



**APAA**

Associação  
Portuguesa  
de Astrónomos  
Amadores

# ASTRONOMIA de Amadores

N.º 52 Janeiro/Junho 2017



REVISITANDO A ILUSÃO DA LUA: UMA NOVA PERSPECTIVA

Guilherme de Almeida

GENERALIZAÇÃO DA 3.ª LEI DE KEPLER

Guilherme de Almeida

REGISTO AUTOMÁTICO DE METEOROS (II)

Rui Gonçalves, Carlos Saraiva, Rui Marques e Álvaro Lopes

HISTÓRIA DA ASTROFOTOGRAFIA: IMAGENS QUE MUDARAM  
A HISTÓRIA DA ASTRONOMIA

Pedro Ré



# APAA

Associação  
Portuguesa  
de Astrónomos  
Amadores

**DESEJA PUBLICAR UM ARTIGO NA REVISTA *ASTRONOMIA DE AMADORES*?  
ENCONTROU UMA TÉCNICA INTERESSANTE DE OBSERVAÇÃO OU DE  
ASTROFOTOGRAFIA QUE GOSTARIA DE PARTILHAR?**

CONTACTE A APAA ATRAVÉS DO E-MAIL: [INFO@APAA.CO.PT](mailto:INFO@APAA.CO.PT)

Os artigos são sujeitos a uma apreciação prévia, pelo que a APAA não pode garantir a publicação de artigos que não reúnam os requisitos necessários.

**CARO LEITOR: SE GOSTA DOS ARTIGOS PUBLICADOS NA REVISTA *ASTRONOMIA DE AMADORES*,  
DIVULGUE-A JUNTO DOS SEUS CONTACTOS E AMIGOS.**



# ASTRONOMIA DE AMADORES

Revista de divulgação astronómica (n.º 52) — Janeiro/Junho — ano 2017

**Propriedade:** Associação Portuguesa de Astrónomos Amadores (APAA); P.C. n.º 501 213 414.

**Sede:** Rua Alexandre Herculano, 57- 4.º Dto., 1250 - 010 Lisboa (telefone: 213 863 702)

E-mail: [info@apaa.co.pt](mailto:info@apaa.co.pt) • Internet: <http://apaaweb.com/> • Facebook: <https://www.facebook.com/APAAweb/>

*REPRODUÇÃO PROIBIDA, EXCEPTO SOB AUTORIZAÇÃO EXPRESSA DA DIRECÇÃO DA APAA.  
AS REFERÊNCIAS E AS CITAÇÕES DEVEM INDICAR EXPLICITAMENTE A ORIGEM.*

## REVISTA ASTRONOMIA DE AMADORES

**Equipa redactorial:** Pedro Ré, Guilherme de Almeida.

**Periodicidade:** Semestral

**Distribuição:** a Revista **ASTRONOMIA DE AMADORES** é distribuída gratuitamente a todos os associados que à data da publicação do respectivo número estejam em pleno gozo dos seus direitos, assim como aos sócios honorários e membros do Conselho Técnico e Científico.

**Conselho Técnico e Científico:** Alcaria Rego, Alfredo Pereira, António Cidadão, António da Costa, Cândido Marciano, Carlos Saraiva, Guilherme de Almeida, José Augusto Matos, Pedro Ré e Rui Gonçalves.

**Colaboraram neste número:** Álvaro Lopes, Carlos Saraiva, Guilherme de Almeida, Pedro Ré, Rui Gonçalves e Rui Marques.

**Artigos para publicação:** Os trabalhos destinados a publicação, devem ser fornecidos em formato Word 7 ou anterior, acompanhados de memorando explicitando o fim a que se destinam e sendo o conteúdo da responsabilidade dos autores. Só serão aceites trabalhos originais. Os artigos destinados a publicação serão previamente apreciados por um ou mais membros do Conselho Técnico e Científico ou da Redacção que, caso entendam necessário, incluirão nota devidamente assinalada. A APAA encoraja os seus sócios (e até os não sócios) a enviar artigos. Estes traduzem a opinião dos autores, e não necessariamente os pontos de vista da APAA.

## ASSOCIAÇÃO PORTUGUESA DE ASTRÓNOMOS AMADORES (APAA)

*Direcção*

**Presidente:** Pedro Ré; **Vice-Presidente:** Carlos Saraiva; **Tesoureiro:** Pedro Figueiredo; **Secretário:** Vítor Quinta;

**Secretário-Adjunto:** Raimundo Ferreira.

*Mesa da Assembleia-Geral*

**Presidente:** António Magalhães; **Secretário:** Rui Gonçalves; **Vogal:** José Egeia.

*Conselho Fiscal*

**Presidente:** José Cardoso Moura; **Vogal:** Paulo Coelho; **Vogal:** Miguel Claro.

### Pagamento de quotas

2ª a 5ª feira: das 10 h às 13 h e das 15 h às 19 h;

Pagamentos em cheque cruzado à ordem da APAA, vale postal ou transferência bancária.

### Novos sócios:

Para se inscrever na APAA, basta enviar por carta, ou entregar pessoalmente na sede, uma folha A4 contendo nome, morada, data de nascimento, habilitações literárias e endereço e-mail (caso tenha), acompanhado de meio de pagamento da inscrição (5 Euros) e das quotas de pelo menos um trimestre (6 Euros). A quota mensal é de 2 Euros/mês. Os jovens até 25 anos têm uma redução das quotizações de 50%. Em <http://apaaweb.com/> existe um formulário de inscrição on-line que poderá facilitar todo este processo.

## OBSERVATÓRIO APAA

Este observatório resulta de um protocolo estabelecido entre a APAA e o Planetário Calouste Gulbenkian. Denomina-se "Observatório Comandante Conceição Silva" e encontra-se anexo ao Planetário em Belém, junto ao Mosteiro dos Jerónimos.

# ÍNDICE

REVISITANDO A ILUSÃO DA LUA: UMA NOVA PERSPECTIVA.....	5
Guilherme de Almeida	
GENERALIZAÇÃO DA 3.ª LEI DE KEPLER.....	9
Guilherme de Almeida	
REGISTO AUTOMÁTICO DE METEOROS (II) .....	16
Rui Gonçalves, Carlos Saraiva, Rui Marques e Álvaro Lopes	
HISTÓRIA DA ASTROFOTOGRAFIA: IMAGENS QUE MUDARAM	
A HISTÓRIA DA ASTRONOMIA .....	22
Pedro Ré	



## **Giant Squid Nebula**

Mosaico de 8 painéis  
maio de 2015/ setembro de 2015  
Taka FS102NSV @ 641mm  
QSI532WS-M1  
Losmandy G11-Ovision  
Tempo total de integração- 16680 minutos (278 horas)  
Ha-5nm: 8x 62x15 min  
OIII-3nm: 8x 77x15 min  
Filtros Astrodon  
**Paulo Lobão**

# REVISITANDO A ILUSÃO DA LUA:

## Uma nova perspectiva

Guilherme de Almeida  
[g.almeida\(a\)vizzavi.pt](mailto:g.almeida(a)vizzavi.pt)

***Diz-se que a Lua junto ao horizonte parece maior do que quando a vemos mais alta. Todos nos apercebemos disso. Vamos desfazer o mito e mostrar como se pode utilizar um dispositivo simples, fácil de obter, que permite replicar esta interessante ilusão.***



### 1. Justificações geométricas

A distância *média* da Terra à Lua, entre os centros destes dois astros, é de cerca de 384 400 km (ou seja, cerca de 60 vezes a medida do rio terrestre médio). No entanto, a órbita lunar em torno da Terra tem a forma de uma elipse, descrita em cerca de 27,3 dias, pelo que a distância Terra-Lua não é constante: varia entre cerca de 363 299 km (no perigeu), em que a Lua parece maior, até 405 507 km (no apogeu), onde é vista com menor diâmetro aparente. Isso é real e pode medir-se, mas aqui o nosso objectivo é outro: como se explica a diferente percepção visual do diâmetro aparente da Lua, *na mesma noite*, a diferentes alturas em relação ao horizonte?

Desde que a Lua nasce até ao momento em que atinge a sua altura máxima *na mesma noite*, passam pouco mais de cinco horas. Por isso, a distância Terra-Lua pouco varia num intervalo de tempo tão curto e podemos considerar, praticamente, essa distância como constante. É a rotação da Terra que nos dá a ilusão se a Lua se mover no céu durante essas poucas horas.

Podem adiantar-se muitas tentativas para justificar a percepção de uma Lua maior junto ao horizonte, a nascente ou a poente: maior proximidade, dizem alguns; pura ilusão, afirmam outros; percepção errónea, para outros ainda. Qual será a explicação para isto?

A Figura 1 mostra como varia a distância da Lua *em relação a um observador terrestre*, desde que ela nasce até à sua altura máxima. É a Terra que roda, mas o observador, sentindo-se parado, tem a ilusão de que a Lua sobe no céu (movimento aparente). Mostram-se três posições da Lua em relação ao observador **O**: no horizonte (H), à distância  $d_H$ ; a  $45^\circ$  de altura, à distância  $d_{45}$ ; no zénite (Z), à distância  $d_Z$ , situação impossível para a latitude do território português, onde a Lua não excede  $76^\circ$  acima do horizonte. Por razões de clareza, a distância da Terra à Lua não foi representada à escala, mas as dimensões relativas da Terra e da Lua estão na mesma escala. Convém ter presente que a medida do raio terrestre médio vale 1/60 da distância média da Terra à Lua.

Na Figura 1 podemos ver que  $d_H$  é maior do que  $d_Z$ , por um excesso igual ao raio terrestre (6378 km); junto ao horizonte, a Lua está 1,6% mais longe do observador do que quando se encontra no zénite (se isso for possível para esse observador). E a  $45^\circ$  de altura está mais longe do que no zénite e mais perto do que quando a vemos no horizonte. Feitas as contas, a  $45^\circ$  de altura, a Lua está a



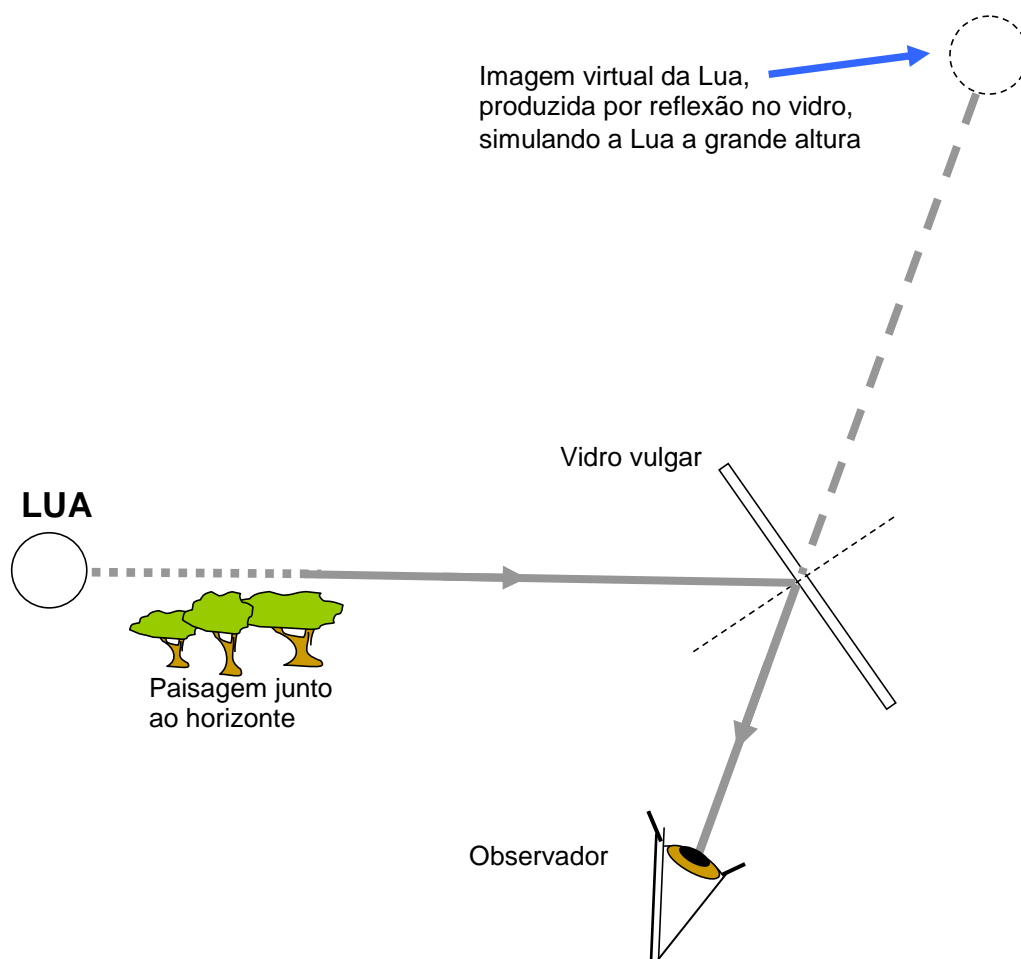
## 2. Como replicar facilmente a ilusão da Lua

Para nos convenceremos desta ilusão basta fazer duas experiências simples, com material fácil de obter. Tudo o que é necessário é apenas uma pequena placa de vidro vulgar de 5 cm x 10 cm ou maior. Faça o Leitor as duas seguintes experiências simples, numa noite de Lua-cheia:

### EXPERIÊNCIA 1.

Coloque-se de costas para a Lua-cheia muito junta ao horizonte (mas vendo-se o disco completo da Lua). Eleve a placa de vidro acima do nível dos seus olhos (Fig. 3). Inclinando o vidro convenientemente, faça com que a Lua (vista reflectida pelo vidro) pareça estar a grande altura, ou mesmo no zénite. Isso ajusta-se agindo na inclinação do vidro. A mesma Lua, que no horizonte parecia enorme, vai agora parecer-lhe muito menor!

