-versa. Além da boa estabilidade da nossa atmosfera, que é obrigatória, um telescópio de excelente qualidade, independentemente do seu tipo, ajuda muito, e o uso de grandes ampliações é necessário.

Com períodos orbitais variando desde cerca de 1,5 dias no caso de Io, de todos o mais próximo de Júpiter, até um pouco mais de 16,5 dias para Calisto, o mais distante do planeta, os quatro satélites galileanos apresentam pois inúmeras possibilidades de demonstrar o seu dinamismo, modificando rapidamente as posições relativas entre si e com o planeta. Por exemplo, pelo referido anteriormente, é compreensível que algumas vezes nem todos os quatro satélites podem ser observados quando de uma avaliação rápida com um binóculo. Dois ou mais podem exibir posições aparentes muito próximas, confundindo-se com um único satélite, um ou mais do que um podem estar realmente invisíveis devido a uma ocultação ou eclipse, ou ainda estar parcialmente “mascarados” devido a um trânsito. Embora raros, há mesmo ocasiões em que todos os satélites galileanos parecem estar ausentes, obviamente por uma combinação dos factores já referidos. Há ainda outras ocasiões em que o nosso esforço observacional, é premiado com um evento múltiplo, por exemplo o trânsito simultâneo de mais de um satélite. Reforço o facto destes eventos serem previsíveis, pelo que a consulta de efemérides impressas ou utilização de software próprio permite que o amador esteja antecipadamente “a postos” para um dado evento.

Vista a partir da Terra, a complexidade da “dança” dos satélites de Júpiter expande-se devido ao facto do plano orbital comum dos satélites ser apenas um pouco inclinado relativamente ao nosso ponto de observação. Isto faz com que dois ou mais satélites, apresentando posições aparentes muito próximas, possam estar de facto muito afastados, em locais simétricos das suas órbitas. Nestes casos, a sua deslocação aparente será em sentidos opostos, e o satélite que se deslocar no sentido da rotação de Júpiter estará posicionado na metade da sua órbita que o intercala entre Júpiter e a Terra. Neste caso, mais cedo ou mais tarde o satélite transita sobre o disco planetário, e no caso contrário é ocultado ou eclipsado por Júpiter. Se a inclinação do plano orbital comum dos satélites relativamente à Terra for a maior possível, então satélites mais afastados de Júpiter, nomeadamente Calisto, podem passar entre este planeta e a Terra e

<sup>3</sup> Portal do “NASA's Planetary Photojournal”, que contém inúmeras imagens e hiperligações relacionadas com os planetas do sistema Solar, nomeadamente de Júpiter e seus satélites:

<http://photojournal.jpl.nasa.gov/index.html>

<sup>4</sup> Página sobre “eventos Jovianos”, que contém inúmera informação disponível: <http://www.physics.sfasu.edu/astro/jupiter.html>

não transitar sobre o disco planetário (passam a N ou a S do planeta) ou, alternativamente, não ser ocultados ou eclipsados.

De 6 em 6 anos, ou seja duas vezes em cada período orbital de Júpiter, ou “ano Joviano”, a Terra e o Sol passam pelo plano orbital comum dos satélites galileanos. Quando tal sucede, ocorrem os denominados “fenómenos mútuos”<sup>5</sup>, em que um dado satélite pode ser ocultado por, ou eclipsado pelo cone de sombra de outro satélite, o qual, por sua vez, poderá ser ocultado ou eclipsado por um outro. Durante estes eventos, podem ser realizados estudos astrométricos ou fotométricos, perfeitamente ao alcance de amadores que possuam câmaras de vídeo e, volto a salientar, um sistema que permita atribuir aos dados obtidos referência temporal suficientemente precisa.

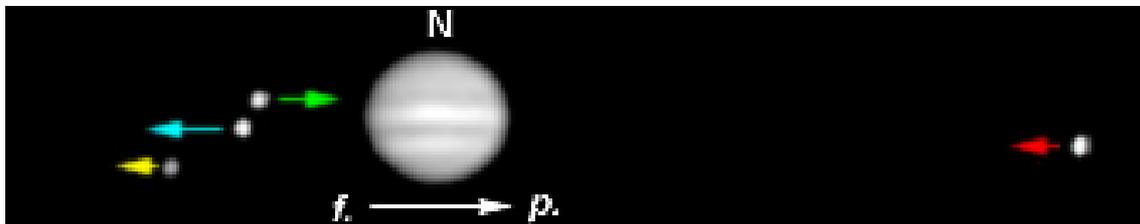


Figura 1- Júpiter e os seus quatro satélites galileanos, tal como podem ser fotografados através de um pequeno telescópio amador. Como seria de esperar, a rotação de Júpiter dá-se da esquerda para a direita (ou seja no sentido f. para p.). Apenas um dos satélites (Europa; seta verde) apresenta um movimento aparente no mesmo sentido, e dentro de pouco tempo transitará sobre o disco Joviano. Todos os outros satélites encontram-se em posições orbitais que os colocam mais afastados do que Júpiter quando observados a partir da Terra. Io (seta azul) e Calisto (seta amarela) foram já ocultados pelo planeta, e Ganimedes (seta vermelha) selo-a dentro de algum tempo. Verificar-se-á também que Calisto (seta amarela) desaparece durante a animação, devido ao facto de ter entrado no cone de sombra projectado por Júpiter e, deste modo, ter sido eclipsado. Esta animação foi obtida após a oposição, e tal como a sombra dos satélites os segue por tal altura, também o cone de sombra projectado por Júpiter segue o disco planetário. Precisamente o oposto sucede antes da oposição e, por altura da oposição, pode mesmo tornar-se impossível observar eclipses de alguns dos satélites (devido ao facto de eles apenas ocorrerem quando o satélite está simultaneamente a ser ocultado por Júpiter). Crédito: António Cidadão.



Figura 2- Neste conjunto de três imagens, obtidas há alguns anos quando o polo Norte de Júpiter estava ligeiramente inclinado para nós (quando da observação daquele planeta a partir da Terra), o satélite galileano Ganimedes está prestes a ser ocultado (esquerda) e está em trânsito (direita). Ao centro, para comparação, mostra-se a sombra de Ganimedes projectada sobre o disco de Júpiter. Tal como o satélite em trânsito, a sua sombra apresenta-se sob a forma de um disco escuro, mas exhibe um contraste relativamente às nuvens Jovianas muito maior que o do próprio satélite. Notar o posicionamento simétrico de Ganimedes em relação ao equador de Júpiter, especificamente quando o satélite se encontra em trânsito e prestes a ser ocultado. Para cada satélite, este desvio do equador aumenta com a inclinação do plano equatorial do planeta quando este é observado a partir da Terra. Para uma determinada data, ou seja uma mesma inclinação relativa do plano equatorial de Júpiter, o desvio aumenta paralelamente ao raio da órbita do satélite. Crédito: António Cidadão.

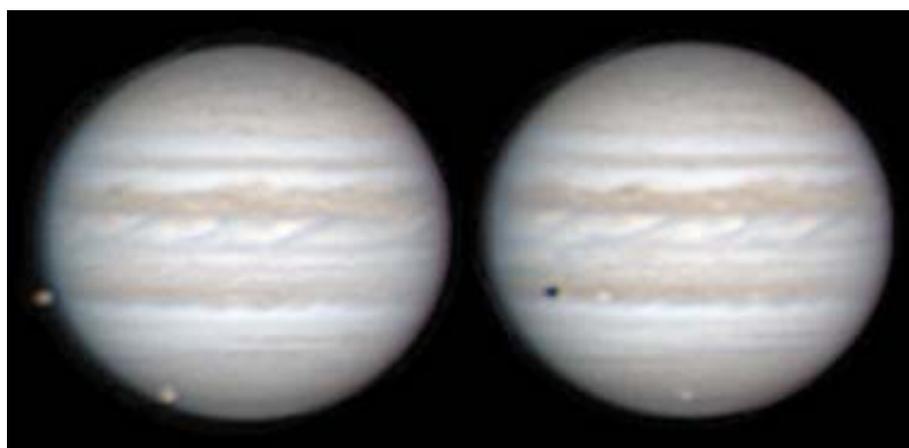


Figura 3- Duplo trânsito de Io e Ganimedes, observado em imagens obtidas num intervalo de 45 minutos. Na imagem da direita, obtida em último lugar, já se observa a sombra de Io projectada sobre o planeta. Notar o menor diâmetro aparente de Io, e o seu mais rápido movimento aparente. Ganimedes apresenta-se ligeiramente mais brilhante que a atmosfera Joviana apenas devido ao facto de estar a transitar na região polar Sul do planeta, onde o escurecimento do limbo é marcado. Crédito: António Cidadão.

<sup>5</sup> Página no servidor do “Le Bureau des longitudes”, em França, contendo informação sobre a última campanha de fenómenos mútuos dos satélites de Júpiter, que decorreu em 2003: <http://www.bdl.fr/Phemu03/phemu03.html>



Figura 4- Júpiter, e o seu maior satélite, Ganimedes (seta). Em noites de boa estabilidade atmosférica, os satélites galileanos visualizam-se como pequenos discos, nitidamente maiores que os discos de difracção estelares. Nestas condições, além de diferenças de brilho e cor, pode ser possível observar detalhes na superfície dos satélites. A ampliação de Ganimedes, enquadrada em baixo à direita, mostra a formação mais escura conhecida como "galileo regio". Crédito: António Cidadão.

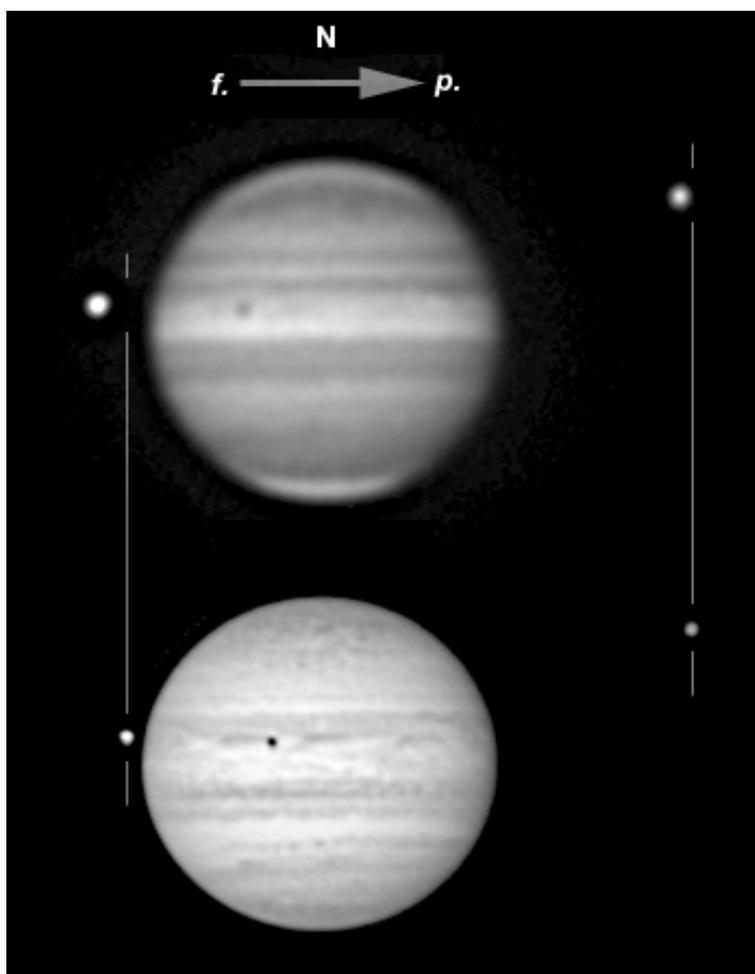


Figura 5- Imagens de Júpiter obtidas com alguns minutos de intervalo, primeiro através de um filtro da "banda do metano" (em cima) e subsequentemente com um filtro infravermelho de banda larga (em baixo). Observam-se dois satélites, Calisto (à direita) e Io (à esquerda do disco planetário). A sombra deste último está projectada sobre Júpiter e, como é característico de uma data antes da oposição, a sombra precede o próprio satélite. É evidente a diferença de brilho entre os dois, sendo Io o mais brilhante. É também o que exhibe um movimento aparente mais rápido devido ao facto de ter uma órbita mais próxima do planeta, a que corresponde um menor período orbital. O movimento aparente dos satélites coincide com o sentido da rotação do planeta (de f. para p.), precisamente o que sucede quando eles estão posicionados, na sua órbita, entre Júpiter e a Terra, preparando-se para transitar, ou tendo acabado de transitar, sobre o disco Joviano. O oposto acontece quando os satélites estão posicionados de modo a serem ocultados por Júpiter, situação em que exibem um movimento aparente contrário ao da rotação do planeta. Quando da obtenção das imagens, o plano equatorial de Júpiter apresentava-se ligeiramente inclinado relativamente ao plano de observação a partir da Terra, pelo que a posição dos satélites se afasta do equador Joviano. Tal desvio é muito maior para Calisto do que para Io, dado que o primeiro tem uma órbita muito mais afastada de Júpiter. Notar que o brilho dos satélites relativamente ao disco Joviano é maior na imagem obtida com o filtro da "banda de metano" (o qual isola comprimentos de onda onde Júpiter é cerca de 10 vezes menos brilhante devido à forte absorção da luz por parte do metano presente na sua atmosfera). Com este filtro os satélites continuam perfeitamente visíveis quando em trânsito, e a sua ocultação por Júpiter é melhor estudada. O mesmo acontece relativamente à ocultação de estrelas pouco brilhantes por Júpiter. Crédito: António Cidadão.