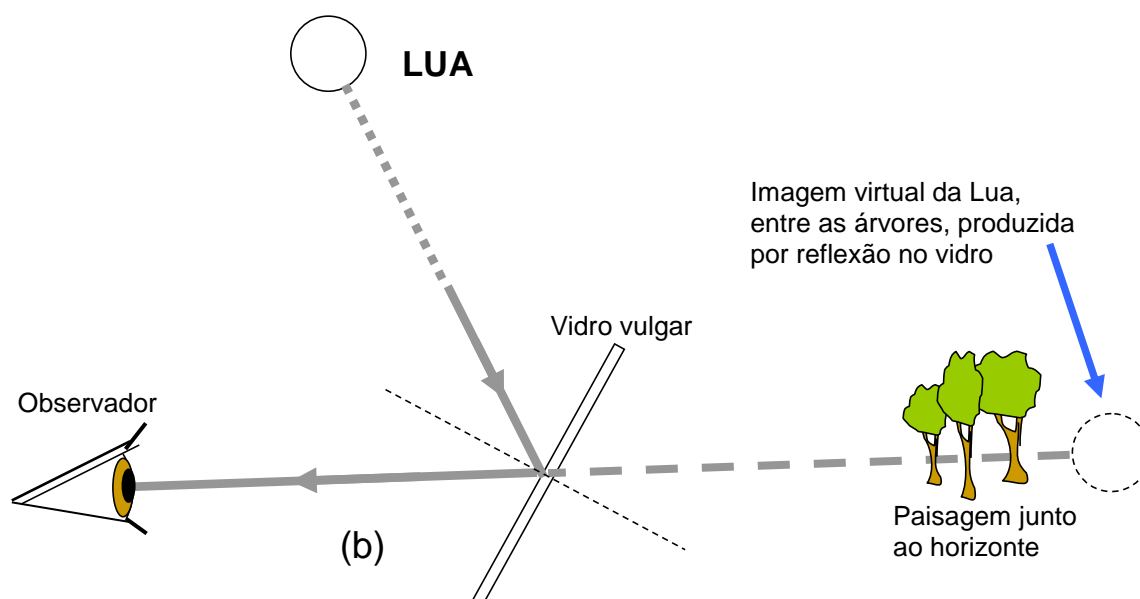
Se não foi a tempo de apanhar a Lua baixa, a nascente, comece pela experiência 2 e faça a experiência 1 mais tarde, quando a Lua se estiver quase a pôr.



**Fig. 3.** Com um vidro transparente podemos modificar a direcção de onde nos chega a luz da Lua, colocando-a visualmente a grande altura, ou mesmo no zénite. A ilusão de uma Lua enorme desaparece imediatamente e veremos a Lua do seu tamanho aparente normal. A Lua é obviamente a mesma: apenas passou a ser vista noutra direcção. Por uma questão de clareza, a imagem não está representada à escala.

## EXPERIÊNCIA 2.

Esta segunda experiência é a inversa da anterior. Comece com a Lua-cheia já muito elevada sobre o horizonte. Utilize um pedaço de vidro vulgar, colocado em frente dos olhos, olhando na direcção horizontal, para ver através do vidro a paisagem junto ao horizonte. Inclinando convenientemente a placa de vidro, consegue-se reflectir a imagem da Lua de modo a vê-la como se ela estivesse junto ao horizonte (Fig. 4). Verá imediatamente que a Lua lhe parece muito maior. Pode “colocá-la” contra vários recortes de horizonte que haja à sua volta (espaços entre árvores, intervalos entre edifícios, etc.) e verá que a Lua parece maior em todos os casos.



**Fig. 4.** Com um vidro transparente podemos ver em simultâneo a paisagem terrestre através do vidro e colocar virtualmente a Lua junto ao horizonte, entre árvores ou "a nascer" entre prédios: ela vai parecer muito maior! Por uma questão de clareza, a imagem não está representada à escala.

## 3. Conclusão

No número 43 de Astronomia de Amadores abordei a questão da ilusão da Lua segundo a perspectiva do cálculo. Entretanto tive a ideia deste dispositivo de replicação da ilusão que quis agora partilhar com os leitores. Os resultados são imediatos e convincentes, pelo que convido os leitores a experimentar estes procedimentos e a verem por si próprios. O artigo anterior pode ser visto em [http://apaa.co.pt/Rev43/revista\\_43\\_FINAL.pdf](http://apaa.co.pt/Rev43/revista_43_FINAL.pdf) (págs. 16-20).

A fotografia de abertura e todas as ilustrações são do autor.

[ Por decisão pessoal, o autor não escreve segundo o novo Acordo Ortográfico de 1990 (OA1990)]

O perfil do autor e as suas obras publicadas podem ser vistos nos seguintes links:

<https://plus.google.com/u/0/112246238908890914394/about>

<https://plus.google.com/u/0/112246238908890914394/posts>

<http://www.platanoeditora.pt/?q=N/SEARCHBOOKS/861&sType=AUTHORID&maid=292>

<http://www.wook.pt/authors/detail/id/5235>



# Generalização da 3.<sup>a</sup> lei de Kepler



Guilherme de Almeida\*  
[g.almeida\(a\)vizzavi.pt](mailto:g.almeida(a)vizzavi.pt)

As leis de Kepler são já conhecidas pela maior parte dos nossos leitores. Porém, em rigor, elas têm validade limitada: só são válidas em determinadas condições particulares, por mero acaso muito próximas das que verificam no nosso Sistema Solar. Com este artigo pretende-se recordá-las para fazer notar os seus limites de validade e mostrar a correcção a fazer para que estas leis se possam aplicar na generalidade, já fora desses mesmos limites. Serão apresentados alguns exemplos de aplicação.

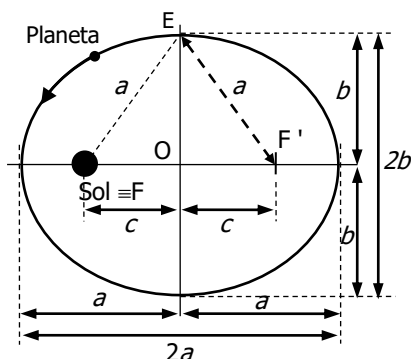
## As leis de Kepler na sua forma tradicional

Johannes Kepler (1546-1601) enunciou as suas três leis do movimento planetário entre 1606 e 1619. Começemos por resumir e comentar estas leis:

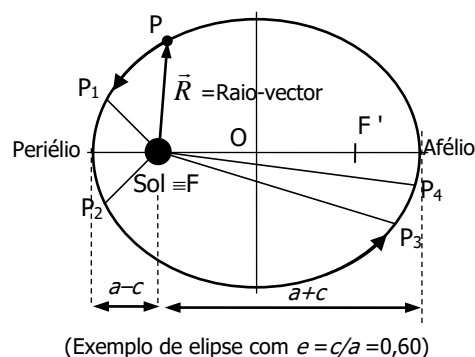
**1.<sup>a</sup> Lei:** os planetas movem-se em torno do Sol descrevendo órbitas que são elipses, ocupando o Sol um dos focos (Fig. 1).

**2.<sup>a</sup> Lei:** cada planeta move-se na sua órbita de tal forma que a linha (raio-vector) que liga o Sol ao planeta (Fig. 2), varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais. Por exemplo a área delimitada pelo Sol, por  $P_1$  e por  $P_2$  é igual à área delimitada pelo Sol,  $P_3$  e  $P_4$ , sendo as áreas varridas no mesmo tempo.

**3.<sup>a</sup> Lei:** para cada planeta, o quadrado do seu período de translação ( $T$ ) é proporcional ao cubo do semi-eixo maior da sua órbita ( $a$ ), ou seja  $T^2 = ka^3$  sendo a constante de proporcionalidade ( $k$ ) a mesma para todos os planetas. (O semieixo maior ( $a$ ) é a distância média do planeta ao Sol).



**Fig.1.** Representação dos principais elementos de uma elipse. O eixo maior ( $2a$ ) e o eixo menor ( $2b$ ) foram representados na figura. Figura de Guilherme de Almeida, 2016.



**Fig.2.** Representação de uma órbita planetária, vendo-se os focos (F e F') da elipse, o periélio (ponto de maior proximidade em relação ao Sol) e o afélio, de maior afastamento. Figura de G. de Almeida, 2016.

Quanto à primeira lei, convém referir que, no nosso Sistema Solar, as órbitas dos planetas principais são de muito pequena excentricidade, quase idênticas a circunferências: a elipse das figuras 1 e 2 tem excentricidade  $e=0,60$ , que é 36 vezes maior do que a excentricidade da órbita da Terra. Quanto à segunda lei, ela determina que a velocidade com que o planeta percorre a sua órbita não é constante: aumenta quando o planeta se aproxima do Sol e vice-versa, sendo máxima no periélio e mínima no afélio. A terceira lei implica que, para dois planetas quaisquer, designados por 1 e 2, movendo-se ambos em torno do Sol, se tem (igualando  $k$  para esses dois planetas):

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

Apesar da determinação destas leis ter exigido um bom arquivo de dados observacionais, seguido de um trabalho de cálculo enorme e complicado (obviamente manual), Kepler teve uma grande sorte: a massa de cada um dos planetas ( $m_{\text{planeta}}$ ) é quase insignificante face à do Sol ( $M_{\text{Sol}}$ ), ou seja,

$$\frac{m_{\text{planeta}}}{M_{\text{Sol}}} \approx 0, \text{ ou, ainda, } M_{\text{Sol}} + m_{\text{planeta}} \approx M_{\text{Sol}}.$$

Mesmo no caso mais extremo, o de Júpiter, esse quociente vale apenas 0,000 955. E para Marte toma o valor irrisório 0,000 000 322. É só por isso que a terceira lei de Kepler *pode expressar-se* na forma simples acima referida

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}.$$

Se o quociente  $m_{\text{planeta}}/M_{\text{Sol}}$  for significativo, tudo se complica. O objectivo deste artigo é mostrar como se pode obter a versão corrigida destas leis à luz da lei da gravitação universal, ou seja, obter as leis de Kepler generalizadas.

### Generalização das leis de Kepler

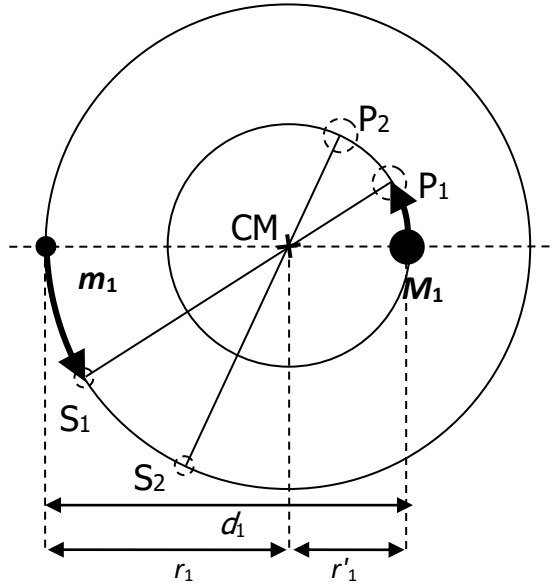
No caso anteriormente referido, onde a massa de um planeta é insignificante face à massa do Sol, o centro de massa do sistema Sol+planeta coincide praticamente com o centro do próprio Sol. As leis de Kepler referem-se a esta situação. Vamos agora ver como é que as coisas se passam no caso de um hipotético sistema em que a massa  $m$  do planeta já não é desprezável em comparação com a massa  $M$  da estrela (massa primária) em torno do qual esse planeta orbita. Tal generalização deve-se a Isaac Newton (1642-1727). De início vamos considerar que as órbitas são circulares (veja-se a **nota final 1**). Para isso consideremos (Fig. 3) o sistema 1, constituído pelas massas  $M_1$  (massa primária) e  $m_1$  (massa secundária), à distância  $d_1$  entre si, orbitando em torno do centro de massa comum (CM).

Utilizando a conhecida lei da gravitação universal de Newton, calculemos os módulos da força gravítica entre as massas  $M_1$  e  $m_1$  (representada por  $F_1$ ), da aceleração de  $m_1$  (indicada por  $a_1$ ) e da aceleração de  $M_1$  (designada por  $A_1$ ). Essas três grandezas valem, respectivamente,

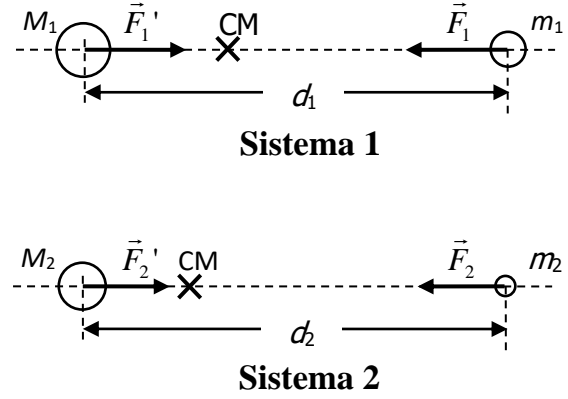
$$F_1 = G \frac{M_1 m_1}{d_1^2} ; a_1 = \frac{F_1}{m_1} = \frac{G M_1}{d_1^2} ; A_1 = \frac{F_1}{M_1} = \frac{G m_1}{d_1^2} ,$$

onde  $G$  é a constante universal de gravitação e as acelerações de valores absolutos  $a_1$  e  $A_1$  são em relação ao centro de massa (CM) do sistema. A aceleração de  $m_1$  em relação a  $M_1$  (atendendo ao facto de que  $a_1$  e  $A_1$  apontam em sentidos opostos) é

$$a_1 + A_1 = G \frac{(M_1 + m_1)}{d_1^2} \quad \text{[Equação 1]}$$



**Fig.3.** Representação de um sistema SOL+planeta, indicando-se massas ( $M_1$  e  $m_1$ ) e distâncias. O centro de massa do sistema é representado por CM. Note-se que ambos os corpos descrevem órbitas, de raios ( $r_1$  e  $r'_1$ ), em torno do CM. Guilherme de Almeida, 2016.



**Fig.4.** Representação esquemática de dois sistemas SOL+planeta, indicando-se as massas, forças e distâncias. O centro de massa de cada sistema é representado por CM. Guilherme de Almeida, 2016.

Como a velocidade angular orbital  $\omega$  é a mesma para  $m_1$  e  $M_1$ , pois completam uma órbita no mesmo intervalo de tempo  $T$  (Fig.3),

$$a_1 + A_1 = \omega^2 r_1 + \omega^2 r'_1 = \omega^2 (r_1 + r'_1) = \omega^2 d_1,$$

(onde  $r_1$  e  $r'_1$  são os raios das órbitas circulares de  $m_1$  e  $M_1$ , respectivamente). Portanto, e como  $\omega = 2\pi/T$ :

$$\frac{4\pi^2}{T_1^2} d_1 = \frac{G (M_1 + m_1)}{d_1^2} \quad \text{ou} \quad T_1^2 (M_1 + m_1) = \frac{4\pi^2 d_1^3}{G} \quad [\text{Equação 2}]$$

Num outro sistema gravitacionalmente ligado (sistema 2), representado na Fig. 4, será, por semelhança formal,

$$F_2 = G \frac{M_2 m_2}{d_2^2} \quad a_2 = \frac{F_2}{m_2} = \frac{G M_2}{d_2^2} \quad A_2 = \frac{F_2'}{M_2} = \frac{G m_1}{d_2^2}$$

$$\text{A aceleração de } m_2 \text{ em relação a } M_2 \text{ é } a_2 + A_2 = G \frac{(M_2 + m_2)}{d_2^2} \quad [\text{Equação 3}]$$

Procedendo de modo análogo ao que fizemos com o sistema 1, obteremos

$$T_2^2 (M_2 + m_2) = \frac{4\pi^2 d_2^3}{G} \quad [\text{Equação 4}]$$

Dividindo ordenadamente a equação 2 pela equação 4, e simplificando, obtemos finalmente:

$$\frac{T_1^2 (M_1 + m_1)}{T_2^2 (M_2 + m_2)} = \frac{d_1^3}{d_2^3} \quad [\text{Equação 5}]$$

## Órbitas elípticas

Até aqui, considerámos órbitas circulares. Tratando-se de órbitas elípticas, como é o caso geral, a única diferença é que  $d$  representará o *semieixo maior* de tal elipse (ou seja, a distância média entre as duas massas).

A equação 5 representa, por isso, a *forma generalizada* da 3.<sup>a</sup> lei de Kepler desde que  $d$  represente a distância média entre as duas massas. Veja-se que *no caso particular* do nosso Sistema Solar, para dois planetas de massas  $m_1$  e  $m_2$ , orbitando *ambos* em torno do Sol, acontece que  $M_1=M_2=M_{\text{Sol}}$ , o que permite comparar entre si os movimentos de dois quaisquer planetas do nosso Sistema Solar, por terem em comum o Sol como massa primária

Na situação mais desfavorável (Júpiter) o quociente  $m_J/M_S$  vale apenas 1/1047 e consequentemente  $M_S+m_J = 1,000\,955\,M_S \approx M_S$ , com erro inferior a 0,096% (em relação ao valor 1) e muitíssimo menor para os restantes planetas (erro inferior a 0,00030% no caso da Terra). Assim sendo, para dois planetas orbitando em torno do mesmo astro principal, podemos concluir que  $M_2+m_2 \approx M_1+m_1 \approx M_S$  com excelente aproximação. Considerando tal aproximação na equação 5, obtemos

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{d_1^3}{d_2^3}, \text{ que é a expressão tradicional da 3.ª lei de Kepler.} \quad [\text{Equação 6}]$$

Por outras palavras, a equação 5 tem como caso particular da equação 6 quando a massa de cada planeta é desprezável face à massa do Sol. Foi por isso que Kepler obteve a sua 3.<sup>a</sup> lei, que relaciona satisfatoriamente (no caso do nosso Sistema Solar) os períodos de traslação dos planetas com as correspondentes distâncias médias ao Sol. Se Kepler vivesse num sistema planetário onde as massas dos planetas fossem fracções significativas da massa do Sol, não teria conseguido obter a sua 3.<sup>a</sup> lei. Ou, quando muito teria conseguido uma forma muito menos rigorosa para esta sua famosa lei.

Podemos dar à equação 5 e uma forma ainda mais interessante. Repare-se que as equações 2 e 4 (que serviram para obter a equação 5) se referem a dois sistemas independentes, o sistema 1 ( $M_1, m_1$ ) e o sistema 2 ( $M_2, m_2$ ), cada um deles gravitacionalmente ligado, independentes entre si. Assim, na equação 5, e *na forma geral*, os numeradores referem-se um sistema e os denominadores a outro sistema. Tal circunstância permite comparar um sistema binário com outro (como veremos adiante), sendo conveniente utilizar uma escolha de unidades que torne os cálculos mais simples e mais rápidos. Por isso, na referida equação 5 é possível fazer uma escolha de unidades que torne os cálculos mais convenientes. Podemos pois medir  $T_1$  em anos (terrestres) siderais,  $d_1$  em unidades astronómicas (distância média da Terra ao Sol) e a soma  $M_1+m_1$  pode ser medida em massas solares ( $1\,M_{\text{Sol}}=1,989 \times 10^{30}\,\text{kg}$ ), dado que se verifica que

$$M_{\text{Sol}}+m_{\text{Terra}} = M_{\text{Sol}},$$

com elevada aproximação ao valor da massa solar ( $M_{\text{Sol}}+m_{\text{Terra}} = 1,000\,0030 \approx M_{\text{Sol}}$ . Utilizando (por comodidade) essas unidades, a equação 5 assume a sua forma mais simplificada

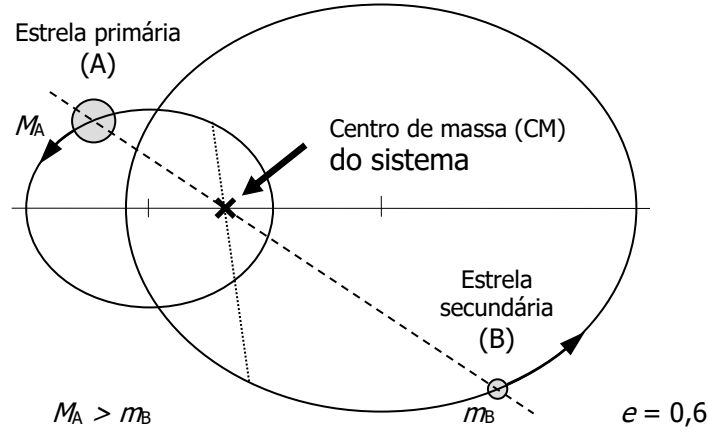
$$T_2^2 (M_2 + m_2) = d_2^3,$$

onde  $T_2$ ,  $M_2$ ,  $m_2$  e  $d_2$  estarão expressos nas unidades já referidas, ou seja:  $T_2$  em anos terrestres siderais;  $M_2$  e  $m_2$  em massas solares;  $d_2$  em unidades astronómicas. Assim, *para um qualquer* par de astros gravitacionalmente ligados, A e B (Fig. 5), orbitando em torno do centro de massa comum, podemos escrever:

$$T_{\text{BA}}^2 (M_{\text{A}} + m_{\text{B}}) = d_{\text{BA}}^3, \quad [\text{Equação 7}]$$

onde  $d_{\text{BA}}$  representa a distância entre B e A e  $T_{\text{BA}}$  é o período de traslação deste movimento relativo.





**Fig. 5.** Órbitas num sistema de duas estrelas em que a massa da secundária não é insignificante face à massa da principal. A excentricidade das órbitas representadas é 0,6. Guilherme de Almeida, 2016.

Vejam os um exemplo simples. Considerem-se duas estrelas A e B, constituindo um sistema binário com semi-eixo maior de  $d_{BA}=50$  UA (órbita da secundária em relação à primária), e período orbital de  $T_{BA}=80$  anos. Introduzindo estes dados na equação anterior [Equação 7] obtemos  $M_A+m_B=19,53$  massas solares. E qual será a massa de *cada uma* das estrelas? Como foi mostrado num artigo anterior (veja-se a **nota final 2**), as distâncias dos dois astros ao CM comum verificam a relação

$$M_A d_A = m_B d_B, \text{ ou seja, } M_A/m_B = d_B/d_A,$$

onde  $d_B$  e  $d_A$  são os semi-eixos maiores de cada uma das órbitas, medidos em relação ao CM onde se encontra o foco comum às duas órbitas. Porém, dado que a velocidade angular ( $\omega$ ) é a mesma para as duas componentes e  $\omega=v/d$ , ou seja  $d=v/\omega$  segue-se que

$$\frac{M_A}{m_B} = \frac{d_B}{d_A} = \frac{v_B/\omega}{v_A/\omega}, \text{ ou seja, } \frac{M_A}{m_B} = \frac{v_B}{v_A}. \quad [\text{Equação 8}]$$

Se as velocidades  $v_B$  e  $v_A$  puderem ser medidas (usualmente por efeito Döppler) a relação  $M_A/m_B$  passa a ser conhecida (utilizando a equação 8). Por exemplo, se for  $M_A/m_B= 3,00$ , passamos a ter as seguintes equações:

$$M_A+m_B=19,53 \text{ (segundo a equação 7 atrás referida)}$$

$$M_A/m_B=3 \text{ (exemplo apresentado).}$$

Este sistema de equações dá-nos  $M_A = 14,65$  massas solares e  $m_B = 4,88$  massas solares.

Na verdade, o problema é um pouco mais complexo porque, em geral o plano das órbitas não é perpendicular à linha de visão: as órbitas que são observáveis a partir da Terra são em geral projecções das órbitas na direcção perpendicular à linha de visão (órbitas aparentes). Por outro lado, o que está acessível é observação directa é a órbita da estrela secundária em relação à principal. Ou seja, a órbita visível da secundária, num referencial fixado na estrela primária. Tal órbita, conhecida como órbita relativa, é também uma elipse, mas a estrela primária não ocupa o foco da órbita aparente relativa. É pois necessário, através do cálculo, entrar em conta com esses factores.

## Enunciado das leis de Kepler, corrigidas pela lei de Newton

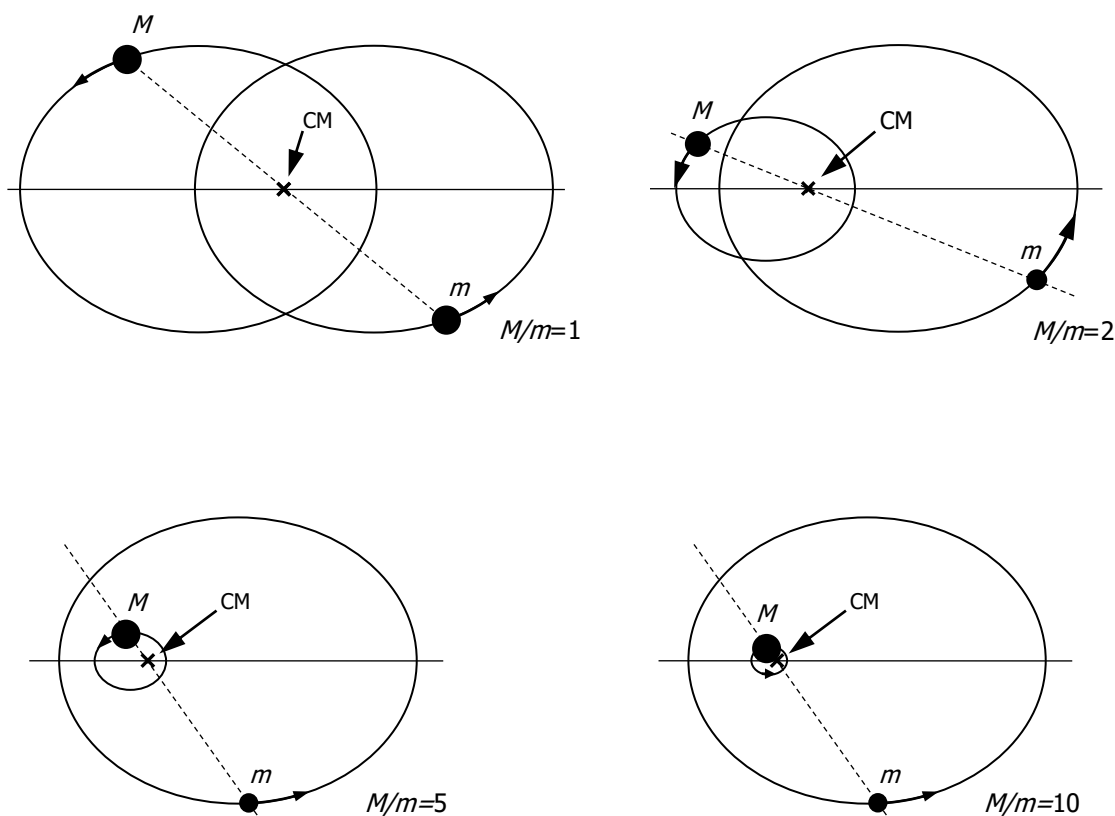
Tendo em conta que a massa do corpo secundário nem sempre é desprezável face à do primário, e extrapolando para qualquer sistema de dois corpos gravitacionalmente ligados, incluindo estrelas duplas, as leis de Kepler generalizadas passam a enunciar-se do seguinte modo.

**1.<sup>a</sup> lei:** os dois objectos de um sistema binário movem-se em torno do centro de massa comum, descrevendo órbitas que são elipses, de tal modo que o centro de massa do sistema ocupa um dos focos de cada elipse.

**2.<sup>a</sup> lei:** o segmento de recta que liga os centros de dois objectos de um sistema binário varre áreas iguais em intervalos de tempo iguais (ver **nota final 3**).

**3.<sup>a</sup> lei:** o quadrado do período de translação de cada um dos objectos de um sistema binário, de massas  $M$  e  $m$ , é directamente proporcional ao cubo do semi-eixo maior do sistema, sendo a constante de proporcionalidade  $4\pi^2/[G(M+m)]$ . (Note-se que o período orbital é o mesmo para  $M$  e para  $m$ ).

A Fig. 6 mostra as órbitas de duas estrelas para diferentes relações  $m/M$ . Os termos afélio e periélio (referentes ao maior afastamento e maior proximidade de um planeta em relação ao Sol) passam a ser designados pelos termos gerais *apoastro* e *periastro*, respectivamente (veja-se a **nota final 4**). As representações pressupõem que o plano orbital é perpendicular à linha de visão do observador.



**Fig. 6.** Órbitas de duas componentes de um sistema binário, para diferentes relações entre a massa da estrela primária e a massa da secundária, exemplificando com valores do quociente  $M/m$ . Figura de Guilherme de Almeida, 2016.

Refira-se que noventa e seis anos separam as datas de nascimento de Kepler (1546-1601) e de Newton (1642-1727), cujas fotografias se mostram nas Figs. 7 e 8.

Espero que este artigo tenha contribuído para lançar luz sobre um tema que normalmente anda arredado das publicações para astrónomos amadores, embora desperte natural curiosidade.