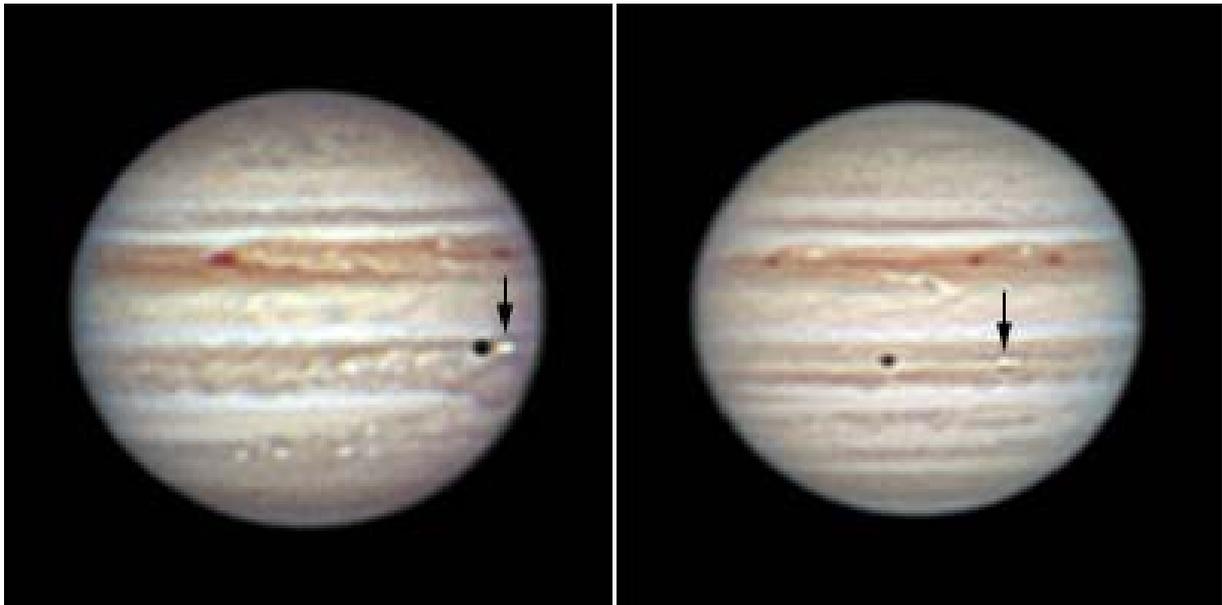


Figura 6- Nestas duas imagens de Júpiter, obtidas por altura da oposição (esquerda) e algum tempo depois da oposição (direita) Io encontra-se em trânsito (seta) e a sua sombra está projectada sobre o disco planetário. Perto da oposição, o satélite e a respectiva sombra apresentam posições aparentes muito próximas, e após a oposição é característico o satélite preceder a sua sombra. Devido ao escurecimento do limbo Joviano e ao brilho dos satélites, estes são muito mais perceptíveis quando perto do início ou do fim do trânsito. Perto do meridiano central, o brilho e tonalidade do satélite podem tornar difícil a sua discriminação relativamente a um cinturão (especialmente no caso de Io, de cor amarelada) ou a uma zona (situação frequente no caso de Europa, de cor branca). Pelo contrário Ganimedes, e principalmente Calisto, quando em trânsito apresentam-se como pequenos discos mais escuros que as nuvens Jovianas, principalmente se o seu contraste for exagerado por processamento de imagem. É clássico observadores pouco experimentados confundirem Calisto em trânsito com uma sombra de um satélite. Crédito: António Cidadão.

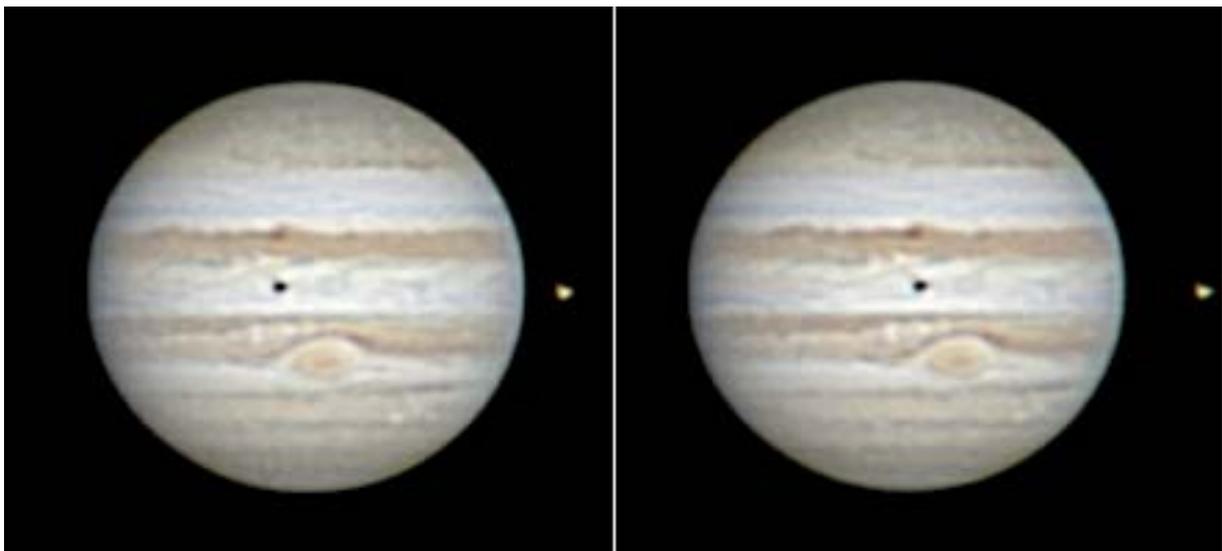


Figura 7- Imagens de Júpiter, obtidas com um intervalo de 15 minutos uma da outra, mostrando o satélite galleano Io com a sua sombra projectada sobre o disco planetário. Notar a cor amarelada do satélite e o grande contraste exibido pela sombra relativamente à brilhante zona equatorial de Júpiter. Quando os satélites estão posicionados perto do limbo planetário ou próximos uns dos outros, bastam poucos minutos para serem evidentes mudanças na sua posição aparente. Crédito: António Cidadão.

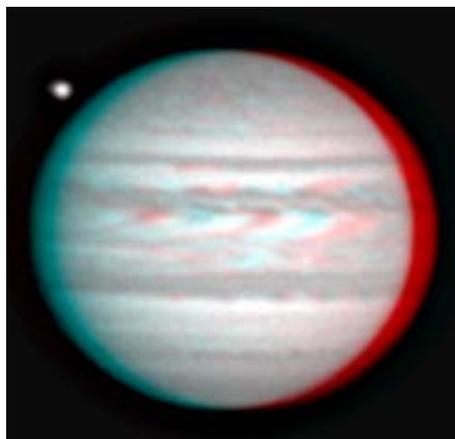


Figura 8- Imagem 3D de Júpiter, mostrando o maior de todos os satélites galleanos, Ganimedes, pouco tempo depois de este ter surgido por trás do limbo "seguidor" do planeta. Para visualizar a imagem, utilize óculos com um filtro (ex. celofane) vermelho para o olho esquerdo e azul para o direito. Clique na imagem para activar uma pequena animação numa nova janela, a qual mostrará o evento referido, concretamente o fim da "ocultação" de Ganimedes pelo disco planetário de Júpiter. Crédito: António Cidadão.

# CORONADO PST (PERSONAL SOLAR TELESCOPE)

Pedro Ré

<http://www.astrosurf.com/re>

Até há pouco tempo observar o Sol com um filtro de risca (Hidrogénio Alfa - 656,28 nm) significava um investimento considerável. Esta situação mudou radicalmente com a introdução do PST "*Personal Solar Telescope*" da Coronado.

O PST (Figura 3) é um telescópio reflector com uma abertura de 40 mm e uma distância focal de 400 mm (F/10). Ao contrário dos filtros *Mylar*, *Thousand Oaks* ou *Baader* (ver caixa) que permitem observar em total segurança o Sol (380 a 780 nanómetros)<sup>6</sup> a utilização de um PST permite observar muito mais do que as manchas solares. O filtro de risca incorporado com uma banda passante inferior a 1 Angstrom torna possível a observação de numerosas estruturas invisíveis com os filtros frontais mencionados anteriormente<sup>7</sup>.

Os filtros frontais em *Mylar* são adequados para a observação Solar. O *Mylar* é uma película de plástico muito fina, com um revestimento em alumínio de ambos os lados. O alumínio absorve as radiações UV e IV bem como grande parte da radiação visível. Os filtros *Mylar* produzem habitualmente imagens Solares azuladas. O material de que são feitos é relativamente frágil sendo relativamente comum observarem-se pequenos orifícios sem o revestimento da camada de alumínio. Deve-se inspecionar o filtro antes de o utilizar. Se exibirem defeitos, os filtros devem ser rejeitados. Em alternativa pode pintar-se o local defeituoso com tinta-da-china por exemplo. Os filtros da *Baader Planetarium* são talvez os filtros mais adequados para a observação Solar tanto visual como fotográfica. São constituídos por uma película (polímero) extremamente fina e produzem imagens de excelente qualidade quando colocados em frente da objectiva de um telescópio. As imagens Solares apresentam uma coloração esbranquiçada com um elevado contraste. Os filtros frontais de vidro óptico, com uma camada metálica depositada na sua superfície, são também uma boa opção, apesar de serem mais caros que os anteriormente mencionados. Produzem imagens de boa qualidade. O Sol quando observado através de um filtro *Thousand Oaks* apresenta uma coloração alaranjada e um bom contraste. A mesma firma produz filtros com uma densidade inferior (4). Estes filtros são concebidos para uma utilização fotográfica. As imagens que produzem são demasiado brilhantes para poderem ser utilizados como filtros visuais, não sendo por este motivo aconselhado o seu uso. A utilização de películas veladas a preto e branco ou coloridas, como filtros Solares não é aconselhada. Do mesmo modo não é segura a utilização de vidros fumados, óculos de Sol (um ou vários pares), filtros fotográficos de densidade neutra, filtros polarizantes e CD-Roms.

Esta banda passante muito estreita (< 1 Angstrom) possibilita a observação de protuberâncias ou proeminências solares bem com inúmeras estruturas na cromosfera (filamentos, poros, flares, plages...) (ver glossário no final do artigo).

O filtro é muito estável termicamente de tal modo que em condições normais de observação a banda passante mantém-se estável (< 1 Angstrom). Existe um diafragma de 5 mm situado próximo do plano focal e antes da ocular que possibilita a observação da totalidade do disco solar em excelentes condições. Se se pretender observar o sol com uma banda passante mais baixa é possível recorrer ao uso de um segundo filtro de 40 mm de abertura que é enroscado antes da objectiva do PST<sup>8</sup>. Existe um anel (Figura 3) que permite ajustar o filtro de risca tornando visíveis sucessivamente as protuberâncias e as formações de superfície.

O PST tem incorporado um buscador solar (Figura 3) que permite centrar o sol no campo do telescópio com enorme facilidade. A mala de transporte do PST é adequada para o transporte em segurança do instrumento (Figura 4).

Existem naturalmente outros filtros solares de risca tal como foi referido no início deste artigo. Os mais conhecidos são os filtros *Daystar* que possuem uma banda de passagem extremamente reduzida (0,5 a 0,95 Angstroms ou 0,05 a 0,095 nanómetros). De um modo geral, quando mais estreita for a banda de passagem, mais pormenores são visíveis na cromosfera Solar. As observações das protuberâncias são geralmente efectuadas com filtros de banda mais larga (0,95 angstroms) enquanto que os filamentos e estruturas finas da cromosfera são efectuados com filtros de banda mais estreita (0,5 angstroms) (Figura 1).

Os filtros *Coronado* são mais acessíveis e podem ser adaptados a qualquer instrumento de observação tal como os filtros *Daystar*. A firma *Coronado Instruments* comercializa além do PST outros telescópios compactos para a observação visual e fotográfica do Sol em H-alfa (Figura 2).

O PST é um telescópio de baixo custo concebido sobretudo para observações solares. Pode no entanto usar-se este excelente instrumento para obter imagens digitais do Sol recorrendo ao método afocal. O curso da focagem não é suficientemente amplo impossibilitando a fotografia no foco primário do telescópio (Figura 6).

<sup>6</sup> RÉ, P. (2002). *Fotografar o céu*. Plátano Edições Técnicas, 303 pp.

<sup>7</sup> Um filtro só é adequado se transmitir 0,003% da luz Solar incidente no visível (380 a 780 nanómetros) e valores não superiores a 0,5% no infravermelho próximo (780 a 1400 nanómetros).

<sup>8</sup> Deste modo é possível obter uma banda passante de aproximadamente 0,6 Angstroms.