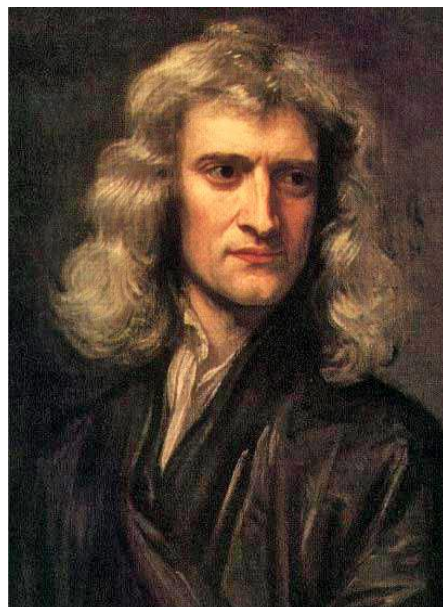
No site <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Orbit1.gif> podem observar-se cinco animações interessantes, para diversos casos de dois corpos orbitando em torno do centro de massa comum.



**Fig. 7.** Johannes Kepler, em 1610, retratado aos 39 anos (por um pintor desconhecido).

Fonte da imagem:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Johannes\\_Kepler](https://en.wikipedia.org/wiki/Johannes_Kepler)



**Fig. 8.** Isaac Newton, em 1689, retratado aos 47 anos pelo pintor Godfrey Kneller.

Fonte da imagem:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac\\_Newton](https://en.wikipedia.org/wiki/Isaac_Newton)

---

(1) – Esta aproximação, para os planetas principais (do nosso Sistema Solar), não anda longe da verdade: por exemplo para a órbita da Terra, a razão entre o eixo maior e o eixo menor é 1,0001389. Numa representação da órbita da Terra à escala, com o eixo maior ( $2a$ ) a valer 200,000 mm, o eixo menor ( $2b$ ) valeria 199,972 mm, ou seja apenas 0,02778 mm a menos do que o eixo maior. E a distância  $c$  da Fig 1 valeria apenas (nesse modelo à escala) 1,667 mm.

(2) – Revista *Astronomia de Amadores*, n.º 13–Janeiro-Março de 2002, págs. 16 a 18.

(3)– Esta afirmação significa que quando os dois corpos estão mais próximos de movem mais rapidamente nas suas órbitas; e mover-se-ão mais lentamente quando estão mais afastados. A lei das áreas é consequência da lei da conservação do momento angular.

(4)– Quando as distâncias se medem em relação à Terra, os termos utilizados são *apogeu* e *perigeu*, respectivamente.

\* — Informação sobre as obras do autor já publicadas:

<https://www.platanoeditora.pt/?q=N/SEARCHBOOKS/861&sType=AUTHORID&maid=292>

# REGISTO AUTOMÁTICO DE METEOROS (II)

TEMPLAR's, RO's, SOFIA, RAN1, CAB1 e NASO1

“Rede Meteorica Nacional” – PMN (*Portuguese Meteoric Network*)

Rui Gonçalves<sup>1</sup>, Carlos Saraiva<sup>2</sup> Rui Marques<sup>3</sup> e Álvaro Lopes<sup>4</sup>

Em continuação do nosso anterior artigo, apraz-nos registar que a nossa rede PMN cresceu! Tem neste momento 12 sistemas activos, com a integração plena da RAN1 situada em Rana-Paredes-Cascais e da CAB1 situada em Mora, ambas do colega Rui Marques e da NASO1 situada em Alvalade-Lisboa, do colega Álvaro Lopes.

Tabela 1 – Parâmetros dos novos sistemas de detecção e registo de meteoros com o *MetRec*.  
(M – Mintron, W – Watec)

Designação	Equipamento	Cobertura	Funcionamento	Mag.Lim.
RAN1	W + 4.5 mm f/1.4	Sudeste a 40° alt.	Jul. 2014-	4,0
CAB1	W + 3.8 mm f/0.8	Este a 35° alt.	Jul. 2014-	3,1
NASO1	W + 6 mm f/0.75	Oeste a 50° alt.	Mar. 2015-	3,8

(Desde Março de 2016 que o sistema CAB1 está a operar com uma objectiva *Panasonic* 6 mm f/0.75, sensivelmente nos mesmos azimute e altura).

## Exemplo de registo da PMN

A figura 1 exemplifica e ilustra dois registos do mesmo evento meteórico, a partir de dois sistemas distintos e afastados, da nossa rede. Trata-se da imagem somada (“fotografia”) a partir das imagens vídeo obtidas a 25 img/s e digitalizadas em tempo real a 8-bit nas placas *Matrox Meteor II* pelo software *MetRec* [1]. Para além desta imagem, é também produzido um pequeno filme e um ficheiro com toda a informação temporal, astrométrica e fotométrica do evento.

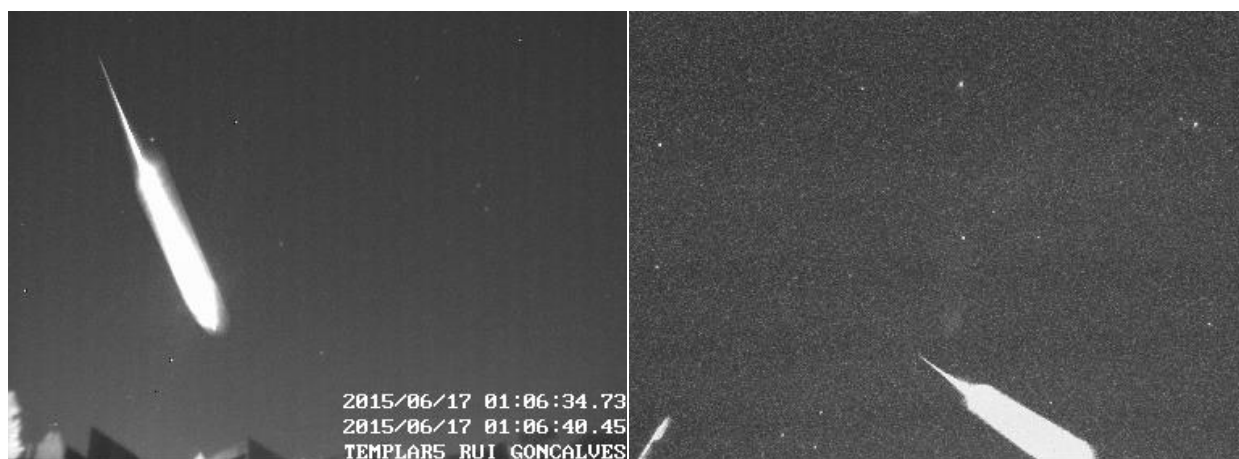


Figura 1 – Um brilhante meteoro simultaneamente registado nos sistemas TEMPLAR5 (esquerda) e CAB1 (direita), na madrugada do dia 17 de Junho de 2015.

<sup>1</sup> rui.goncalves@ipt.pt

<sup>2</sup> carlos.saraiva@netcabo.pt

<sup>3</sup> ruigmarques48@gmail.com

<sup>4</sup> aatlopes@gmail.com



## A cobertura espacial da PMN

Desde o começo da nossa rede (Fevereiro de 2008), o total de registos já ascende a mais de 250.000 meteoros. A vantagem de termos múltiplos sistemas em contínua observação é que havendo sobreposição dos campos visuais, um meteoro detectado nessas zonas – é registado de perspectivas diferentes (ver fig.1), o que permite determinar efectivamente a sua trajectória atmosférica e os demais parâmetros cinemáticos e dinâmicos do meteoróide. Na PMN o número de registos de meteoros duplos, isto é, um meteoro registado em vários sistemas afastados, é da ordem de 20.000. As áreas atmosféricas cobertas por cada sistema, a 100 km de altitude, estão ilustradas na figura 2. As áreas de sobreposição (mais densas na imagem) são as zonas onde um meteoro a 100 km de altitude será simultaneamente e multiplamente registado pela rede. Acresce a esta cobertura - a sobreposição com a rede Espanhola (SPMN), que consegue uma cobertura significativa do nosso espaço aéreo.

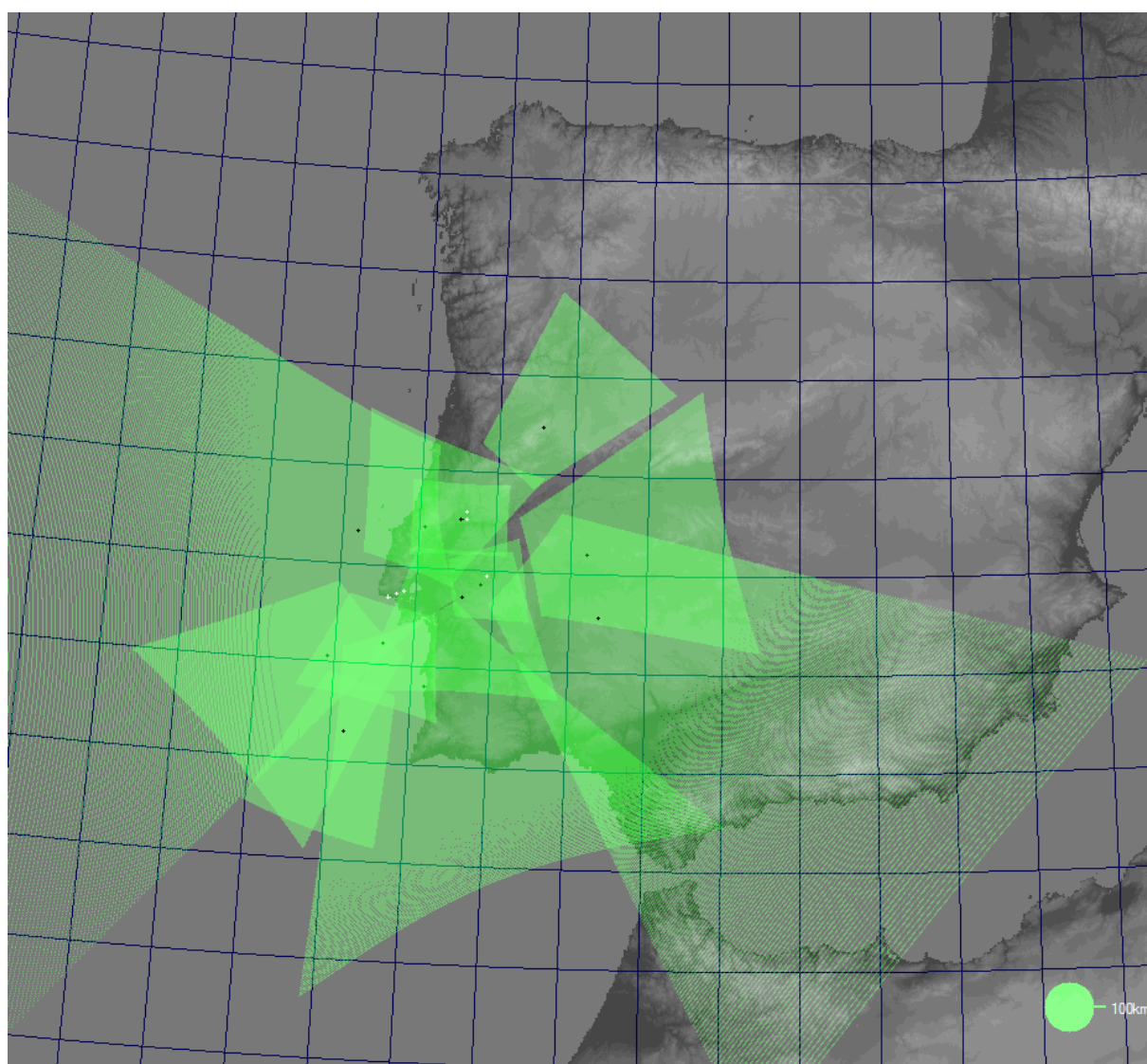


Figura 2 – Cobertura espacial da PMN a 100 km de altitude, (output do *UFOAnalyzer* [2]).

O registo “simples” de meteoros apenas permite obter alguns parâmetros da actividade meteórica, como os fluxos e densidades de partículas no espaço orbital da Terra. A vantagem do registo em rede é que 1+1 é muito mais do que 2!

## A cobertura temporal da PMN

Os nossos sistemas de detecção estão activos praticamente todas as noites, o que permite uma excelente cobertura temporal ao longo do ano, e não somente nas épocas de actividade dos principais enxames de meteoros. Obviamente que esta abrangência temporal é forçosamente limitada pelas condições atmosféricas locais existente em cada estação de registo, e que está directamente relacionada com a época do ano. A figura 3 ilustra a média da cobertura temporal ao longo do ano, para os anos 2008-2015, dos registos dos sistemas TEMPLAR na região de Tomar. Para os restantes sistemas e estações da nossa rede, os resultados são muito semelhantes e revelam que o período do Inverno/Primavera é onde o número de dias (melhor dizendo – noites) é menor. Num sistema consideramos uma noite de registo, quando pelo menos um meteoro é registado. Mas mesmo assim, no mês “mais fraco” – Janeiro, a percentagem de cobertura efectiva é ligeiramente superior a 60 % (cerca de 19 em 31 dias). Nos meses de Verão a cobertura é sempre acima de 80 %, tendo havido meses em alguns anos com 100 % de cobertura, por alguns sistemas.

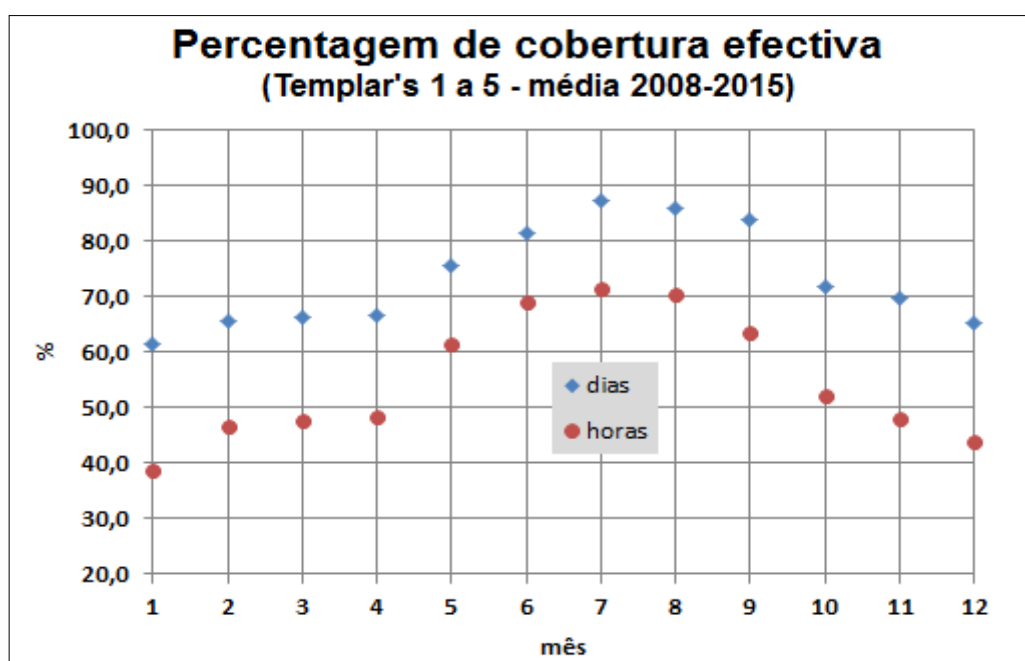


Figura 3 – Média da percentagem de cobertura efectiva dos sistemas TEMPLAR.