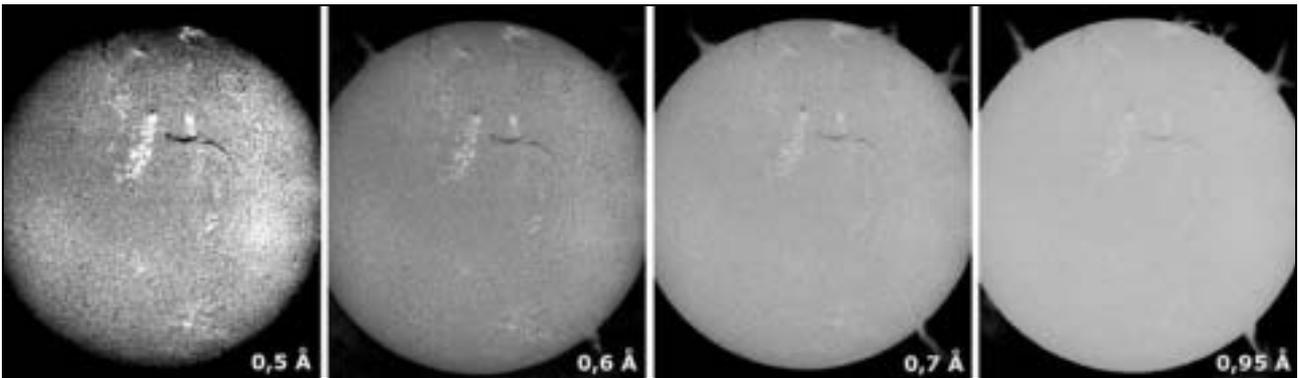


Figura 1- Imagens do Sol em H-alfa obtidas com o auxílio de filtros *Daystar*. A banda de passagem dos filtros é indicada na imagem. <http://www.daystarfilters.com/>

**P.S.T.**  
 Features: 40mm, F.L. 400mm, MaxMag. 12.5x, Thermal Stability -0.0004°C, Viewing - Full Blocking, 100% from F1.1 to f/10

**MaxScope 40™**  
 Features: 40mm, F.L. 400mm, MaxMag. 12.5x, Thermal Stability -0.0004°C, Viewing - Full Blocking, 100% from F1.1 to f/10

**MaxScope 60™**  
 Features: 60mm, F.L. 600mm, MaxMag. 10x, Thermal Stability -0.0004°C, Viewing - Full Blocking, 100% from F1.1 to f/10

**MaxScope 70™**  
 Features: 70mm, F.L. 700mm, MaxMag. 9.1x, Thermal Stability -0.0004°C, Viewing - Full Blocking, 100% from F1.1 to f/10

**MaxScope 90™**  
 Features: 90mm, F.L. 900mm, MaxMag. 8.3x, Thermal Stability -0.0004°C, Viewing - Full Blocking, 100% from F1.1 to f/10

**BinoMax™**  
 Features: 40mm, MaxMag. 12.5x, Thermal Stability -0.0004°C, Viewing - Full Blocking, 100% from F1.1 to f/10

**SolarMax Series Filters™**  
 Features: 40mm, 60mm, 90mm, MaxMag. 12.5x, Thermal Stability -0.0004°C, Viewing - Full Blocking, 100% from F1.1 to f/10

Focal Length	Blocking Filter
<math><500\text{mm}</math>	BF-5
<math><1000\text{mm}</math>	BF-10
<math><1500\text{mm}</math>	BF-15
<math><3000\text{mm}</math>	BF-30

Figura 2- Filtros e telescópios para observação solar comercializados pela firma *Coronado Instrumentos* (PST, Maxscope 40, 60, 70 e 90, filtros SolarMax 40, 60, 90). <http://www.coronadofilters.com>

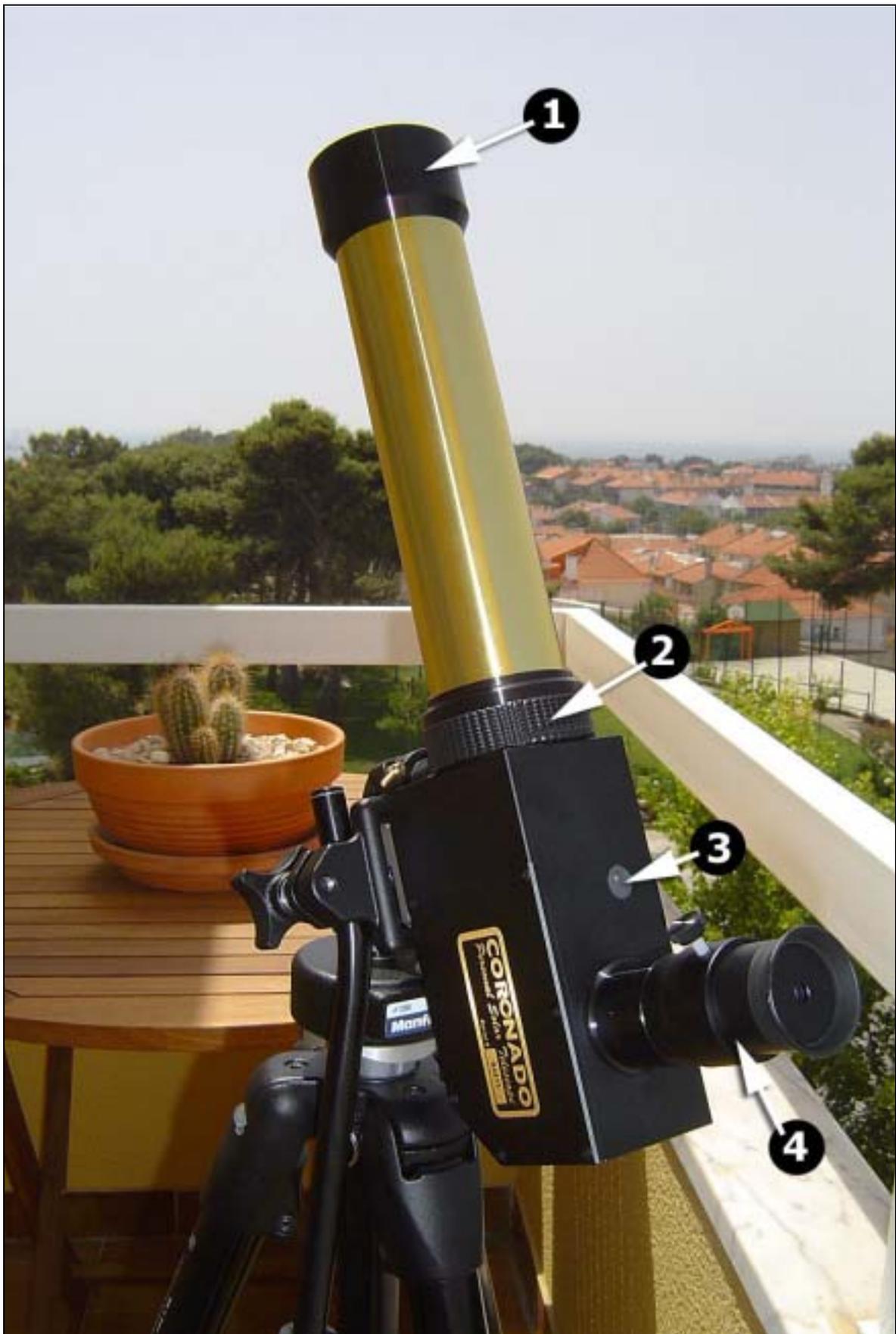


Figura 3- Coronado PST (*Personal Solar Telescope*): 1- Objectiva 40 mm  $F/10$ ; 2- Anel de ajuste do filtro de risca; 3- Buscador solar; 4- Ocular Kellner 12,5 mm. Pedro Ré (2004).



Figura 4- Mala de transporte do PST.

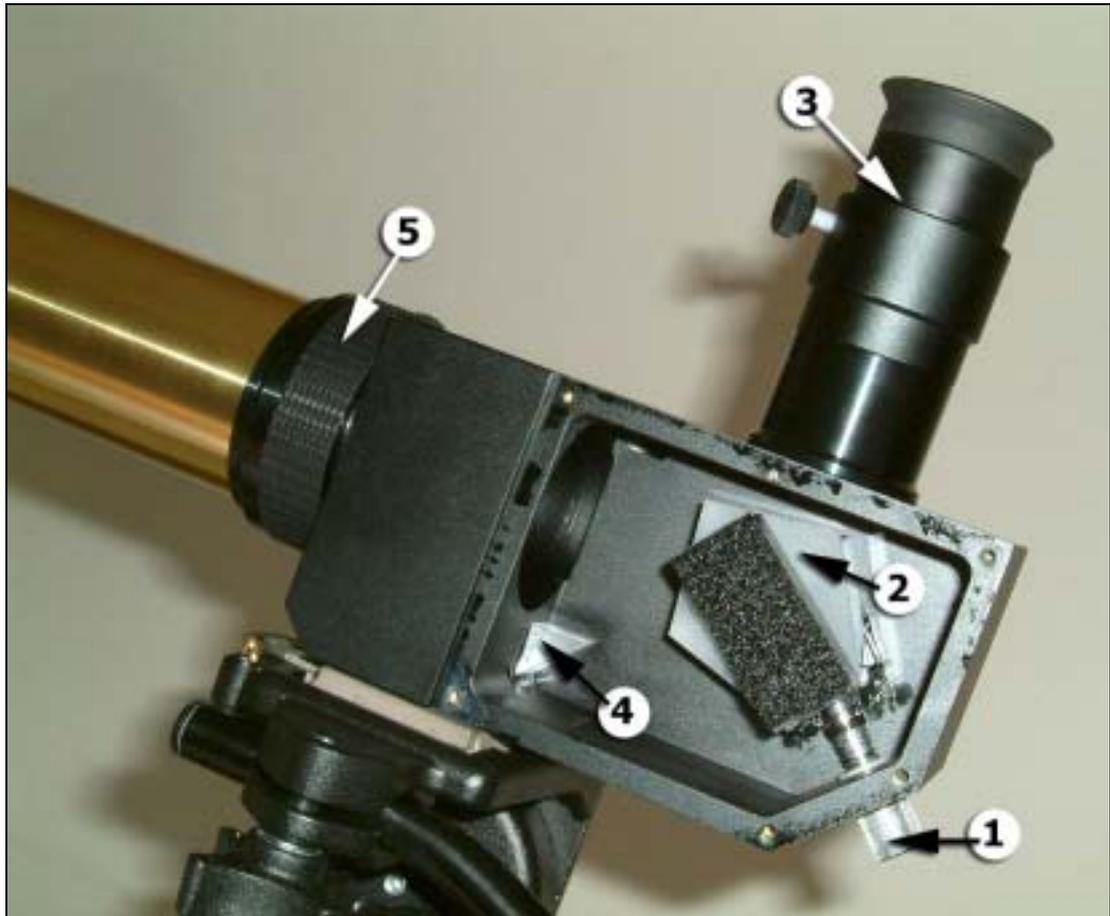


Figura 5- Interior do PST: 1- Dispositivo de focagem; 2- Prisma; 3- Ocular; 4- Prisma – buscador solar; 5- Anel de ajuste do filtro de risca. Pedro Ré (2004).



Figura 6- Imagem solar obtida em 20040725 com o auxílio de uma câmara Digital Sony P8 (método afocal). Pedro Ré (2004).

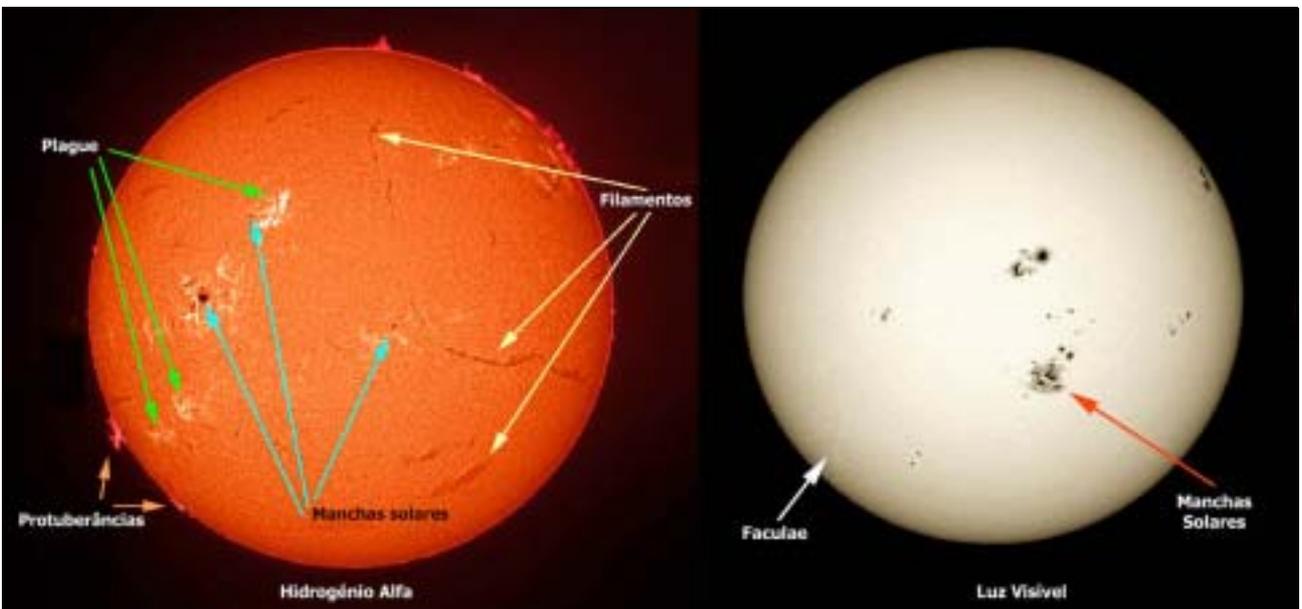


Figura 7- Formações visíveis com o auxílio de um telescópio munido de um filtro de risca (Hidrogénio Alfa - 656,28 nm).

## GLOSSÁRIO:

*Bombas de Ellerman*- Pontos de luz brilhantes e transientes (usualmente com menos de 5 min de duração) que podem ser encontrados nas zonas *EFR* (ver abaixo) ou na periferia das manchas solares.

*EFR, Emerging Flux Region*- Área de elevada intensidade magnética que surge como uma região oval brilhante em H-alfa.

*ER's, Regiões Efêmeras*- Pequenas áreas com uma elevada intensidade magnética e com uma duração de 1 dia não contendo qualquer mancha solar. Surgem sobretudo em latitudes intermédias e baixas do sol. Têm a aparência de regiões mais brilhantes na rede cromosférica.

*Espículas*- Pequenos jactos de gás visíveis junto ao limbo solar (dimensões não superiores a 10000km).

*Faculae*- Regiões mais brilhantes na Fotosfera solar (invisíveis em H-Alfa) usualmente observadas próximo do limbo solar (devido ao obscurecimento que este provoca). As *Faculae* surgem sobretudo em regiões activas do sol ou onde estas irão surgir e podem ter um período de duração superior às manchas solares.

*Fibrilas*- Pequenas estruturas escuras em forma de filamento que tendem a formar-se ao longo das linhas magnéticas associadas às

*Filamentos*- Proeminências ou Protuberâncias visíveis de topo na superfície solar com uma forma longa, escura e estreita. manchas solares.

*Flare*- Região extremamente brilhante que pode durar alguns minutos a várias horas. As *Flares* são manifestações de libertação de energia na cromosfera devidas a um *stress* dos campos magnéticos que resulta habitualmente na emissão de um grande número de partículas carregadas para o exterior do sol (*Coronal Mass Ejection*).

*FTA, Field Transition Arches*- Fibrilas em forma de filamento que atravessam uma região magnética bipolar.

*Granulação*- Pequenas estruturas celulares convectivas visíveis em luz branca (1100 km).

*Mancha solar*- Regiões fotosféricas escuras com um período de vida prolongado (2500 a 5000 km). Usualmente são constituídos por uma região interna mais escura (*umbra*) e uma região periférica com numerosas fibrilas (*penumbra*). As manchas solares estão associadas a campos magnéticos intensos e são cerca de 2500 °K mais frias que as regiões circundantes da fotosfera.

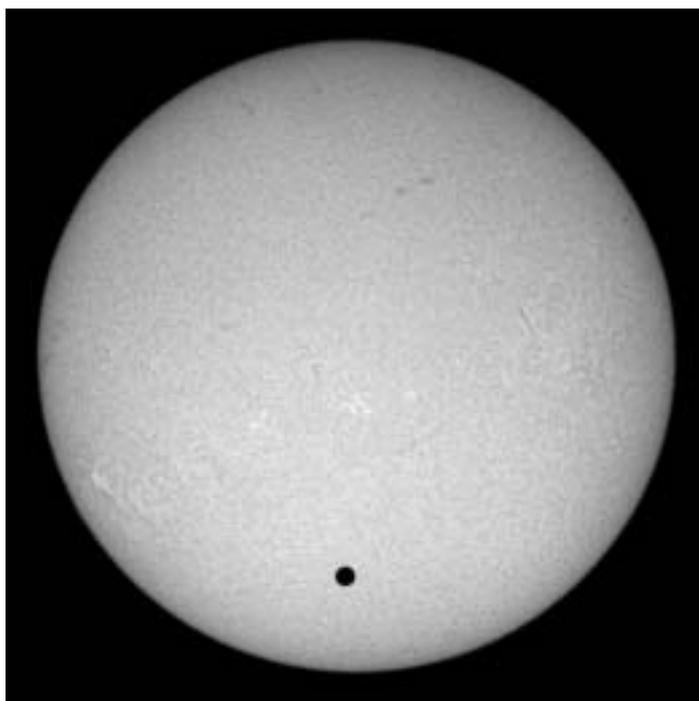
*Plague*- Regiões brilhantes visíveis no disco solar em H-alfa. Observam-se quase sempre próximo de regiões activas e podem ter uma duração de vários dias. Forma irregular e variável em brilho.

*Poros*- Pequenos *spots* escuros com um período de vida muito curto (horas).

*Proeminências ou Protuberâncias*- Emissões visíveis em H-alfa que se assemelham a labaredas e que se projectam muito para além da superfície solar. Podem ser considerados dois tipos principais de proeminências: Activas e Quiescentes.

*Rede cromosférica*- Rede contínua composta por uma série de longas e sinuosas cadeias de pequenos pontos brilhantes e com fraco contraste estendendo-se por grande parte da superfície solar.

*Spray*- Proeminência transiente formada pela explosão de uma pré-flare que é responsável pela ejeção de material em diversas direcções.



Trânsito de Vénus (20040608). Takahashi FSQ106 (diafragmado a 60 mm), Filtro *Daystar* 0,5 Angstrom, SBIG ST-10XE. Thierry Legault (2004).

# OCULTAÇÃO DA ESTRELA TYC 5757-353 POR (420) BERTHOLDA, 26 DE AGOSTO DE 2003

Rui Gonçalves

[rui.goncalves@ipt.pt](mailto:rui.goncalves@ipt.pt)

O colega e leitor já deve ter ouvido falar de ocultações; de estrelas pela Lua, de satélites pelos seus planetas, de estrelas por asteroide – e é deste último tipo que este artigo trata.

No passado dia 26 de Agosto desloquei-me a Mira, para conjuntamente com o colega David Nunes, observar a ocultação da estrela TYC 5757-353 de magnitude 8,6 pelo asteroide (420) Bertholda (magnitude 13,6), no Observatório de Mira (pertencente ao núcleo local da APAA). A previsão de grande rigor indicava ser esta uma posição óptima para uma observação positiva da ocultação. Após confirmar no dia anterior a disponibilidade do David e de verificar que as condições meteorológicas eram favoráveis, preparei o material de observação; uma camera video-ccd (Mintron 12V1C-EX) e respectivo equipamento de registo temporal (relógio-receptor DCF77 e video inserter) a usar no telescópio do observatório, e uma pequena luneta Konus 80mm f/5 em montagem equatorial para a observação visual com registo em cronógrafo.

Mas antes de relatar a observação e os resultados obtidos – podemos fazer uma breve descrição do que são ocultações de estrelas por asteroides e para que servem, quais os resultados de delas podemos extrair?

Nos seus movimentos orbitais em torno do Sol, quando vistos da Terra, os asteroides passam em frente de estrelas. Quando isto acontece – temos uma ocultação, ou seja o asteroide tapa (oculta) a estrela durante um determinado intervalo de tempo, que pode ir de uma fracção a algumas dezenas de segundo. Frequentemente, como o asteroide é muito menos brilhante que a estrela que oculta, durante a ocultação a estrela simplesmente “desaparece” do nosso campo de observação. Numa observação de ocultação o que temos de registar são os instantes em que a estrela “desaparece” e “reaparece”. Este intervalo de tempo da ocultação reflecte fielmente o tamanho do asteroide – o que nos leva a uma das utilidades destas observações – determinação de tamanho e forma dos asteroides. Não sendo o único método para tal, é no entanto o de mais fácil execução – daí ser o mais explorado pelo amator. Vejamos outros métodos também *muito interessantes*:

*in loco* – é muito dispendioso enviar sondas espaciais ao encontro de asteroides e cometas, mas os resultados são verdadeiramente espectaculares e muito importantes para confirmar as observações terrestres e testar teorias. Só alguns asteroides e cometas foram observados de perto, incluindo uma “asteroidagem”.

*via radar* – por reflexão de um feixe de radar é possível obter a forma e tamanho de um asteroide, mas só dos maiores e dos que se aproximam bastante da Terra (como os NEOs). A técnica necessita de observações adicionais (como a curva de luz) e uma posição bastante precisa (astrometria) para apontar o radar, de modo a resolver o problema inverso e determinar assim a geometria do alvo.

*curva de luz* – se obtivermos as variações de intensidade luminosa ao longo de várias oposições, podemos definir a forma aproximada do asteroide e também o seu eixo de rotação.

*imagens de alta resolução nos modernos telescópios* – o telescópio espacial Hubble e telescópios com óptica activa/adaptativa, conseguem registar pormenores nos “discos” asteroidais, mas só nos maiores. Interessante é a técnica que aproveita o apulso de asteroides a estrelas moderadamente brilhantes, onde a frente de onda da estrela é usada para activar a óptica activa e assim “reconstruir” as imagens em torno desta, quase sem turbulência. Mais uma vez os menores asteroides (a maioria) exibem diâmetros aparentes inferiores ou da ordem de grandeza da resolução óptica dos telescópios usados.

As *ocultações de estrelas* são a técnica mais simples e eficaz, necessitando o observador de apenas um modesto telescópio e equipamento de registo, para obter resultados inequívocos sobre o tamanho do asteroide. É o método mais barato - por excelência o domínio do amator. São por vezes necessárias várias ocultações do mesmo asteroide para definir com rigor o seu formato e tamanho exacto. Temos actualmente registadas mais de 450 ocultações positivas (80 em 2002, 111 em 2003). A silhueta de um asteroide é tanto mais bem definida quantos mais observadores registarem uma ocultação. Infelizmente a distribuição de observadores é muito desigual, reflectindo a nossa actual civilização; escassos observadores na América do Sul e Central, em África apenas alguns na Tunísia e na África do Sul, na Ásia continental também apenas alguns observadores na Índia e na China. Os observadores estão concentrados na América do Norte (incluindo Hawaii), Europa, Japão e Austrália / Nova Zelândia.

As actuais previsões de estrelas por asteroide, baseadas nos catálogos estelares Hiparchos, Tycho2 e recentemente no UCAC2, conjuntamente com as cada vez mais numerosas posições astrométricas dos asteroides, atingem muitas vezes uma precisão na passagem da sombra projectada na Terra, de uma fracção do diâmetro asteroidal. Este rigor permite já, com grande confiança, saídas de campo para os locais previstos de ocultação. Para além deste facto, a “certeza” de uma ocultação positiva no nosso local de observação, motiva muitos observadores a tentar o seu registo, daí o crescimento exponencial de resultados positivos nos últimos anos. Longe vão os tempos em

que o observador tinha de efectuar dezenas de tentativas até obter um resultado positivo. As observações eram penosas, sendo comum exigirem o seguimento constantemente da estrela durante 15 a 20 minutos. Hoje temos muitos observadores, novos nestes assuntos de ocultações, que conseguem uma observação positiva na sua primeira tentativa, e só tem de seguir a estrela por um par de minutos. A passagem dos asteróides é prevista quase ao quilómetro e ao segundo. Foi o caso desta ocultação por (420) Bertholda.

A facilidade desta ocultação em particular deveu-se á magnitude da estrela, 8,6. Normalmente temos estrelas mais fracas a ser ocultadas. Duas das melhores ocultações de sempre envolveram estrelas visíveis a olho nú, em 1983 (2) Pallas / 1 Vul (100 observações positivas nos E.U.A. e México) e em 2002 (345) Tercidina / 45 Tau (75 observações positivas na Europa). A ocultação por Bertholda ocupa o lugar de segunda melhor ocultação de sempre com 77 observações positivas e 152 registos por parte de 177 observadores em 17 países europeus.

A escolha do observatório de Mira para a realização desta ocultação foi propositada, pois como podemos ver na Figura 1, Mira está praticamente na linha central da ocultação. Para além disso, tendo um observatório operacional com equipamento disponível e um colega como o David Nunes para ajudar - era uma garantia de sucesso.

Durante o crepúsculo foi montado o refractor para observação visual, aberto o observatório e instalado o equipamento de registo video; uma video-ccd Mintron (usada em modo simples, sem adição de imagens) com gravação vhs sincronizada via relógio DCF77. Nem tudo funcionou "à primeira". A falta do comando remoto do video impedia o acesso às imagens no televisor, pelo que o David rapidamente o foi buscar a casa. Aqui se vê a necessidade de começar a preparar a observação com antecedência, pois as pequenas falhas de última hora são desastrosas... Ultrapassada esta questão, outra mais grave se colocou. Mesmo com um telescópio automático como o LX200 de 25cm, as experiências pessoais de cada um com os seus telescópios são únicas. Estando eu habituado a lidar com o meu LX200 de uma forma e o David com o do Obs. de Mira de outra - eu deveria ter deixado a seu cargo a pontaria (*mea culpa*) - tal se deveu ao facto de a montagem não estar rigorosamente em estação. Só uns 10 minutos antes da ocultação, prevista para as 21:46 TUC, fiquei plenamente convencido de "estar na estrela" certa. Poderia também ter encontrado a estrela mais cedo, se tenho levado um mapa detalhado da zona em torno da estrela. Confiei apenas na minha memória, pois no dia anterior tinha realizado imagens ccd do asteróide e estrela, e sabia a posição de algumas estrelas brilhantes em torno da estrela a ser ocultada. Nessa mesma noite anterior verifiquei também com uns binóculos a posição da estrela, o que se reflectiu na rápida aquisição da mesma no campo de visão do refractor usado na observação visual, (binóculos são parte indispensável do equipamento do observador de ocultações).

Uns minutos antes da ocultação foi iniciada a gravação video e preparei-me para a observação visual (com apenas 20x), ligando o cronografo ao relógio DCF 77 para registar também o fenómeno. No momento previsto a estrela desaparece do meu campo visual para reaparecer alguns segundos depois. Rapidamente verifico o registo em papel do cronografo, constatando ter a ocultação durado cerca de 13 segundos ! De seguida o visionamento do registo video confirma este intervalo de tempo (13,56 s mais exactamente), quando a ocultação máxima esperada era de 11,5 s para um diâmetro asteroidal tabelado de 141 km. A nossa ocultação foi a última da passagem da sombra. Sendo a trajectória da sombra de NE-SW, ainda nós nos estávamos a acomodar para a observação já todos os outros colegas europeus tinham realizado as suas observações, como podemos ver na figura. Esta ilustra a distribuição dos observadores, com os seus resultados obtidos (positivos ou negativos). Vários observadores fizeram a observação em saídas de campo, pois com uma estrela deste brilho e com a excelente previsão - foi planeada uma campanha de observação e foram ocupadas posições mais favoráveis por parte de alguns observadores (como no meu caso). Cerca de metade dos registos foram obtidos em video, ccd-scan e webcams. O video continua sem duvida a ser o registo de maior rigor, graças á sincronização temporal com o sinal horário DCF77 ou GPS. Alguns registos com ccd-scan e webcams apresentam diferenças significativas nos instantes do desaparecimento (D) e reaparecimento (R) pois a sincronização temporal via internet deixa muito a desejar. É muitas vezes preferível a observação visual acompanhada de um bom sinal horário, embora tenhamos sempre o problema do nosso tempo de reacção, que não conhecemos completamente mas que podemos estimar. Todos os desaparecimentos, por serem o primeiro fenómeno, apanham o observador de surpresa, sendo quase sempre o pior registo. Foi o meu caso. O tempo de reacção, por mim estimado para o (D) e para o (R), em comparação com o registo video mostra claramente que reajo com o dobro do tempo (0,6 s) no D do que no R (0,3 s). A figura ilustra também os resultados obtidos, mostrando claramente a silhueta do Bertholda de formato elipsoidal.

O encaixe das observações positivas permite deduzir uma elipse de 169 km por 130 km. Esta relação entre os valores não é de espantar pois a informação deduzida da curva de luz já o indicia (mas podiam ser devidas a variações de albedo na superfície do Bertholda, classificado como um "pseudo-metálico"). De notar que os valores tabelados para o diâmetro do asteróide variam entre 141 e 146 km, o que é aproximadamente o valor observado de

$$\sqrt{169 \times 130} = 148 \text{ km.}$$

Espero ver neste ano de 2004 mais observadores interessados nesta técnica / fenómeno das ocultações de estrela por asteróides. É um dos campos da astronomia amadora (e de alguns profissionais) que tem exibido excelentes resultados nos últimos anos.