Mas ter uma grande percentagem de noites de registo pode não reflectir correctamente a cobertura temporal. Se verificarmos o número de horas em que é efectivamente possível registar meteoros (mesmo com o campo parcialmente coberto ou com fraca transparência), verificamos que apesar de no período de Inverno o número de horas disponível durante a noite ser maior, essas mesmas noites têm mais períodos de céu encoberto. O mínimo é registado em Janeiro, não se atingindo 40 % do tempo total disponível. Já no período estival, a média anda pelos 70 %, mesmo com noites muito mais breves.

## Os meteoros ao longo do ano

O número de meteoros varia de noite para noite ao longo do ano. Depende da época do ano e também da localização do observador. Para conhecer correctamente essa distribuição é pois necessário observar/monitorizar essa actividade ao longo do ano, e proceder à sua correcção pelo tempo efectivo de observação.

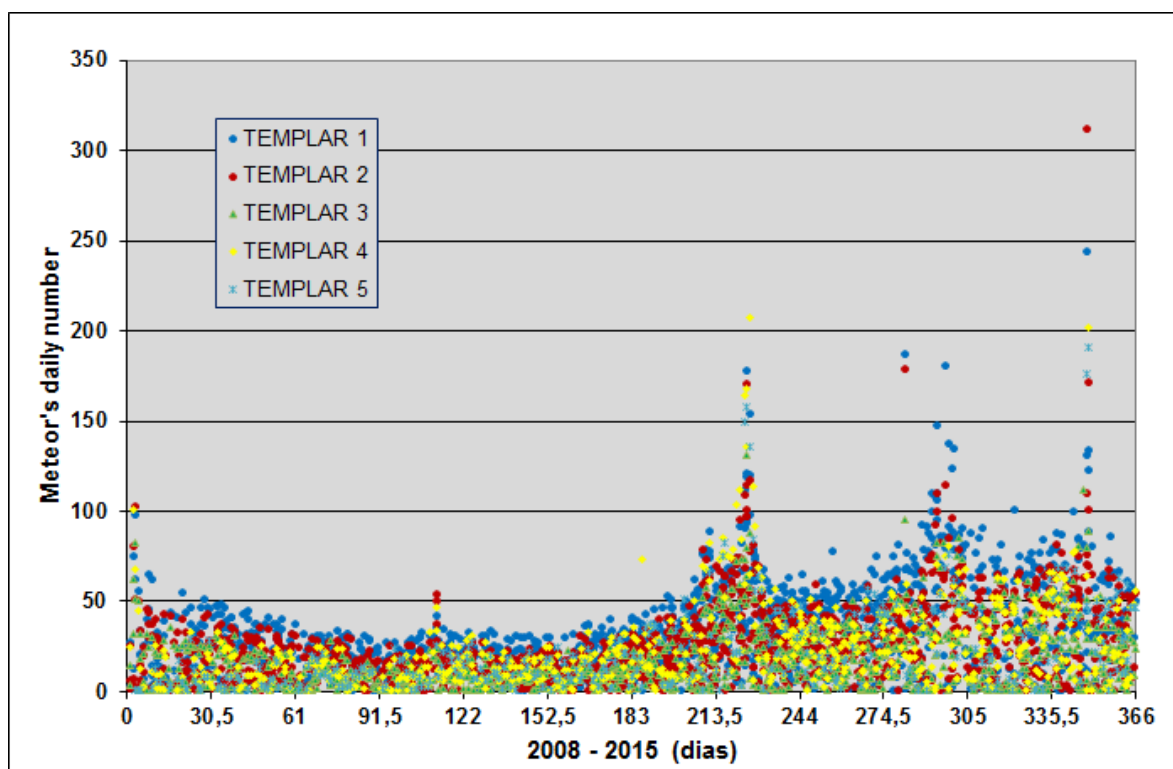


Figura 4 – Quantidade total de registos meteóricos diários pelos sistemas TEMPLAR (anos 2008-2015).

Como os sistemas de registo não têm todos a mesma sensibilidade, o número de meteoros por noite pode simplesmente não representar correctamente o fenómeno. Na figura 4, já notamos que ao longo do ano o número de meteoros por noite vai variando, com um mínimo no final de Março/Abril e um máximo em Outubro, pontuado pela actividade dos enxames mais intensos. Este período de actividade cíclica é assim no hemisfério norte (e inversa no hemisfério sul), devido à inclinação da Terra. É ainda de notar que os diferentes sistemas retratados têm diferentes sensibilidades, e que sobressaem claramente o enxame da Perseidas (a meio de Agosto) e o enxame das Gemínidas (a meio de Dezembro). Este último permite por vezes registos de 250-300 meteoros por sistema e por noite.

Para podermos fazer comparações entre sistemas e ao longo do tempo, temos de corrigir o factor de cobertura temporal, já referido. Uma maneira prática é obter a taxa horária diária, ou seja o número de meteoros registados durante o tempo efectivo de observação. Ao fazê-lo, tal como retratado na figura 5, verificamos, por exemplo, que aparentemente as Gemínidas são em maior número porque são observadas durante mais tempo (as noites são mais longas e transparentes no Inverno), e que afinal as Perseidas têm uma maior taxa horária diária. Assim parece.

Mas esta constatação peca ainda e necessitamos de verificar efectivamente a proveniência dos meteoros. Sabendo à partida quais os enxames activos em certa data, podemos considerar todos os demais meteoros, não atribuídos a qualquer enxame, como esporádicos (SPO). Estes SPO representam a maioria (cerca de 2/3) do número total de meteoros observados. Obviamente que no seio destes SPO todos, alguns pequenos enxames podem ainda existir por determinar, mas apesar disso, a normalização dos demais enxames pelo número de SPO dá-nos uma melhor representação da actividade meteórica ao longo do tempo, como ilustrado na figura 6.

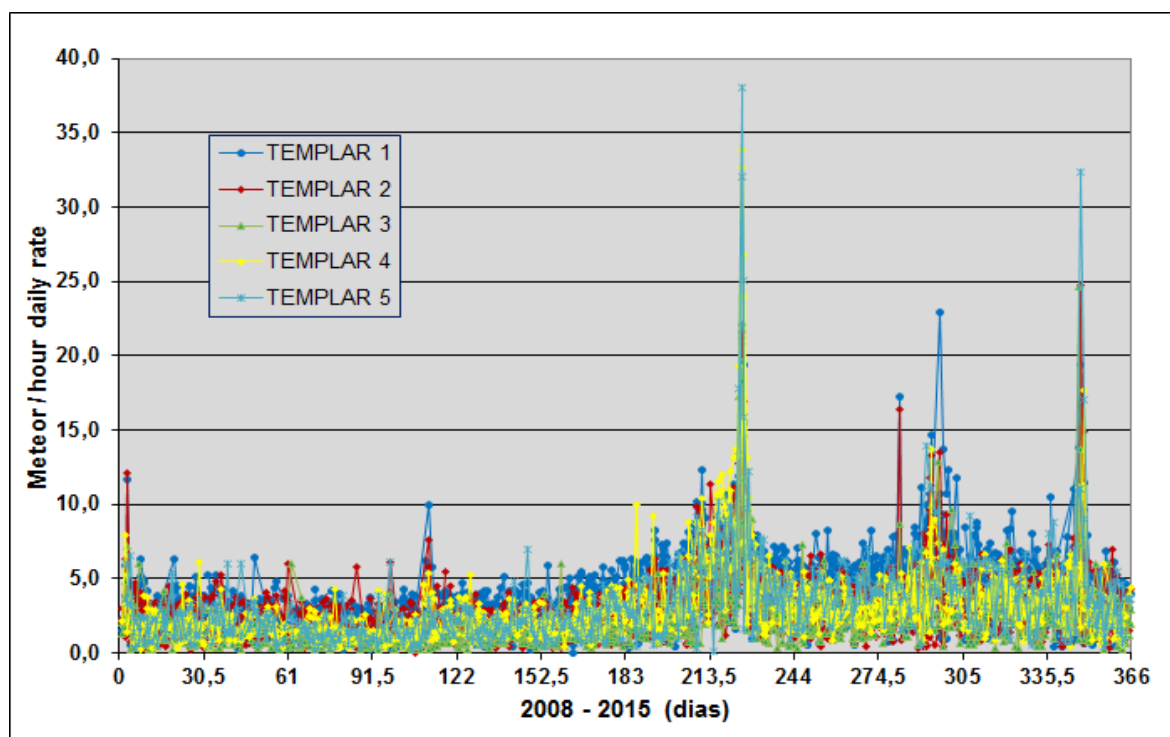


Figura 5 – Taxa horária diária registada pelos sistemas TEMPLAR (anos 2008-2015).

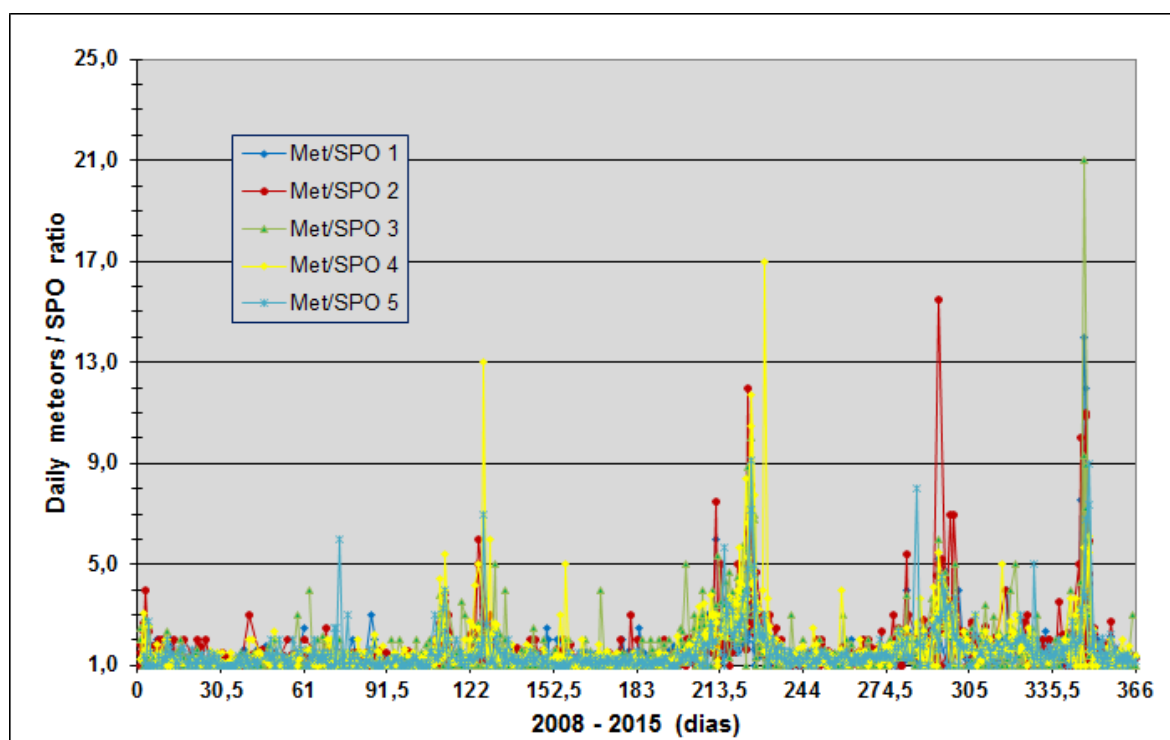


Figura 6 – Razão do número total de meteoros pelos meteoros esporádicos, registada pelos sistemas TEMPLAR (anos 2008-2015).

A análise da proveniência dos meteoros registados (o enxame a que pertencem) é efectuada em tempo real pelo *software* de registo *MetRec*. Os dados geométricos e cinemáticos do meteoro são comparados com as características dos enxames activos no período de observação. Actualmente o *MetRec* faz a medição minuto a minuto da magnitude limite estelar, o que permite obter valores do



fluxo meteóricos de cada enxame activo e dos SPO, em cada sistema de registo. A figura 7 representa o fluxo meteórico de partículas e do ZHR (taxa horária zenital) no período de actividade do enxame das Perseidas no ano de 2015. Os dados foram recolhidos pela rede IMO-Video Meteor Network [3] que durante este período teve em funcionamento cerca de 85 sistemas (12 dos quais da nossa PMN) registando 40 718 Perseidas.