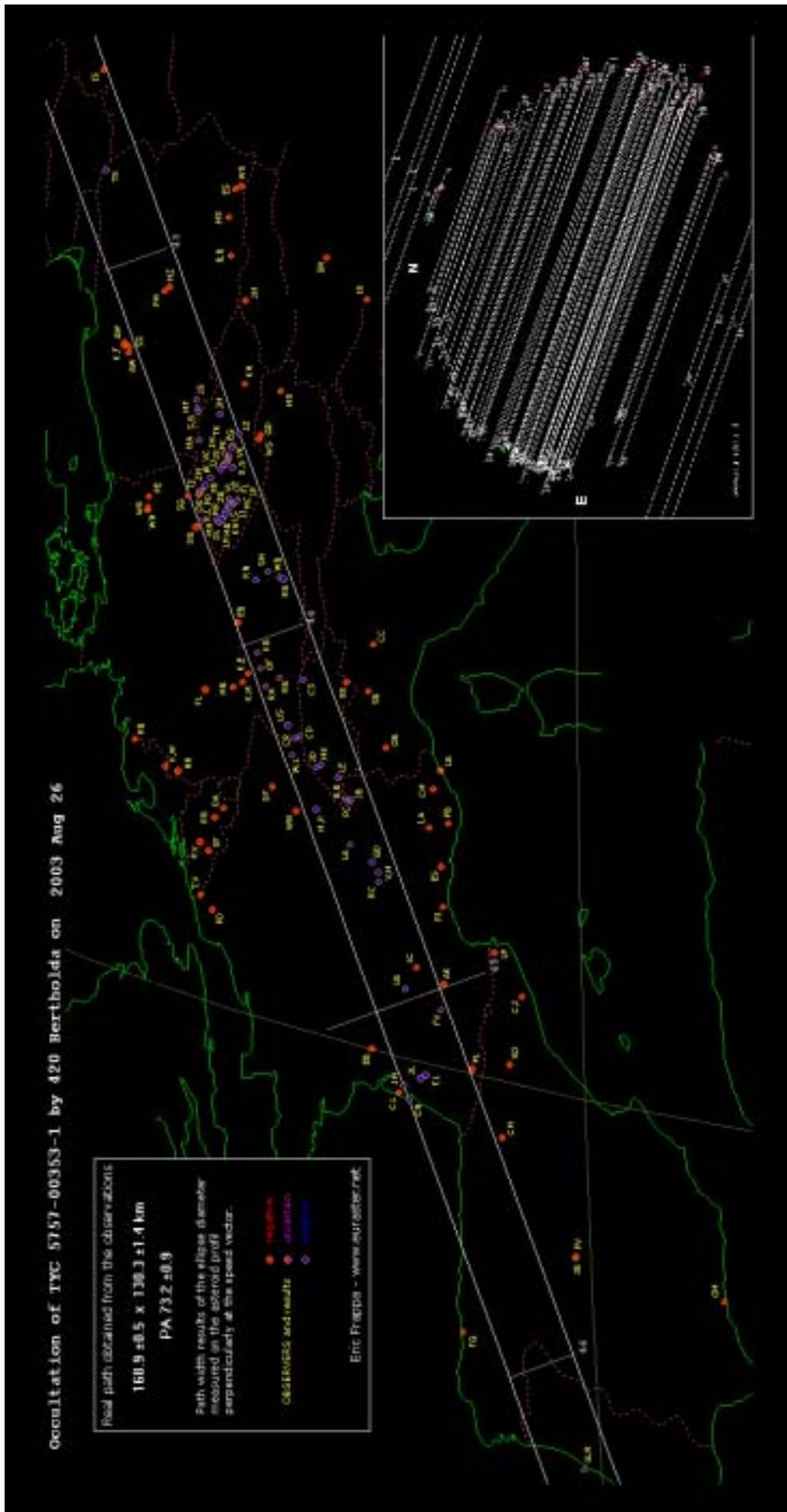
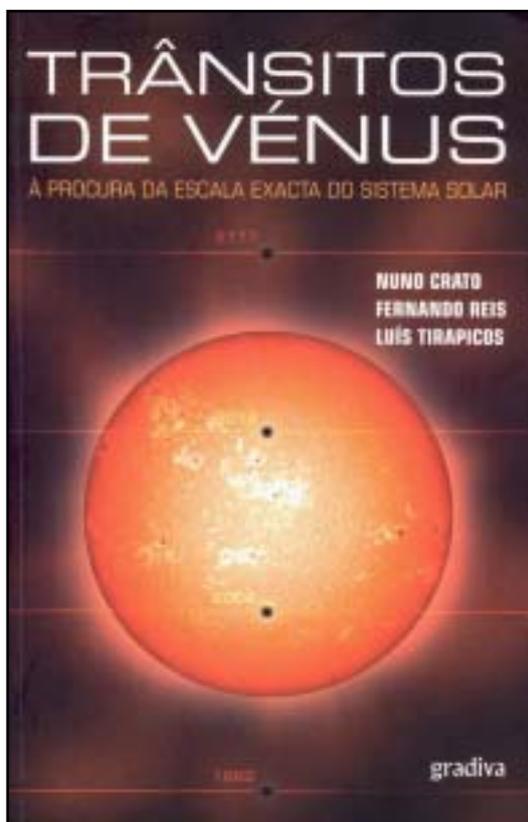


Figura 1- Ocultação da Estrela TYC 5757-353 por (420) BERTHOLDA, 26 de Agosto de 2003.

# TRÂNSITOS DE VÊNUS

## — À PROCURA DA ESCALA EXACTA DO SISTEMA SOLAR

Guilherme de Almeida



Num pequeno volume de 182 páginas, editado recentemente pela *Gradiva*, os três autores expõem brilhantemente o conceito astronómico de trânsito, a história dos trânsitos de Mercúrio e Vénus, as condições para que estes ocorram e os cuidados a ter na sua observação. Destaca-se a informação sobre o trânsito de Vénus de 8 de Junho de 2004. A experiência dos autores, a riqueza da documentação exposta e a fluência da escrita fazem da leitura de *Trânsitos de Vénus – à procura da escala exacta do Sistema Solar* um verdadeiro prazer. Temos assim um magnífico conjunto de referências históricas, onde não faltam nomes de portugueses ilustres lado a lado com os mais distintos astrónomos de todo o mundo nas correspondentes épocas, assim como um guia prático para a observação de trânsitos.

Um trânsito é, afinal, a ocultação muito parcial de um astro, provocada pela interposição de outro bastante menor. A passagem de Vénus ou de Mercúrio entre nós e o Sol traduz-se pela visão de um minúsculo disco preto que passa em frente da nossa estrela, recortando-se contra a fotosfera solar. No caso de Vénus, o seu disco apresenta o diâmetro aparente máximo de cerca de 61" (aproximadamente 1/30 do diâmetro aparente do Sol). Para quê, então, tanto interesse e empenho nessa observação? Esse interesse resulta de dois factos: primeiro, o fenómeno é extremamente raro (não há nenhuma pessoa viva que tenha presenciado o último trânsito de Vénus, ocorrido em 1882); segundo, as sucessivas observações do trânsito de Vénus permitiram determinar com crescente rigor a distância média da Terra ao Sol, indispensável ao conhecimento das distâncias absolutas no Sistema Solar e fora dele. Convém referir que os trabalhos de Kepler conduziram ao conhecimento razoavelmente rigoroso das distâncias médias entre os

vários planetas e o Sol, que eram relativas, expressas *em função* da distância entre a Terra e a nossa estrela (distância tradicionalmente designada como unidade astronómica). Tornava-se urgente e necessário determinar com o maior rigor possível a unidade astronómica, muito mal conhecida até ao início do século XVII. Só assim seria possível determinar as distâncias astronómicas em unidades usuais de comprimento. Essa urgência levou diversos países a mobilizar os seus mais notáveis cientistas e a empreender muitas expedições de observação, originando os primeiros eventos de colaboração científica internacional em larga escala, descritos com maestria nesta obra. Portanto, a observação dos trânsitos encerra muito mais do que "ver um minúsculo círculo preto a cruzar o disco solar". Modernamente, um dos métodos de pesquisa de planetas extra-solares baseia-se nas medições da ligeiríssima redução de brilho de uma dada estrela quando um dos seus planetas se interpõe entre ela e a Terra. Medições rigorosas permitem determinar actualmente as dimensões de tais planetas, estimar as suas massas, e, em breve, a eventual presença de atmosferas, etc.

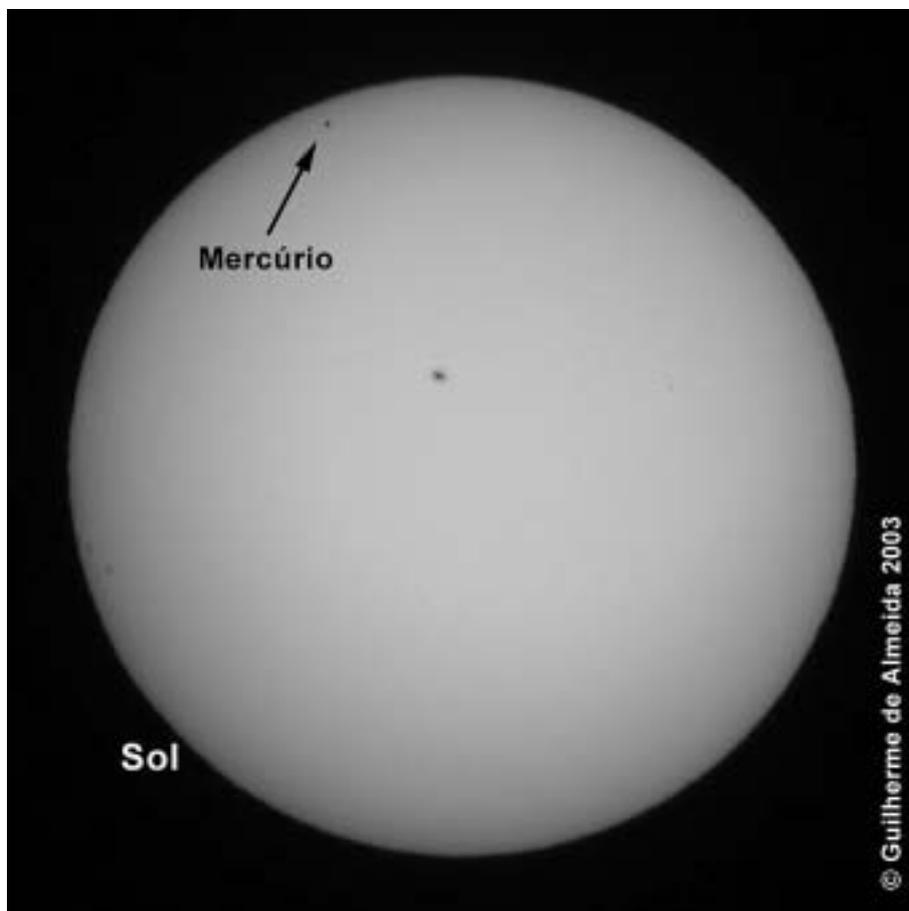
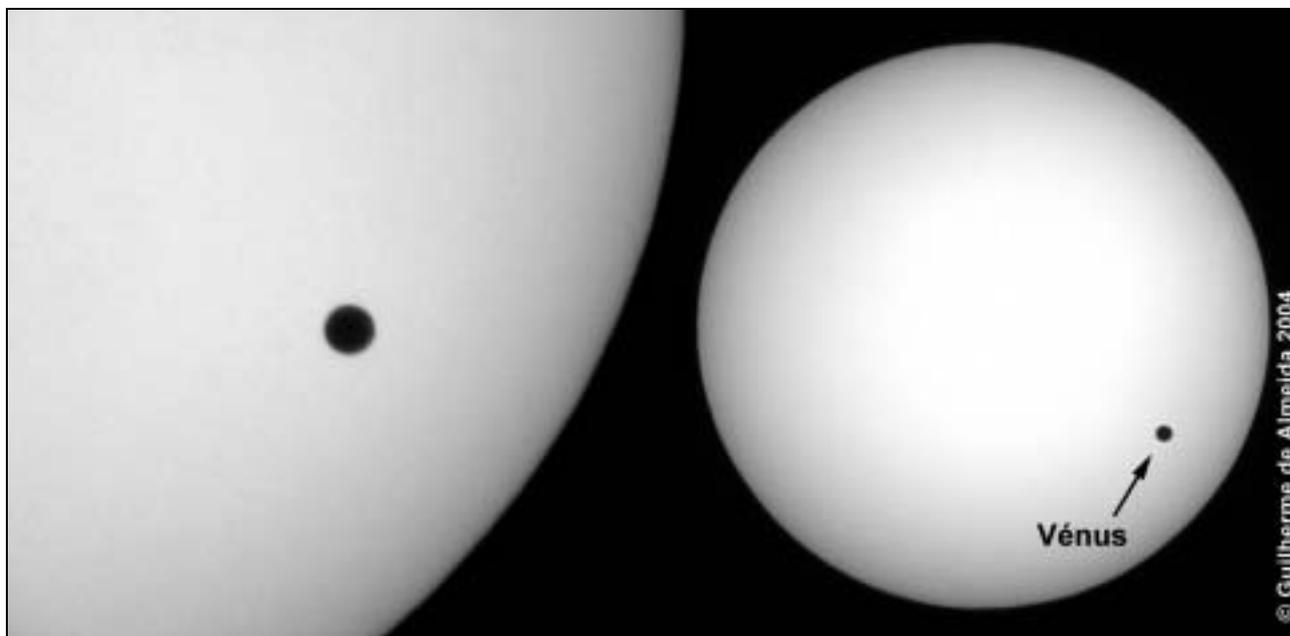
A equipa de autores aproveita bem a sinergia resultante de diferentes experiências. NUNO CRATO foi professor de Matemática e Estatística no *New Jersey Institute of Technology*, nos EUA, lecciona actualmente no Instituto Superior de Tecnologia e Gestão (em Lisboa) e escreve regularmente sobre ciência no jornal *Expresso*. FERNANDO REIS é historiador de ciência e tem-se dedicado a publicações de divulgação científica, área em que está a concluir o seu doutoramento. LUÍS TIRAPICOS é divulgador científico com vasta experiência na imprensa e na animação de museologia científica. O livro é prefaciado por Steven J. Dick, historiador-chefe da NASA.

A obra está organizada em oito capítulos, cada um dos quais tem por título um evento significativo e uma data de referência na história das observações de trânsitos planetários. A leitura é saborosa e cativante, pois o texto está escrito com a arte de um contador de histórias, o encanto de um romancista e o rigor de um cientista. Os mistérios vão-se esclarecendo ao longo das páginas e o leitor sente que tem nas mãos uma obra impar no nosso país, que vale a pena adquirir e ler com empenho. Muitos dos leitores terão observado ou tomado conhecimento do trânsito de Mercúrio ocorrido em 7 de Maio de 2003. O trânsito de Vénus de 8 de Junho de 2004 constitui uma oportunidade impar, que não se repetirá tão cedo: o de 6 de Junho de 2012 não será observável da Europa (porque ocorre com o Sol abaixo do nosso horizonte) e o seguinte só se dará em 2117 — demasiado tarde para o podermos observar.

Na observação dos trânsitos utilizam-se essencialmente as técnicas de observação do Sol e esta obra dá indicações cuidadas no que se refere à protecção dos olhos, "equipamento" insubstituível dos observadores, indicando as precauções a ter, a escolha de filtros adequados e os vários métodos de observação. Na compra do livro vêm incluídos uns óculos com filtros especiais e seguros para a observação solar a olho nu (isto é, sem a utilização de binóculos nem telescópios). Caso se utilizem estes instrumentos pode fazer-se a observação por projecção, segundo as indicações

dadas pelos autores, ou recorrer à observação directa mediante o uso de filtros especiais, aplicados à entrada dos respectivos tubos ópticos.

Nas últimas paginas o leitor encontrará três apêndices muito informativos: o primeiro contém todos os trânsitos de Vénus ocorridos ou a ocorrer, observáveis entre os anos 1000 e 3000; o segundo refere os trânsitos de Mercúrio entre os anos 1900 e 2100; o terceiro indica os sucessivos valores obtidos na determinação da paralaxe solar e da distância média da Terra ao Sol, ao longo dos tempos, desde o século III a.C. até ao ano 1990 d.C. A obra completa-se com uma ampla bibliografia e um índice remissivo. *Trânsitos de Vénus – à procura da escala exacta do Sistema Solar* é pois uma obra de referência bem documentada, indispensável a todas as pessoas que se interessam pela história da ciência, pelo progresso do conhecimento científico e pela observação destes raros acontecimentos astronómicos. A não perder.



# TRÂNSITO DE VÊNUS

Nuno Crato, Fernando Reis e Luís Tirapicos  
ISEG, FCT/UNL, Visionarium

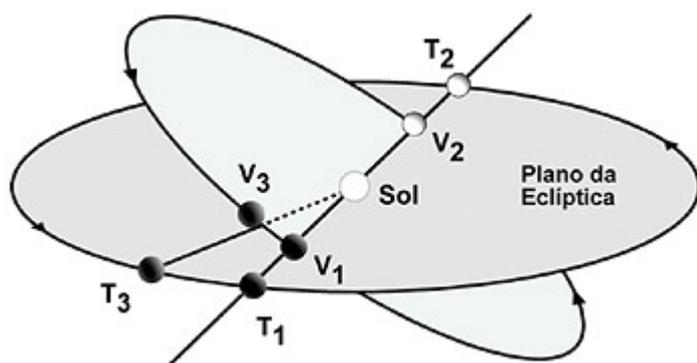
## A Dinâmica dos Trânsitos de Vénus

Mercúrio e Vénus são *planetas interiores*, chamam-se assim porque a sua órbita é interior à da Terra. Podem pois interpor-se entre nós e o Sol. No entanto, isso não basta para que se verifique um trânsito, que apenas ocorre quando o alinhamento é perfeito. E para que o alinhamento seja perfeito são necessárias duas condições. Em primeiro lugar é necessário que o planeta esteja na chamada *conjunção inferior*; em segundo lugar, é necessário que esteja na linha de intersecção entre os planos da sua órbita e da órbita da Terra, a chamada *linha de nodos*.

Tome-se o caso de Vénus como exemplo. Como este planeta descreve uma órbita menos ampla que a da Terra, o seu período é menor, tal como o prevê a Terceira Lei de Kepler. Na realidade, esse período, o «ano» de Vénus, dura 224,701 dias, enquanto o ano terrestre dura 365,256 dias. Por isso, Vénus ultrapassa periodicamente a Terra. Para o perceber melhor, imaginemos que os dois planetas são atletas às voltas, em duas pistas ovais concêntricas. O atleta interior, Vénus, demora menos tempo a dar uma volta à pista que o atleta exterior, a Terra. Por vezes, ultrapassa-o. Depois de o fazer, continua a ganhar terreno. Até que, passado algum tempo, volta a surgir por trás do atleta exterior. A cena repete-se periodicamente. Imaginemos que Vénus está, neste momento, a ultrapassar a Terra. Quando tempo demorará até voltar a surgir por detrás desta, para a ultrapassar de novo? As contas parecem difíceis, mas não o são. Primeiro, calcula-se a frequência de translação de cada planeta. Ela é dada pelo inverso dos períodos orbitais, que são 224,701 dias no caso de Vénus e 365,256 dias no caso da Terra, como vimos acima. Assim, mantendo seis algarismos significativos para os cálculos, temos a frequência  $1/224,701 = 0,00445036$  para o caso de Vénus e  $1/365,256 = 0,00273781$  para o caso da Terra. O que estes números querem dizer é que Vénus percorre aproximadamente 0,00445036 da sua órbita em 1 dia (24 horas) e que a Terra percorre apenas 0,00273781 da sua no mesmo espaço de tempo. Fazendo a diferença encontra-se 0,00171255. Essa é a fracção de órbita que Vénus ganha à Terra por dia. Para calcular quantos dias demorará a ganhar à Terra uma rotação completa, ou seja, quanto tempo demora a reencontrá-la, é preciso calcular o inverso desta quantidade, ou seja:  $T = 1/0,00171255 = 583,924$ . Este valor representa o tempo, em dias, que medeia entre duas passagens consecutivas de Vénus pela Terra, ou seja, duas *conjunções inferiores*. Chama-se-lhe *período sinódico* e é muito aproximadamente igual a 584 dias.

Nas civilizações antigas este período era muito importante, pois significa que Vénus, o planeta mais conspícuo, aparece exactamente na mesma posição no céu com intervalos de 584 dias. Assim, se em certo altura ele começava a ser visto no céu do crepúsculo, sabia-se que passados esses tantos dias haveria de aparecer exactamente na mesma posição e à mesma hora. Os Maias davam-lhe tanta importância que o período sinódico de Vénus, ao que se pensa, desempenhou um papel central na construção do calendário desse povo centro-americano. Já percebemos que, de 584 em 584 dias, o planeta Vénus está em *conjunção inferior* com a Terra. Porque razão não se dá um trânsito nessas alturas e não vemos pois Vénus atravessar-se sobre o Sol com a frequência correspondente?

A resposta é que não basta uma *conjunção* dos astros; é necessário ainda que, no momento de *conjunção*, eles estejam no mesmo plano. Os planos de órbita da Terra e de Vénus (tal como os planos de órbita da Terra e da Lua) não são o mesmo. Fazem um ângulo. Vénus pode pois estar em *conjunção* com a Terra sem estar perfeitamente alinhado com esta. Esse alinhamento perfeito só se verifica quando ambos os planetas estão na linha assinalada, que se chama *linha dos nodos* (ver imagem aqui ao lado). Nessa linha, o alinhamento pode verificar-se em duas situações: no chamado *nodo descendente*, quando Vénus está em  $V_1$  e a Terra em  $T_1$ , o que acontece actualmente cerca de 8 de Junho, ou no chamado *nodo ascendente*, quando Vénus está em  $V_2$  e a Terra em  $T_2$ , o que acontece actualmente cerca de 8 de Dezembro. Em todos os outros casos de *conjunção*, como é o marcado em  $V_3$  e  $T_3$ , os observadores sobre a Terra não podem ver Vénus passar em frente ao Sol, pois este passa «por baixo» ou «por cima» da nossa estrela.



O plano de órbita da Terra é tão importante em todo este processo e em toda a astronomia observacional que recebe um nome. Chama-se-lhe *plano da eclíptica*. E a intersecção da esfera celeste com o plano de órbita da Terra chama-se *eclíptica*. Para um observador sobre o nosso planeta, a eclíptica pode ser descrita, equivalentemente, como a linha imaginária que o Sol parece descrever na esfera celeste ao longo do ano, e o plano da eclíptica será aquele que essa linha descreve. A razão desse nome é os eclipses registarem-se quando a órbita da Lua a leva ao plano da eclíptica. O mesmo se pode dizer em relação a Vénus e a Mercúrio. Os trânsitos dão-se

quando esses planetas estão entre nós e o Sol, portanto em *conjunção inferior*, e, além disso, no plano da eclíptica, o que acontece na linha dos nodos de cada um deles. O plano orbital de Mercúrio está inclinado de  $7,0^\circ$  em relação à eclíptica e o de Vénus,  $3,4^\circ$ . Não se trata de inclinações muito pronunciadas, mas suficientes para afastarem os planetas do alinhamento perfeito quando estes não estão na respectiva linha dos nodos.

As oportunidades de observar um trânsito são raras e têm por isso de ser bem aproveitadas. Os trânsitos de Vénus são ainda mais raros que os de Mercúrio. No século XX, por exemplo, enquanto este outro planeta se atravessou entre nós e o Sol por 14 vezes, Vénus não registou um único trânsito. Esta raridade relativa dos trânsitos venusianos deve-se, entre outros factores, a um movimento muito lento das conjunções. Expliquemo-nos. Como vimos, o período sinódico de Vénus é de 583,9236 dias e o ano terrestre compreende 365,256 dias. Daqui resulta uma coincidência curiosa: cinco períodos sinódicos de Vénus são aproximadamente iguais a oito anos terrestres. Com efeito,  $5 \times 583,924 = 2919,620$ , enquanto  $8 \times 365,256 = 2922,048$ . Isto quer dizer que de oito em oito anos os três astros encontram-se aproximadamente na mesma posição no espaço. Do que se trata aqui já não é do período sideral de Vénus, que se refere à mesma posição de Vénus visto da Terra e em relação com o Sol. Mas da mesma posição dos três astros em relação às estrelas fixas: de oito em oito anos essa posição é praticamente a mesma. «Praticamente a mesma», no entanto, não quer dizer «exactamente a mesma». Como há uma diferença de dois dias e algumas horas entre os dois números acima ( $2922,048 - 2919,620 = 2,428$ ), de oito em oito anos a posição de Vénus e da Terra muda um pouco, o equivalente aos movimentos de translação de 2,428 dias.

Imaginemos que, em dado dia, se regista um trânsito de Vénus. Quer isso dizer que, nesse dia, ambos os planetas estão na linha dos nodos. Passados oito anos menos 2,428 dias, os três astros estarão em posição semelhante, portanto é possível que se registre outro trânsito, mas também é possível que as órbitas dos dois planetas nesses 2,428 dias os tenha afastado dessa linha e que já não se verifique nenhum trânsito. As contas não são muito complicadas. A partir da inclinação da órbita de Vénus, pode-se verificar que o planeta sobe cerca de 20' (minutos de arco) ou desce 24', ao passar de uma conjunção inferior para a que se regista passados 2,428 dias. Ora o disco solar tem um diâmetro aparente, visto da Terra, de cerca de 32'. De tudo isto tiram-se várias conclusões. Em primeiro lugar, é perfeitamente possível que se registre um trânsito de Vénus num momento e se registre outro passado oito anos, pois tendo-se deslocado o planeta 20' ou 24' apenas, é possível que cruze o disco solar das duas vezes. *Isso explica que os trânsitos de Vénus apareçam habitualmente aos pares*, como se passa com o trânsito de 2004, que é seguido de um outro daqui a oito anos, em 2012. Mas isto quer dizer também que *não é possível haver um terceiro trânsito passados outros oito anos*, pois nessa altura já Vénus se terá deslocado 40' ou 48' e saído necessariamente fora do disco solar, que apenas mede cerca de 32'. Finalmente, tudo isto significa que o alinhamento dos planetas se move muito ligeiramente. Em oito anos menos 2,428 dias, ambos os planetas passam de uma conjunção para uma outra e avançam muito ligeiramente nas suas órbitas. Para ambos se reencontrarem exactamente num nodo pode ser preciso esperar muitos anos. E aqui os cálculos são muito mais complicados. O que interessa é que é preciso esperar sempre 105 anos e meio ou 121 anos e meio depois de um par de trânsitos separados por oito anos. E mesmo nesse par pode falhar um dos trânsitos. Foi o que aconteceu em 1388, no trânsito falhado que antecedeu o de 1396.

## Os trânsitos de Vénus dos séculos XVII e XVIII

### Trânsito de 1639

O primeiro trânsito de Vénus foi observado por um jovem britânico e por um amigo e correspondente, em 1639. O jovem chamava-se Jeremiah Horrocks (1619–1640) — o apelido seria depois latinizado «Horrox» — e viveu apenas até à idade de 22 anos; mas nesses poucos anos de vida conseguiu desenvolver tantos aspectos da astronomia teórica e observacional que ainda hoje os historiadores se espantam com a sua persistência e inteligência. Horrocks é hoje conhecido, sobretudo, por ter sido o primeiro a prever e observar um trânsito de Vénus, mas a astronomia deve-lhe ainda cálculos mais aperfeiçoados para o movimento dos planetas e a descoberta da forma elíptica da órbita da Lua.

Sabe-se que Horrocks escreveu ao irmão e ao seu amigo William Crabtree (1610–1644) avisando-os do trânsito e pedindo-lhes que o observassem. O irmão, que residia ainda com a família, em Toxteh, enfrentou condições atmosféricas que não lhe permitiram qualquer observação. Mas Crabtree teve melhor sorte. Horrocks não avisou outros amigos do fenómeno «porque a maioria deles pouco se importa com minudências deste estilo, preferindo os seus falcões e cães de caça, para não dizer pior». William Crabtree era um comerciante de panos de Salford, com quem Horrocks tinha estabelecido intensa correspondência científica a partir de 1636. Ao que parece, os dois tinham sido postos em contacto por um contemporâneo do jovem Jeremiah em Cambridge, que sabia da sua paixão comum pela astronomia.