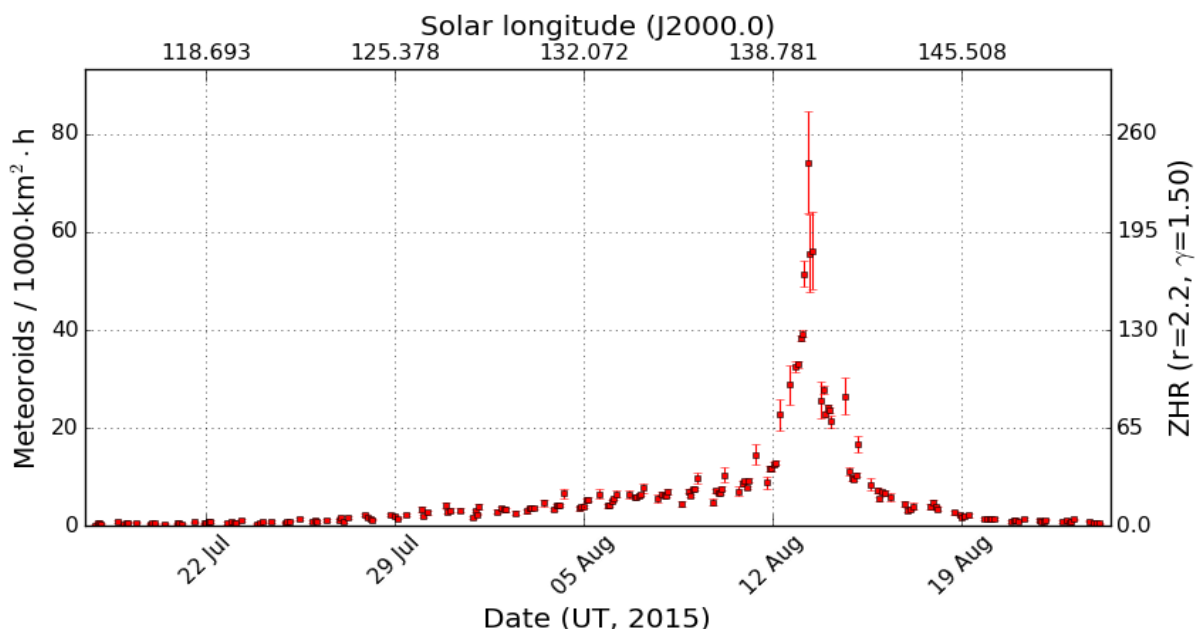


Figura 7 – ZHR e fluxo meteórico do enxame das Perseidas em 2015, registado pela rede IMO-video.

As imagens abaixo representam a soma dos registos individuais ao longo das noites de máxima actividade do enxame das Perseidas, no ano de 2008 (pelo sistema TEMPLAR1) e no ano de 2009 (pelo sistema TEMPLAR2).

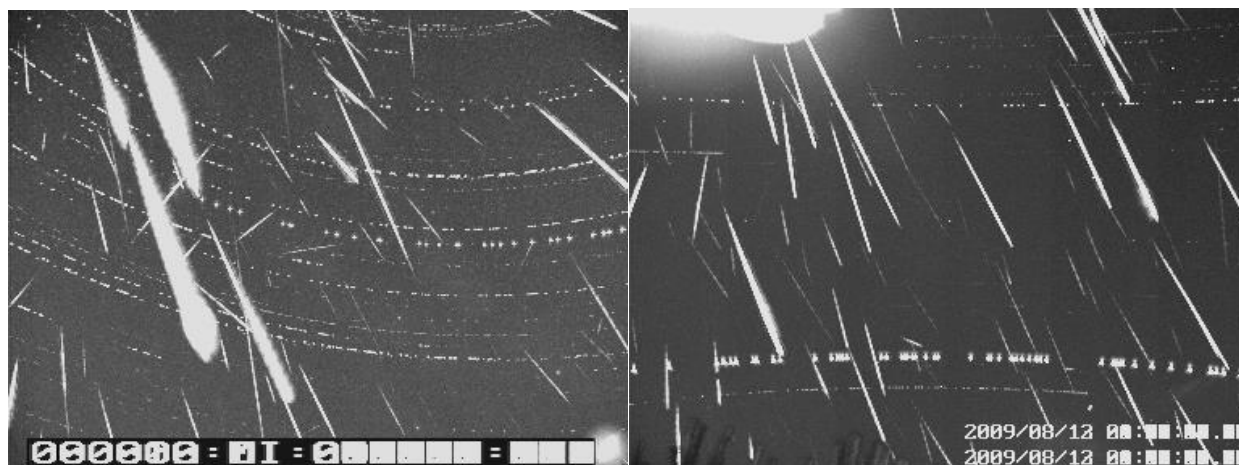


Figura 8 – Pico do enxame das Perseidas 2008 (TEMPLAR1) (esq.) e 2009 (TEMPLAR2) (dir.).

- [1] MetRec - <http://www.metrec.org/>
- [2] UFO – SonotaCo - [http://sonotaco.com/e\\_index.html](http://sonotaco.com/e_index.html)
- [3] IMO video - <http://www.imonet.org/reports/201508.pdf>
- [4] FB PMN - <https://www.facebook.com/groups/656819951153819/?fref=ts>

# HISTÓRIA DA ASTROFOTOGRAFIA: IMAGENS QUE MUDARAM A HISTÓRIA DA ASTRONOMIA

PEDRO RÉ

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

## PRIMEIRAS FOTOGRAFIAS LUNARES

A primeira imagem fotográfica do nosso satélite é atribuída a Louis Jacques Mandé Daguerre (1787-1851) inventor do daguerreótipo<sup>5</sup>. L. Daguerre obteve em 1839 uma imagem da Lua que, apesar do longo tempo de exposição, apenas revelou uma mancha difusa. Em 23 de Março de 1840, John William Draper (1811-1882) obtém no seu observatório de Nova York, com vinte minutos de exposição, um daguerreótipo da Lua. Nas semanas seguintes regista diversas imagens da Lua com 2,5 e 3 cm de diâmetro e trinta minutos de exposição, recorrendo ao uso de um telescópio reflector com 13 cm de abertura. Infelizmente estes daguerreótipos não foram conservados até aos nossos dias. A fraca sensibilidade das placas, aliada à luminosidade reduzida da Lua, implicavam o uso de mecanismos de relojoaria sofisticados que Draper não possuía.

O observatório de Harvard, entre os anos de 1849 e 1851, realiza uma série de fotografias da Lua sob a direcção de John William Whipple (1822-1891) e William Cranch Bond (1789-1859) (Figura 1).

A partir de 1852, encorajado pelo exemplo de Whipple e Bond, o astrónomo amador inglês Warren de La Rue (1815-1889) obtém numerosas fotografias da Lua granjeando uma enorme reputação no meio científico da época. Em 1855 publica em Nova York um conjunto de fotografias de diversas fases da Lua intitulado "*A Series of Twelve Photographs of the Moon*". Após ter sido nomeado membro da Academia Real de Londres e da Academia de Ciências de Paris, W. De La Rue é enviado a Espanha para fotografar o eclipse total do Sol que ocorreu em 1860<sup>6</sup>.

Lewis Morris Rutherfurd (1816-1892), astrónomo amador americano, realiza a partir de 1856 numerosas fotografias da Lua com elevada qualidade (Figura 2). Estes primeiros trabalhos fotográficos são difundidos pelos Estados Unidos da América e pela Europa fora do meio científico: "carte de visite", ampliações e portfolios bem como estereoscópias (Figura 3) (a partir de 1858)<sup>7</sup>.

François Arago (1786-1853), director do observatório de Paris e secretário da Academia das Ciências foi um dos primeiros astrónomos a compreender que a fotografia astronómica seria adoptada rapidamente por todos os observatórios. Na sessão da Academia das Ciências de 9 de Janeiro de 1839 e mais tarde em 3 de Julho do mesmo ano, diante da câmara de deputados, refere:

---

<sup>5</sup> O processo do daguerreótipo foi introduzido em 1839 por L. Daguerre na continuação dos trabalhos que levou a cabo em colaboração com Nicéphore Niépce (1765-1836). O daguerreótipo consiste numa placa de cobre revestida por uma camada de prata que é tornada sensível à luz pelo contacto com vapores de iodo. A imagem é revelada com vapores de mercúrio. Conforme a incidência da luz na placa, a imagem surge negativa ou positiva.

<sup>6</sup> Warren De la Rue e Angelo Secchi fotografam pela primeira vez as proeminências e a coroa solar durante o eclipse de 18 de Julho de 1860 em Espanha. Estas imagens registaram claramente a coroa solar e as proeminências provando que estas eram de origem solar e não lunar como se pensava na época.

<sup>7</sup> As estereoscópias correspondem a duas fotografias do mesmo objecto. Representam o objecto como o observador o veria olhando alternadamente com o olho direito e com o esquerdo. Colocadas num visor estereoscópico, reúnem-se sobre a retina numa única imagem, dando uma sensação de relevo e de profundidade.

*“(...) La photographie est posée comme un instrument d’avenir dans les deux principales branches de l’astronomie, de domaine de l’observation et celui du calcul; non seulement il est permis d’espérer qu’on pourra faire des cartes photographiques de notre satellite afin d’exécuter en quelques secondes (...) un des travaux plus longs, les plus minutieux, les plus délicats de l’astronomie”.*



Figura 1- Daguerreótipo da Lua obtido em 26 de Fevereiro de 1852 por John William Whipple. Observatório de Harvard.



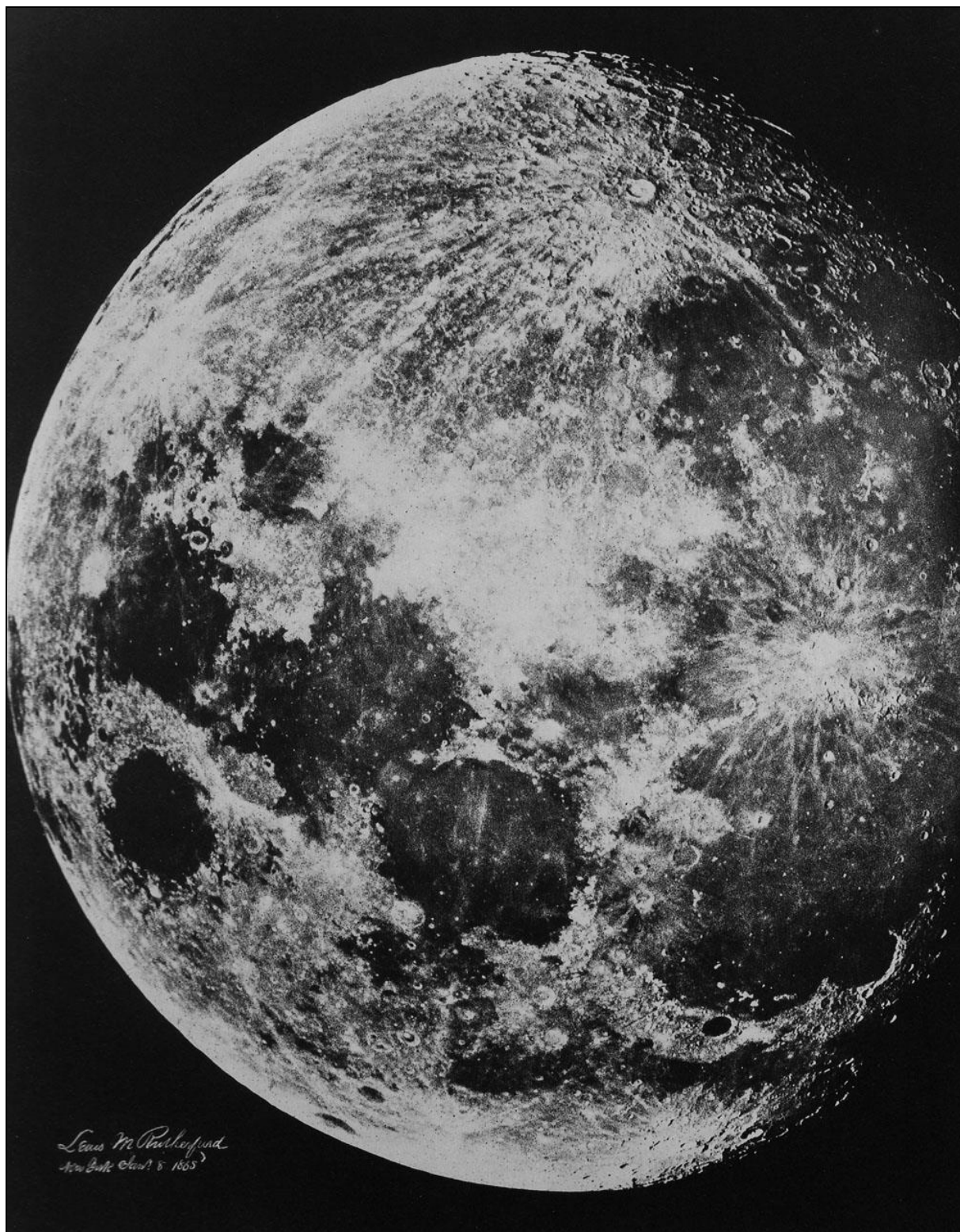


Figura 2- Fotografia da Lua obtida por Lewis Morris Rutherford em 1865. Prova em papel albuminado obtida a partir de um negativo em vidro (Colódio húmido).

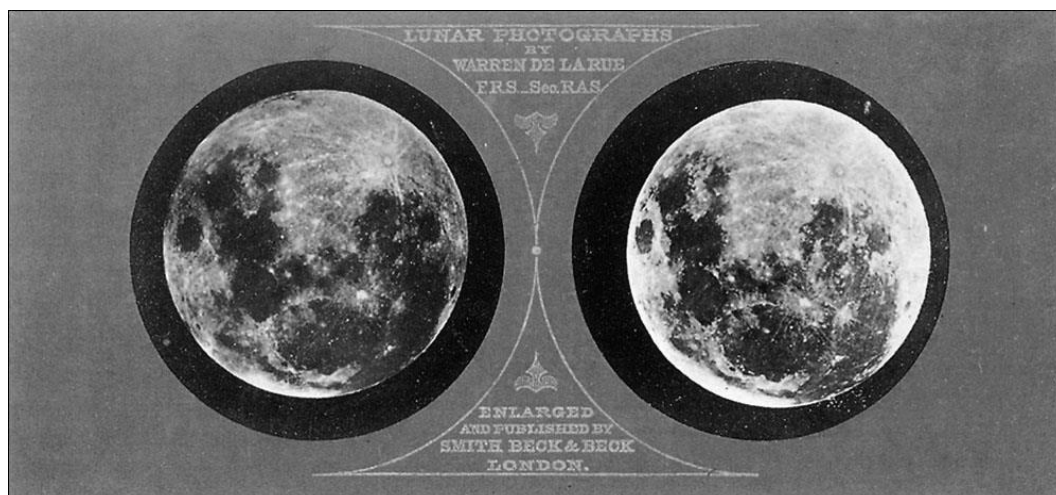


Figura 3- Vista estereoscópica da Lua. Warren de La Rue, 1869. Provas sobre papel albuminado.