### Trânsito de 1761

Entre os observadores deste trânsito encontram-se três astrónomos portugueses: Teodoro de Almeida, no Porto, Soares de Barros em Paris e Miguel Ciera – na verdade um engenheiro italiano ao serviço de Portugal –, no colégio dos Nobres, em Lisboa.

O número de observadores e de locais de observação é impressionante e revela a importância, o interesse e a curiosidade destas observações não só para os astrónomos, mas também para um grande número de amadores anónimos, em número impossível de determinar. Segundo Proctor (1882) foram identificados 176 observadores do trânsito de Vénus de 1761, em 117 estações de observação. No estudo mais recente de Woolf (1981), os observadores identificados para este trânsito são 120, em 62 estações de observação.

O trabalho que se seguiu às observações de 1761 consistiu na análise dos resultados registados das observações, para se conseguir determinar a paralaxe do Sol, e assim poder calcular a distância da Terra ao Sol. Os resultados foram analisados por vários astrónomos de diferentes países, e os cálculos da paralaxe solar começaram a surgir algum tempo depois. Pingré obtivera o valor de 10,60", enquanto o valor de Lalande era de 9,55". James Short (1710–1768), fabricante de telescópios, e encarregado de calcular a paralaxe em Inglaterra, depois de comparar os diversos resultados obtidos nas observações, chegou a um valor de 8,56". Thomas Hornsby (1733–1810), professor de astronomia em Oxford, calculou a paralaxe solar em 9,732", reconhecendo que os valores obtidos revelavam que não

era ainda possível ter certezas sobre a sua validade. Stephan Rumovsky (1734–1812) obteve um valor de 8,33", enquanto Anders Planman (1724–1803) da Academia de Ciências sueca concluiu o valor de 8,29".

### **Trânsito de 1769**

Depois do trânsito de Vénus de 1761 o interesse no fenómeno não diminuiu, bem pelo contrário. Os astrónomos viram o segundo trânsito do século XVIII, que ocorreria a 3 e 4 de Junho de 1769, como uma segunda oportunidade para resolverem o problema da determinação da paralaxe solar, e, em consequência, poderem finalmente calcular com rigor a distância que separa a Terra do Sol. Infelizmente, o trânsito de Vénus desse ano só seria visível integralmente para observadores situados na região do Pacífico, na metade mais oriental da América do Norte, na Sibéria e na Lapónia.

A Royal Society organizou uma expedição ao Taiti, comandada por James Cook, que foi bem sucedida na observação do fenómeno, como revela o conhecido explorador no seu *Jornal de Bordo*: «O dia revelou-se ser tão favorável ao nosso propósito como poderíamos desejar; nem uma nuvem foi avistada todo o dia, e o ar estava perfeitamente limpo; de tal modo que tivemos toda a vantagem na observação de toda a passagem do planeta Vénus sobre o disco solar. Vimos distintamente uma atmosfera, ou sombra escura, em torno do corpo do planeta, que perturbou os tempos dos contactos, em particular os dois internos. Esteve quase calmo todo o dia e o termómetro, exposto ao sol pelo meio dia, ascendeu a um grau de calor que ainda não tínhamos encontrado.»

No total 151 observadores em 77 estações realizaram observações científicas do trânsito de Vénus de 1769. As grandes potências contribuíram em grande medida para o número de astrónomos envolvidos: nada menos que 69 britânicos, 34 franceses e 13 russos.

Apesar das memórias e análises publicadas na época, só no século seguinte se extraíram dos dados resultados melhores. O astrónomo alemão Johann Encke (1791–1865) fez uma revisão das observações dos trânsitos de 1761 e 1769 em trabalhos publicados em 1822 e 1824. Curiosamente, na lista de observações utilizadas por Encke vamos encontrar os observadores portugueses do trânsito de 1761. O astrónomo alemão utilizou um método estatístico então recente, publicado por Karl F. Gauss (1777–1855) em 1812 e chamado método dos mínimos quadrados. Com este método, Encke pôde ter em conta simultaneamente todos os trajectos observados de Vénus sobre o disco solar. Pôde assim obter uma precisão muito maior. Chegou ao valor de  $8,5776'' \pm 0,0370''$  para a paralaxe solar e, mais tarde, em 1835, refinou-o para  $8,57116'' \pm 0,0371''$ .

## **Os trânsitos de Vénus do século XIX**

### **Trânsito de 1874**

Após 1769, Vénus só voltou a passar em frente ao Sol em 9 de Dezembro de 1874. Entretanto, muitos desenvolvimentos ocorreram na astronomia. Começava-se agora a estudar também a composição química dos astros e os seus aspectos físicos. A nova disciplina da astrofísica dava os primeiros passos depois de o físico alemão Gustav Kirchhoff (1824–1887) e de o seu compatriota químico Robert Bunsen (1811–1899) terem descoberto que a radiação, decomposta no seu espectro multicolor, revelava informações preciosas sobre a matéria que a emitia ou absorvia. Em 1859, Kirchhoff explicou como a composição química do Sol poderia ser determinada pelo seu espectro: através da identificação de riscas que são características de cada elemento químico.

A fotografia também entrou em cena e parecia uma técnica prometedora, que permitiria, em grande medida, eliminar a variabilidade e subjectividade associadas a cada observador. Por volta de 1874, quando chegou o par de trânsitos do século XIX, já se suspeitava haver melhores métodos para a determinação da unidade astronómica (distância média da Terra ao Sol). Mas continuava a aposta nos trânsitos de Vénus.

Várias nações organizaram expedições ao Extremo Oriente e à região ocidental do Pacífico, onde o trânsito foi visível na totalidade. Como as condições meteorológicas podiam impedir o sucesso da recolha de dados, foram constituídas diversas equipas, numa espécie de redundância, que se distribuíram por estações mais a sul ou mais a norte no globo. A Rússia organizou nada menos que 26 expedições; os Britânicos 12; os Estados Unidos oito; a França e a Alemanha seis; a Itália três e a Holanda uma. «Todo o país com uma reputação de zelo científico a ganhar ou a manter quis cooperar na grande empresa cosmopolita do trânsito», como escreveu a historiadora da astronomia do século XIX Agnes Clerke.

### **Trânsito de 1882**

O número de países e de observadores envolvidos na observação do trânsito de 1882 foi igualmente significativo. A título de exemplo, nos Estados Unidos foram organizadas cerca de 15 expedições, dez dentro das suas fronteiras e as restantes cinco em diversos locais seleccionados na América Central e do Sul, Nova Zelândia e África do Sul. Os Franceses organizaram cerca de 17 expedições, 13 fora da Europa, nomeadamente nos EUA, e na América Central e do Sul. Os Ingleses organizaram mais de 30 expedições, distribuídas pela Nova Zelândia, pelas Antilhas, pela Austrália, pelos EUA, pela África do Sul, pelo Canadá, por diversas ilhas no oceano Índico, e pela América do Sul. Houve expedições organizadas por outros países, como a Alemanha, a Argentina, a Bélgica, o Brasil, a Dinamarca, a Irlanda e a Itália. O papel dos observadores do Novo Mundo nos trânsitos de 1874 e 1882 foi comparável aos esforços de franceses e ingleses do século anterior. Embora estes dois países tenham também organizado um grande número de expedições em 1874 e 1882, os trabalhos mais relevantes nestes trânsitos foram realizados pelos observadores norte-americanos.

Em Portugal este trânsito de Vénus, o último registado até aos nossos dias, foi observado e documentado no Observatório Astronómico da Universidade de Coimbra e no Observatório da Tapada da Ajuda, em Lisboa.

## Observação do trânsito de Vénus de 2004

Na terça-feira, dia 8 de Junho de 2004, Vénus passou em frente ao Sol e Portugal ficou na região de visibilidade do fenómeno. Desta vez não há grandes expedições, nem governos preocupados em provar a sua superioridade tecnológica e científica. Os telescópios que se voltam para o encontro dos dois astros já não brilham do latão polido. Desde 1882 houve muitas mudanças. A humanidade passou por duas guerras mundiais e pelo espectro, ainda não dissipado, da autodestruição. Agora o encontro aparente de Vénus com o Sol será testemunhado por sondas espaciais e por grupos de estudantes e professores enredados em projectos educativos, como o que foi concebido pelo Observatório Europeu do Sul — ESO.

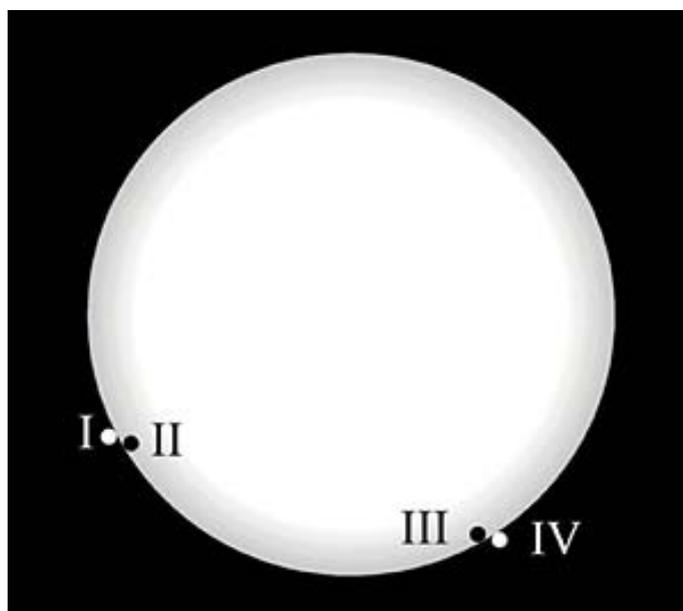


Como se pode observar pelo mapa da figura ao lado, elaborado por Fred Espenak do Centro de Voo Espacial Goddard, da NASA, para o trânsito de Vénus de 2004, a região que abarca quase toda a Europa e a África, o Médio Oriente e grande parte da Ásia verá todo o fenómeno (isto é, os quatro contactos).

A Austrália, a Indonésia, as Filipinas, a Coreia, o Japão, o extremo oriental da China e o Sudeste Asiático viram o trânsito ainda em curso ao pôr do Sol (ou seja, apenas o primeiro e o segundo contactos serão observados). Para quem estiver na África ocidental, na parte mais oriental da América do

Norte, nas Caraíbas e em quase toda a América do Sul, o trânsito decorreu ao nascer do Sol (o que permitiu assistir apenas aos terceiro e quarto contactos). Finalmente, o trânsito não foi visível para observadores situados no Sul do Chile, na Argentina, no Oeste da América do Norte, no Havai e na Nova Zelândia.

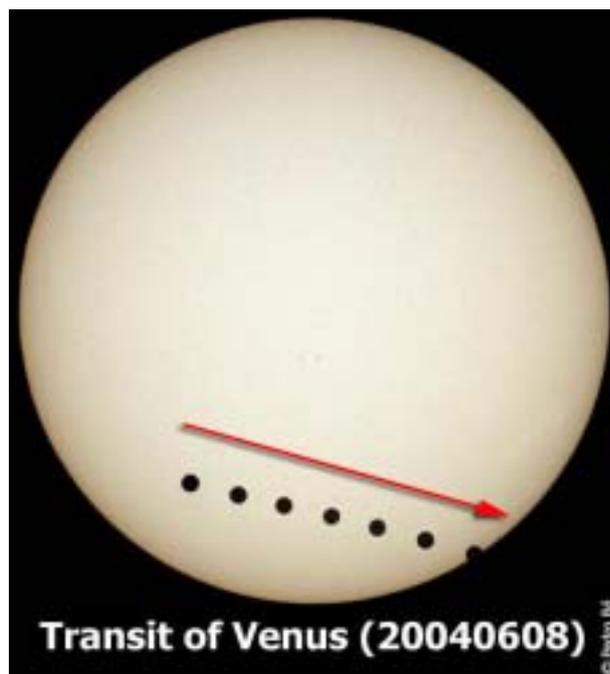
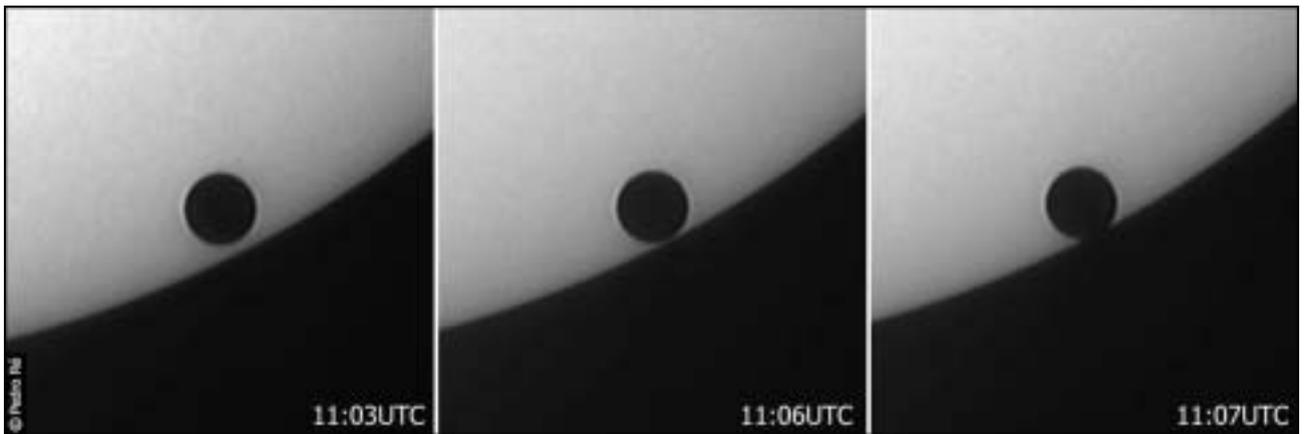
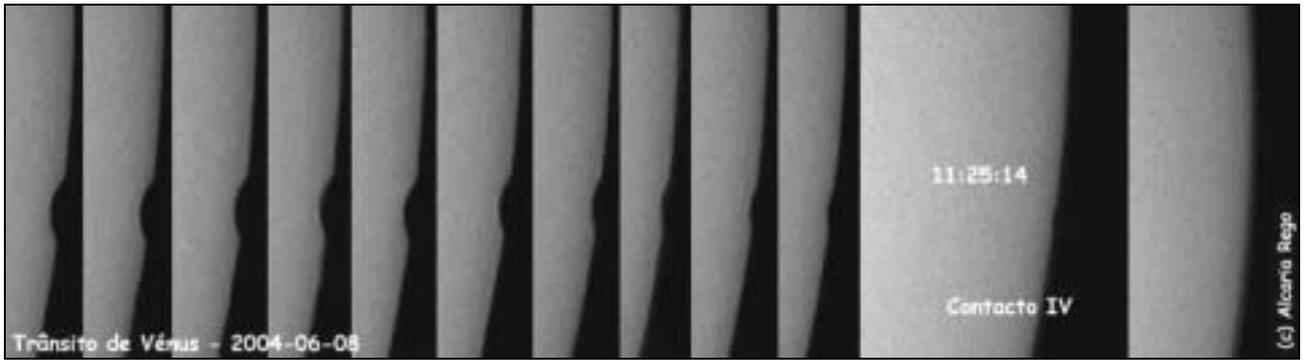
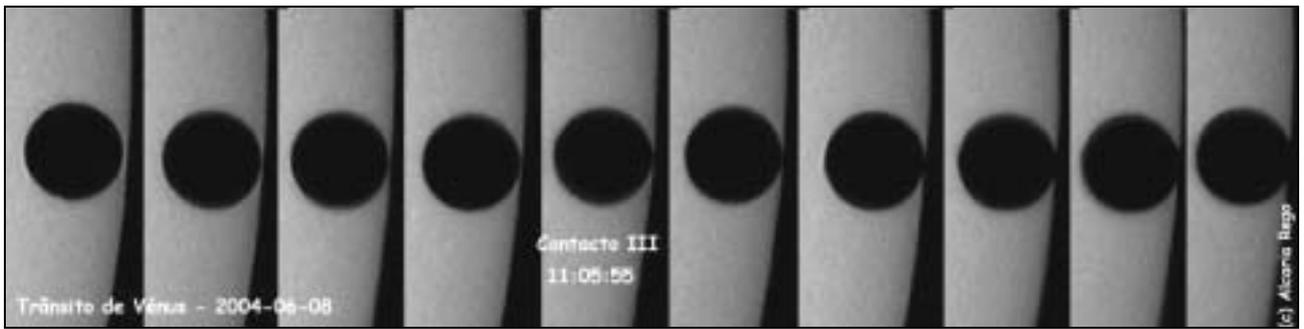
Portugal continental encontrava-se numa posição particularmente interessante. O extremo nordeste do território do Continente constituía a melhor localização para os observadores que pretendiam observar todo o fenómeno. Por exemplo, em Bragança o astro-rei já se encontrava 4° acima do horizonte quando se deu o primeiro contacto. Estes valores da altura do Sol decresceram para sul e no extremo sudoeste o primeiro contacto não foi visível, uma vez que aconteceu exactamente ao nascer do Sol.



Quatro contactos visíveis num trânsito de Vénus (ou de Mercúrio). Na entrada, ou ingresso, de Vénus no disco solar dão-se o primeiro (I) e segundo (II) contactos. Na saída, ou egresso, são observados o terceiro (III) e o quarto (IV)

### Como observar

Observar o trânsito de Vénus é, essencialmente, observar o Sol. Todas as precauções que se devem seguir na observação de eclipses ou manchas solares se aplicam neste caso. *O Sol não deve, em circunstância alguma, ser observado sem a devida protecção. Desrespeitar esta regra pode trazer graves consequências: lesões oculares irreversíveis ou mesmo a cegueira.* Se é perigoso observar o Sol a olho nu, sem qualquer protecção, o perigo é ainda maior quando essa observação é realizada através de um binóculo, luneta ou telescópio — uma vez que a luz é concentrada nestes dispositivos.



# O LEGADO DE HENRIETTA LEAVITT

José Augusto Matos

Nos finais do século XIX, os astrónomos que se dedicavam a calcular distâncias às estrelas pelo método de paralaxe tinham à sua frente um problema difícil de resolver. A paralaxe funcionava bem em estrelas próximas, mas a partir de uma certa distância apresentava uma crescente margem de erro, devido ao facto do ângulo de paralaxe diminuir com a distância. Uma alternativa à paralaxe seria medir a distância pelo brilho das estrelas, mas para isso era preciso saber a magnitude absoluta das estrelas e sem saber a distância não se podia calcular a magnitude absoluta. A resolução para este problema bicudo seria dada por uma jovem astrónoma americana, chamada Henrietta Leavitt, ao descobrir uma relação entre as magnitudes das estrelas cefeidas, situadas numa galáxia vizinha da nossa e seus períodos de variabilidade.

## O trabalho de Leavitt



Leavitt nasceu em Lancaster (Massachusetts), em 1868, e vinha de uma família de sete irmãos, todos filhos de um pastor congregacionista. Estudou astronomia no actual Radcliffe College, onde obteve um bacharelato em Artes, em 1892. Três anos mais tarde entrou como voluntária para o observatório da Universidade de Harvard, sem imaginar a descoberta que iria fazer anos mais tarde. O observatório era gerido por Edward Pickering, que tinha a seu cargo um vasto programa para a determinação de magnitudes estelares fotográficas. A invenção da fotografia tinha introduzido um novo problema nas magnitudes visuais das estrelas, pois o filme fotográfico (dessa época) era sensível à luz desde o ultravioleta até ao início do verde, mas além do verde é completamente cego. Só que o olho humano tem uma sensibilidade diferente e é mais sensível ao amarelo e ao vermelho. Isto faz com que uma estrela azul (visualmente menos brilhante que uma estrela vermelha), apareça numa placa fotográfica mais

brilhante do que essa estrela vermelha. Este problema preocupava Pickering, que decidiu estabelecer uma nova escala de referência para magnitudes fotográficas. Mas comparar e classificar estrelas em placas fotográficas era um trabalho cansativo e rotineiro e Pickering decidiu contratar mulheres para o fazer. A escolha de Pickering assentava em dois factores: podia pagar menos às mulheres e dessa forma contratar mais gente e, além disso, ele próprio achava que as mulheres eram mais adequadas para este tipo de trabalho do que os homens. Foi assim que Leavitt começou a trabalhar no observatório de Pickering, primeiro como voluntária e mais tarde, em 1902, como membro permanente do quadro de pessoal do observatório. O seu trabalho no departamento de fotometria começou a incidir sobre estrelas variáveis fazendo comparação entre placas obtidas em datas diferentes para detectar mudanças de brilho. Com este trabalho descobriu ao longo da sua vida mais de 2 400 estrelas variáveis e quatro novas. Mas a sua descoberta mais importante seria feita nas placas provenientes da estação de observação de Arequipa, no Peru. Ao estudar estrelas variáveis nestas placas começou a dedicar-se a uma classe particular de variáveis conhecidas como cefeidas, cujo nome é uma referência à primeira destas estrelas descoberta na constelação de Cefeu (*Delta Cephei*) por John Goodricke, em 1786. Grande parte das cefeidas apresenta períodos de variabilidade que vão de 3 a 50 dias e sabe-se hoje que a razão dessas variações é provocada por processos de contração e expansão na própria estrela.

## A descoberta

Leavitt descobriu várias cefeidas na Pequena Nuvem de Magalhães, que hoje sabemos ser uma galáxia muito próxima da nossa, mas que naquele tempo não era reconhecida como tal. Mesmo assim, era um objecto distante e, por isso, podia-se considerar que as cefeidas na nuvem de Magalhães estavam todas aproximadamente à mesma distância de nós, o que implicava que as suas diferenças de brilho não eram devidas à distância, mas sim a diferenças na sua magnitude absoluta. E se soubermos a magnitude absoluta de uma estrela é possível saber a sua distância. A magnitude aparente ( $m$ ) de um objecto está relacionada com a sua magnitude absoluta ( $M$ ) pela equação:

$$m = 5 \log d + M - 5$$

Mas podemos converter esta equação para saber a distância.

$$\log d = \frac{(m - M) + 5}{5}$$

Leavitt fez um catálogo com 1777 estrelas variáveis nas nuvens de Magalhães e num 1.º estudo, publicado em 1908, detectou que 16 cefeidas apresentavam um padrão de variabilidade. O padrão era este: quanto maior era o seu brilho maior era o seu período de variabilidade. Ou seja, o período era proporcional à luminosidade. A esta relação chamou-se **a relação período-luminosidade** e observações posteriores de outras cefeidas confirmaram este padrão. Mais tarde num 2.º trabalho publicado em 1912 constatou graficamente que a magnitude aparente das cefeidas decrescia linearmente segundo o logaritmo do período.

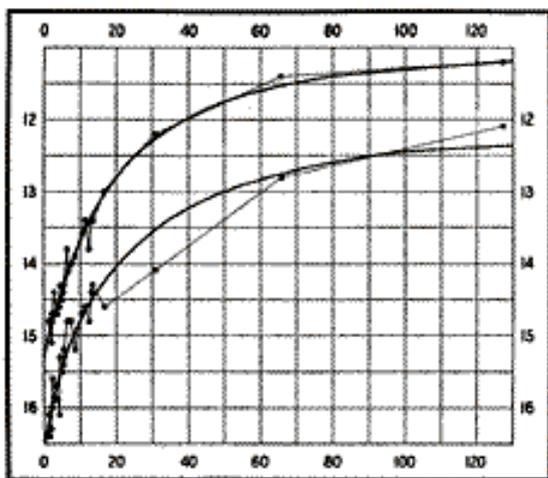


FIG. 1.

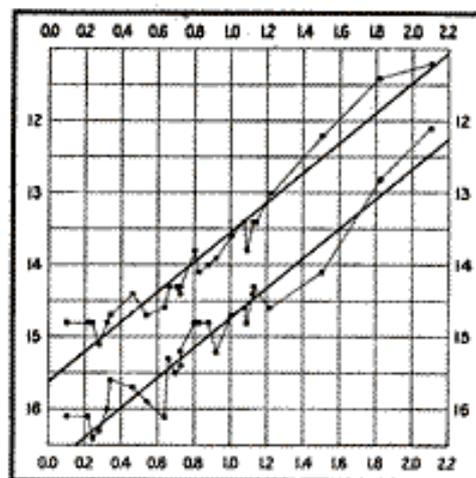


FIG. 2.

Relação período-luminosidade detectada por Leavitt em 25 cefeidas da Pequena Nuvem de Magalhães  
(in Circular 173 HARVARD COLLEGE OBSERVATORY).

## O legado

Quando Leavitt fez o seu trabalho a distância às nuvens de Magalhães não era conhecida, por isso, ela só podia mostrar diferenças nas magnitudes aparentes, sem saber quais eram as magnitudes absolutas. Leavitt infelizmente não pode continuar o seu trabalho no assunto e continuou a dedicar-se à descoberta de variáveis nas placas fotográficas. Mas o padrão descoberto abriu uma nova porta para calcular distâncias no Universo e seria pouco tempo depois (1913) aproveitado pelo astrónomo dinamarquês Ejnar Hertzsprung. Este astrónomo fez uma correspondência entre magnitude absoluta e período de variabilidade das cefeidas. Calculou as distâncias de algumas cefeidas na galáxia, embora com resultados muito imprecisos. Não era fácil calibrar esta relação, pois não se conhecia a distância de nenhuma cefeida próxima de forma segura, ou seja, por paralaxe. Desta forma, teve que se valer de paralaxes estatísticas para calcular a distância de algumas cefeidas mais próximas. O resultado não foi muito preciso, mas foi um primeiro passo. Alguns anos depois, Harlow Shapley usou novamente as cefeidas dos enxames globulares para calcular a distância do Sol ao centro da galáxia e Edwin Hubble em 1924, usando uma cefeida na galáxia de Andrómeda percebeu que esta só podia ser um objecto exterior à Via Láctea acabando com todas as dúvidas que existiam a este respeito. Leavitt teve assim o mérito de fornecer a ferramenta para todo este trabalho. No entanto, como era mulher nunca teve grandes distinções por isso. Pessoa reservada viveu o resto dos seus dias com mãe cultivando uma vida discreta, dedicada ao trabalho e à família. Morreu de cancro em 1921, com 53 anos de idade. Já não assistiu à grande descoberta de Hubble. O seu nome foi dado a uma cratera na Lua e foi a grande honra que teve já depois de morta.

### Para saber mais:

Cotardière (1997) La gloire confisquée d'Henrietta Leavitt. *Ciel et Espace* n.º 321

Kaufmann and Freedman (1999) Universe 5<sup>th</sup> edition. *W.H. Freeman and Company, New York*

Leavitt (1912) Periods of 25 variable stars in the Small Magellanic Cloud. *Harvard College Observatory Circular* No 173

### Na net:

(1) "Cepheids"

<http://www.astro.livjm.ac.uk/courses/one/NOTES/Garry%20Pilkington/cepinp1.htm>

(2) "Contributions of 20<sup>th</sup> Century Women to Physics (CWP)"

<http://www.physics.ucla.edu/>

(3) "Hands on Astrophysics"

<http://hoa.aavso.org/posterswan.htm>

(4) "Journal of Science Education"

<http://www.iisc.ernet.in/~academy/resonance/June2001/June2001p2-3.html>

(5) "PBS Peoples and Discoveries"

<http://www.pbs.org/wgbh/aso/databank/entries/baleav.html>

(6) "Science Museum Jerusalem"

[http://www.mada.org.il/website/html/eng/2\\_1\\_1-31.htm](http://www.mada.org.il/website/html/eng/2_1_1-31.htm)

(7) "The Cepheid Distance Scale: A History"

<http://institute-of-brilliant-failures.com/index.htm>



NGC7000 (Nebulosa América do Norte) e IC 5070 (Nebulosa Pelicano). Objectiva Zeiss Sonnar 200:2.8, ST-8E, Filtro H-  
alfa Astronomik. Tempo total de integração 60 min (20x3 min) x 2, Sigma clip + DDP, log scaling. Mosaico.  
Pedro Ré (2004).