Sublinha ainda:

*“Le physicien pourra procéder, désormais, par voies d'intensité absolues: il comparera les lumières par leurs effets. S'il y trouve de l'utilité, le même tableau lui donnera les empreintes des rayons du Soleil, des rayons trois cent mille fois plus faibles de la Lune, des rayons des étoiles”.*

O observatório de Lick (Mount Hamilton) sob a direcção de Edward Singleton Holden (1846-1914) inicia a publicação de um atlas lunar em 1896 tendo como base fotografias obtidas com a luneta de 91 cm de abertura. A fraca qualidade das imagens obtidas por Holden fez com que este projecto fosse abandonado.

William Pickering (1858-1938) publica em 1903 um Atlas (*Photographic Atlas of the Moon*) que continha diversas reproduções, permitindo o estudo do relevo lunar em cinco fases distintas de iluminação. Tratava-se de um atlas popular com imagens de fraca qualidade.

Em França, o observatório de Paris realiza numerosas fotografias lunares entre os anos de 1894 e 1909. Menos de 60 anos após o discurso de F. Arago perante a Academia, Moritz Loewy (1833-1907) e Pierre-Henri Puiseux (1855-1928), assistidos por Charles Le Morvan, iniciam um extenso trabalho fotográfico (ca. 14 anos) que culminará no primeiro Atlas fotográfico do nosso satélite. Este Atlas foi utilizado até 1960, ano em que as imagens obtidas por sondas espaciais o tornam obsoleto.

Os dois astrónomos franceses obtêm cerca de 6000 fotografias repartidas por cerca de 500 noites de observação. Uma grande parte destas fotografias são destruídas por não terem a qualidade necessária para a realização do Atlas. Actualmente são conservadas na biblioteca do observatório de Paris cerca de 2000 chapas de vidro (gelatinobrometos) com 18x24 cm (Figura 4, Figura 5).

O instrumento utilizado foi a grande equatorial coudé do observatório de Paris. Este telescópio foi construído em 1891 e pesava cerca de 16 toneladas. Graças a um sistema de espelhos, o observador podia permanecer imóvel junto à ocular. A luneta tinha uma objectiva com 60 cm de abertura e uma distância focal de 18 m (F/30). Além de uma objectiva visual a luneta possuía também uma objectiva fotográfica, ambas construídas nas oficinas do observatório de Paris por M.M. Henry. A montagem equatorial foi construída pela “Maison Gauthier” (Figura 6). Alguns observatórios em França instalaram lunetas coudé idênticas: Lyon (1887), Alger et Besançon (1890) e Nice (1892).



Uma particularidade interessante desta luneta era ao facto de se poder adaptar facilmente no plano focal um chassis fotográfico (Figura 6). Este chassis podia movimentar-se por intermédio de um mecanismo de relojoaria que permitia efectuar correcções durante as exposições (sobretudo em Declinação).

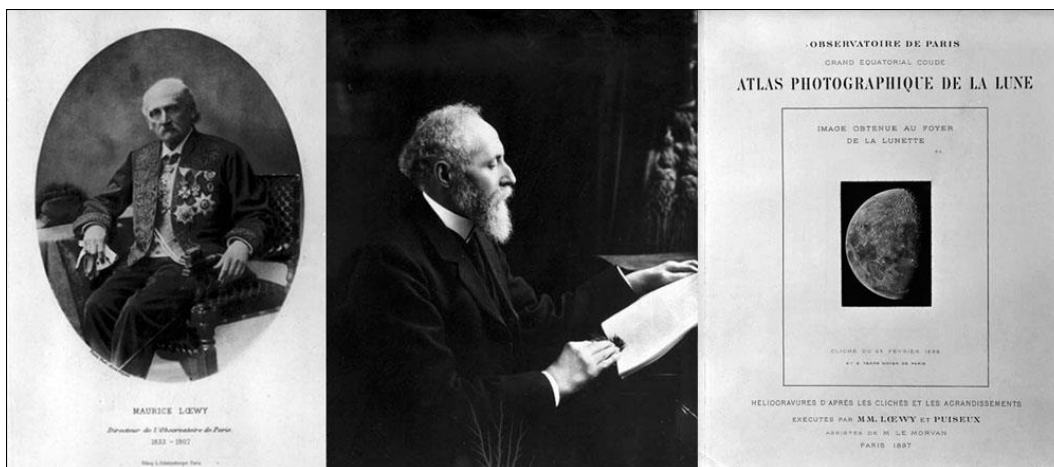


Figura 4- Moritz Loewy (1833-1907) (esquerda) e Pierre-Henri Puitsux (1855-1928) (centro). *Atlas photographique de la lune, héliogravures*, Paris, 1896-1910, Collections de l'Observatoire de Paris (direita).

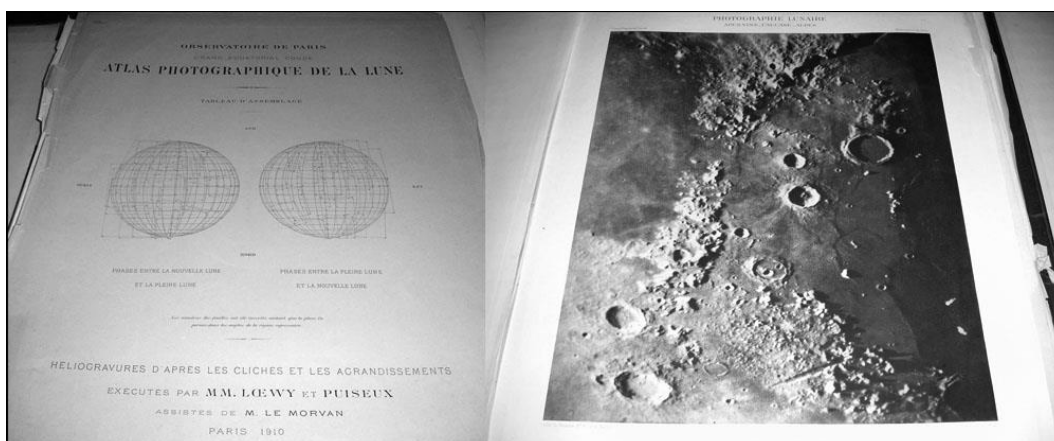


Figura 5- *Atlas photographique de la lune, héliogravures*, Paris, 1896-1910. Exemplar existente na biblioteca do Observatório Astronómico de Lisboa (OAL).

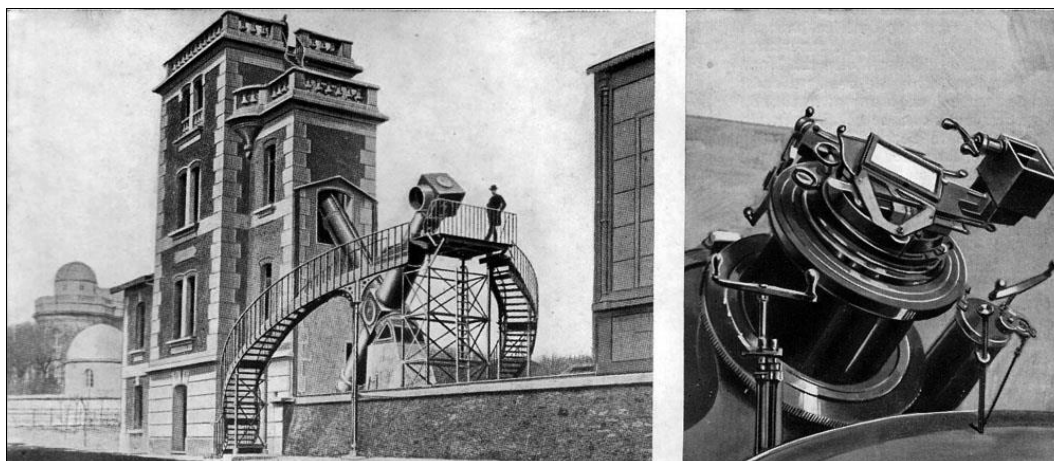


Figura 6- Equatorial coudé do observatório de Paris: aspecto geral (esquerda); chassis fotográfico (direita).

## PRIMEIRAS FOTOGRAFIAS ESTELARES E SOLARES

A primeira imagem fotográfica (daguerreótipo) de uma estrela foi obtida na noite de 16 de Julho de 1850. John Adams Whipple (1822-1891) que se encontrava a trabalhar sob a orientação de William Cranch Bond realizou este primeiro daguerreótipo da estrela Vega com o auxílio do telescópio refractor de 38 cm de abertura do Observatório de Harvard (Figura 7, Figura 8).

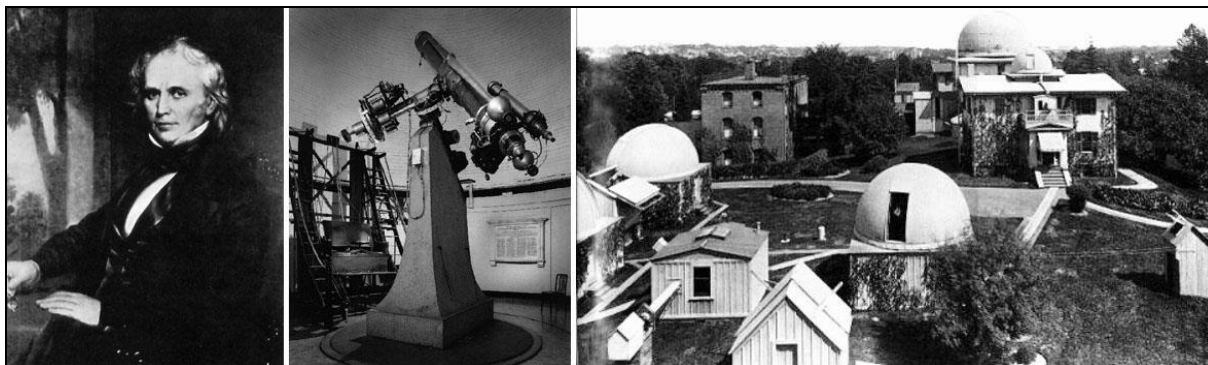


Figura 7- William Cranch Bond (1789-1859), telescópio refractor de 38 cm de abertura e Observatório de Harvard (ca 1900).

Para obter esta imagem foi necessário efectuar uma exposição de 100 s. Com a tecnologia existente na época as estrelas de 1ª magnitude necessitavam de tempos de exposição superiores a 60 s e as estrelas de 2ª magnitude por vezes não eram registadas com sucesso. Nestas primeiras tentativas ficou patente que o mecanismo de relojoaria utilizado na guiagem do refractor era adequado para observações visuais, mas revelava-se insuficientemente preciso para a realização de exposições longas.

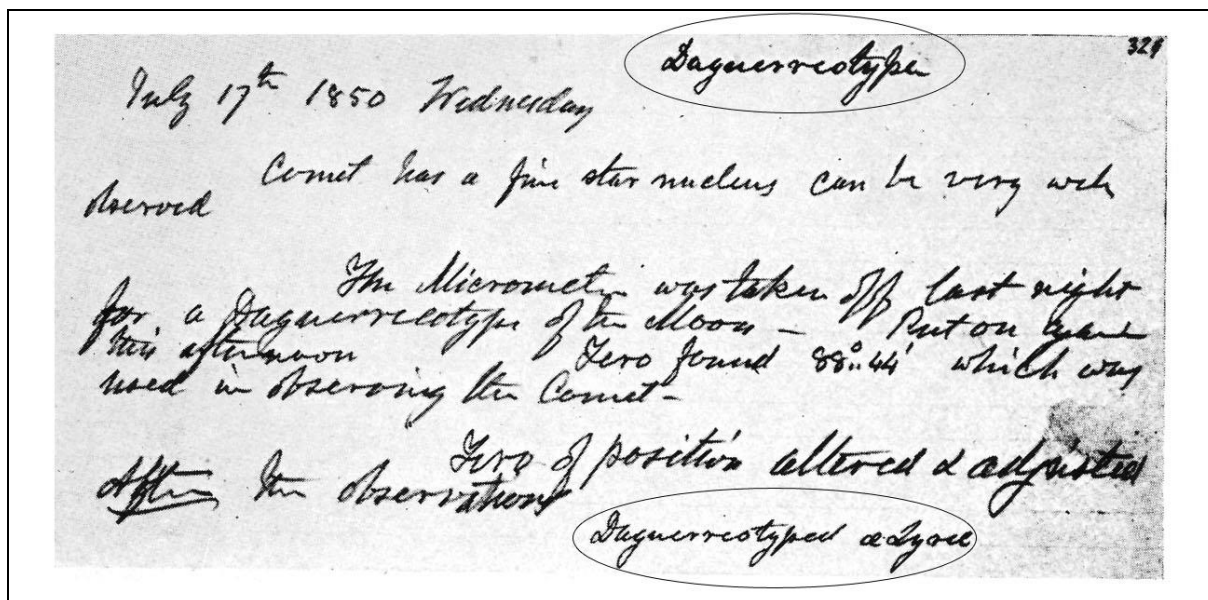


Figura 8- Registo do primeiro daguerreótipo da estrela Vega ( $\alpha$  Lyrae), 16 de Julho de 1850.

Entre 1842 e 1845 foram obtidos diversos daguerreótipos do Sol. O elevado brilho intrínseco do Sol permitia ultrapassar a baixa sensibilidade das chapas utilizadas. Em algumas destas primeiras imagens astronómicas era possível observar o obscurecimento do limbo solar bem como manchas

solares de maiores dimensões. As primeiras tentativas para fotografar um eclipse solar datam de 1842. Foi possível registar as fases parciais do eclipse mas não a fase de totalidade<sup>8</sup>.

John Herschel (1792-1871) propôs pela primeira vez a realização de observações fotográficas do Sol. Com este objectivo a Royal Society de Londres construiu e instalou um fotoheliógrafo no observatório de Kew. Este instrumento idealizado por Warren de la Rue tinha uma abertura de 89 mm e projectava, com o auxílio de uma ocular, uma imagem do Sol com 100 mm de diâmetro. Utilizando este instrumento, o Sol foi fotografado diariamente entre os anos de 1858 e 1872 (Figura 9).

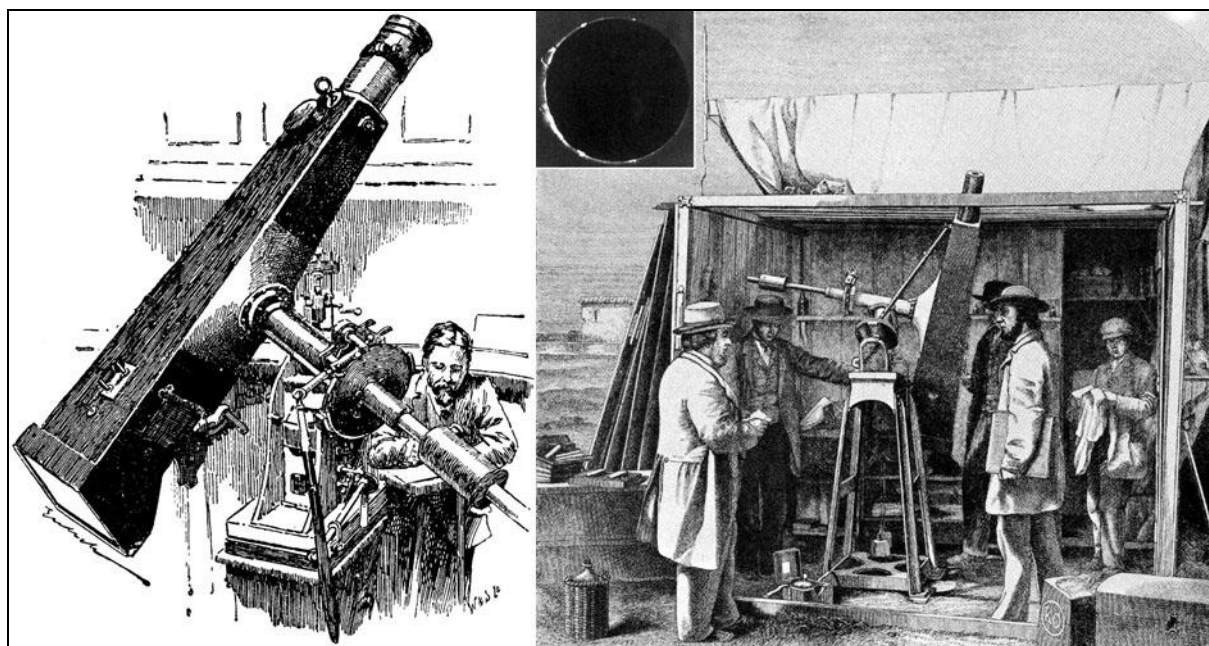


Figura 9- Warren De la Rue e o fotoheliógrafo de Kew (esquerda). Observação do eclipse total do Sol visível em Espanha, em 18 de Julho de 1860 (direita). Primeira imagem fotográfica da coroa solar e proeminências obtida durante o eclipse.

Os registos fotográficos dos trânsitos de Vénus que ocorreram em 1874 e 1882 foram a primeira tentativa de se detectar a paralaxe solar e consequentemente determinar a distância da Terra ao Sol (unidade astronómica). Inúmeras equipas de astrónomos espalhadas por diversos locais do globo observaram e registaram o fenómeno utilizando técnicas diversas (daguerreótipos, placas húmidas e placas secas). De um modo geral, os resultados obtidos não foram satisfatórios devido, sobretudo à dificuldade em cronometrar com rigor os diversos contactos com o disco solar (efeito de “gota” provocado pela atmosfera do planeta) (Figura 10).

<sup>8</sup> As primeiras imagens fotográficas (daguerreótipos) de um eclipse solar total foram obtidas por Berkowski em Königsberg (28 de Julho de 1851). Em 1860 Warren de la Rue e Angelo Secchi fotografam as proeminências e a coroa solar durante o eclipse de 18 de Julho de 1860 em Espanha. Estas imagens registaram claramente a coroa solar e as proeminências ou protuberâncias provando que estas eram de origem solar e não lunar como se pensava na época.

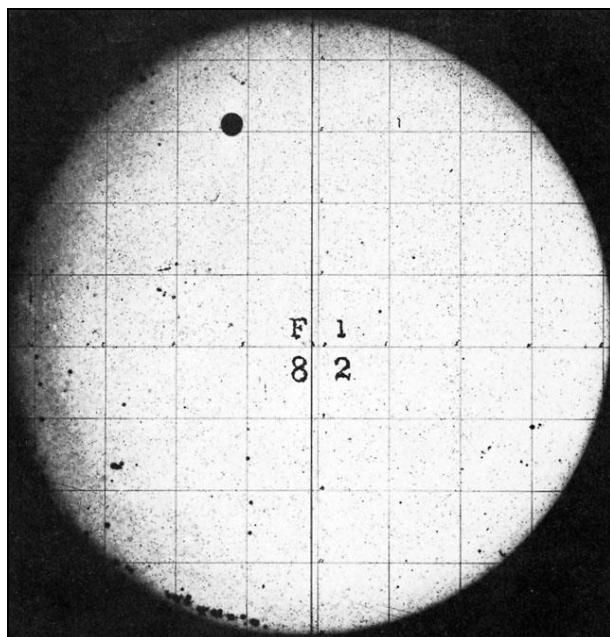


Figura 10- Fotografia do Trânsito de Vénus de 1874 (local desconhecido).

De acordo com os registos (relatórios anuais) efectuados pelo director do observatório de Harvard (W.C. Bond) as primeiras tentativas para registar fotograficamente a superfície solar foram efectuadas em 1848. Nesse relatório pode ler-se:

*"The physical condition of the sun's disc has been attended to whenever the state of the atmosphere has admitted of distinct delineation. Some experiments made with the Daguerreotype and Talbotype processes, for the purpose of obtaining impressions from the image formed by the telescope, have not been attended with complete success. The application of these processes to astronomical purposes is met by a serious difficulty in the variable refraction of the atmosphere. However, we do not despair of ultimate success, when our time and means are adequate to the requisite expenditure"*

O registo seguinte data de 1850:

*"The smaller equatorial has occasionally been used for Daguerreotype experiments; and it will answer a most valuable purpose when placed, as it is intended, in the dome of the new building, where, in connection with the comet-searcher, and the requisite apparatus for photographic operations, it can be used more efficiently than in its present situation"*.

No mesmo relatório é referida pela primeira vez a fotografia estelar com o auxílio do refractor de 38 cm:

*"With the assistance of Mr Whipple, daguerreotypist, we have obtained several impressions of the star Vega ( $\alpha$  Lyrae). We have reason to believe this to be the first successful experiment of the kind ever made, either in this country or abroad. From the facility with which these were executed, with the aid of our great equatorial, we were encouraged to hope that the way is opening for further progress. If it should prove successful when applied to stars of less brilliancy than  $\alpha$  Lyrae, so as to give us correct pictures of double and multiple stars, the advantages would be incalculable"*.

Durante o ano de 1852, Whipple realizou numerosos daguerreótipos da Lua, estrelas e enxames estelares. O seguimento deficiente (movimento sideral) e a baixa sensibilidade das chapas dificultaram seriamente estas primeiras experiências. Após 1852 não são feitas quaisquer referências a registos fotográficos realizados com o refractor de 38 cm.

Com a introdução das chapas húmidas, G. P. Bond retomou, no início de 1857, as tentativas de obter imagens estelares de boa qualidade. Conseguiu, utilizando o referido refractor munido de um novo mecanismo de relojoaria, obter imagens da estrela dupla Mizar ( $\zeta$  UMa) e Alcor (80 UMa) com uma exposição de 80 s. Bond refere pela primeira vez que o processo fotográfico permitia determinar com rigor a posição relativa das estrelas (astrometria). Notou igualmente que a dimensão da imagem registada era directamente proporcional à magnitude da estrela (fotometria estelar) (Figura 11).



Figura 11- Imagens da estrela Mizar e Alcor. Colódio húmido obtido em 8 de Maio de 1857 com o refractor de 38 cm do observatório de Harvard.

G.P. Bond mediu o ângulo de posição e a separação desta estrela dupla tendo obtido resultados consistentes e de grande qualidade. Estes primeiros resultados foram publicados na revista *Astronomische Nachrichten* em 1858 e 1859. Durante o ano de 1860 e de acordo com os registos do observatório, foram obtidos cerca de 70 daguerreótipos e 200 a 300 colódios húmidos da Lua, estrelas e planetas. Foi somente após o aparecimento das chapas secas que a fotografia astronómica foi retomada de um modo sistemático no observatório de Harvard pelos irmãos E.C. Pickering (1846-1919) e W.H. Pickering (1858-1939). O observatório iniciou em 1882 um programa de investigação que conduziu à obtenção de uma das maiores e mais bem conservadas colecções de astrofotografias que contabiliza cerca de 500 000 imagens obtidas entre os anos de 1882 e 1989.

### **PRIMEIRAS FOTOGRAFIAS DE UMA NEBULOSA**

A primeira fotografia de uma nebulosa foi obtida por Henry Draper (1837-1882) em 30 de Setembro de 1880, cerca de 30 anos depois do primeiro daguerreótipo de uma estrela.

Henry Draper, com apenas 13 anos de idade, ajudou o seu pai (John William Draper, 1811-1882) em inúmeros trabalhos fotográficos, nomeadamente na realização de daguerreótipos de imagens microscópicas (1850). Com 17 anos ingressa na Universidade onde estuda medicina. Em 1857 escreve uma tese profusamente ilustrada com daguerreótipos obtidos com o auxílio de um microscópio. Após ter completado a sua tese, Draper com apenas 20 anos, viaja pela Europa e visita o Leviatã de Parsonstown. Foi durante esta deslocação que Henry Draper começa a demonstrar um elevado interesse pelas aplicações fotográficas em astronomia.

A maioria dos astrónomos contemporâneos de Draper não eram tão entusiásticos relativamente às aplicações fotográficas em astronomia. Agnes Clerke, célebre historiadora da astronomia no século XIX escreve em 1885<sup>9</sup> a propósito das imagens fotográficas obtidas por Bond:

*“...slight encouragement was derived from them, either to himself or others”.*

Henry Draper constrói um observatório astronómico em Hastings-on-Hudson equipado com um refractor de 11” (28 cm) e um reflector de 28” (71 cm) montados na mesma equatorial fotográfica. Publicou em 1864 uma extensa monografia sobre a construção de um telescópio reflector de 15,5” (39 cm) que constituiu uma referência essencial para todos os construtores de telescópios da época<sup>10</sup> (Figura 12).

O trânsito de Vénus ocorrido em 1874 constituiu uma excelente oportunidade para se usarem algumas técnicas fotográficas no registo preciso deste importante acontecimento astronómico. Draper, era neste período, professor de fisiologia e director da Faculdade de Medicina de Nova Iorque tendo adquirido uma enorme experiência no registo fotográfico de diversos objectos celestes (Lua sobretudo) bem como no registo de espectros do Sol e das principais estrelas. Por este motivo, foi nomeado responsável pela secção fotográfica da equipa americana destacada para observar o trânsito de Vénus. Apesar dos resultados obtidos não terem sido totalmente satisfatórios, Draper recebeu uma medalha de ouro atribuída pelo Congresso Americano pelo trabalho desenvolvido na preparação das observações fotográficas.

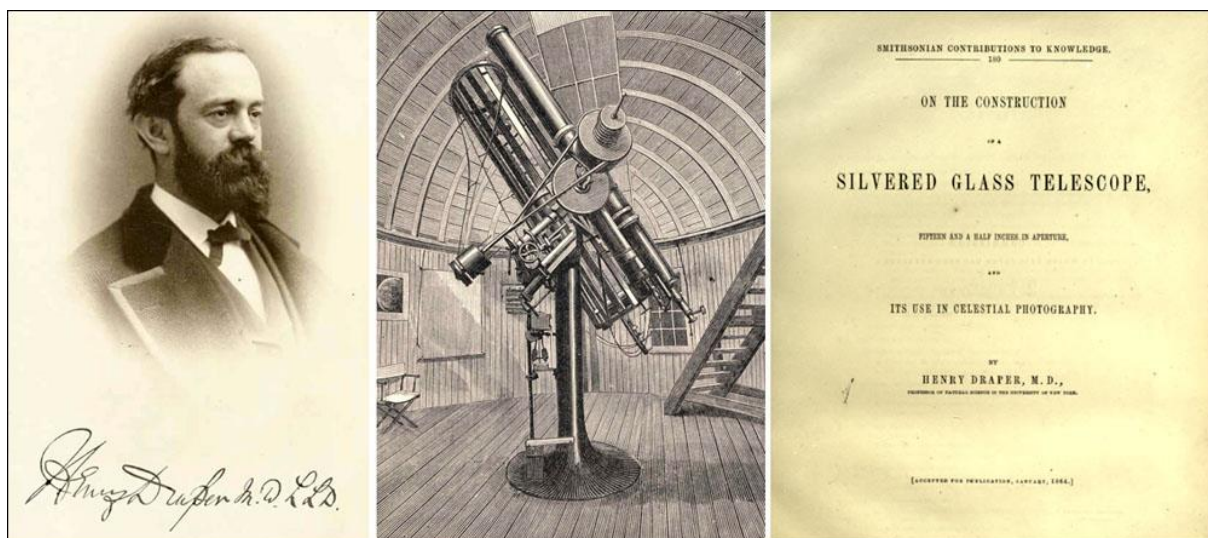


Figura 12- Henry Draper (esquerda), observatório (centro) e monografia sobre a construção de telescópios reflectores (direita).

Após o trânsito de Vénus, a grande maioria das fotografias astronómicas foram realizadas sobretudo por astrónomos amadores<sup>11</sup>. É exactamente neste período que Draper realiza as primeiras imagens de uma nebulosa. A utilização do colódio húmido impedia a realização de exposições longas uma vez que as placas secavam rapidamente. Draper visita William Huggins no seu observatório situado na periferia de Londres e utiliza pela primeira vez placas de gelatino-brometo de placa que tinham a

<sup>9</sup> Clerke, A. (1885). *History of Astronomy in the Nineteenth Century*. A. & C. Black, London.

<sup>10</sup> Draper, H. (1864). On the construction of a silvered glass telescope, fifteen and a half inches in aperture, and its use in celestial photography. *Smithsonian Contributions to Knowledge*.

<sup>11</sup> Lankford, J. (1984). The impact of photography on astronomy. In *The general history of astronomy*, Vol. 4- Astrophysics and twentieth-century astronomy to 1950: Part A.



vantagem se serem secas e mais sensíveis relativamente ao colódio húmido. Com o auxílio destas placas, Draper pode levar a cabo pela primeira vez as longas exposições necessárias para registar de um modo satisfatório imagens de nebulosas.

Realiza assim a primeira fotografia da nebulosa de Orion (M 42) em 30 de Setembro de 1880. Escreve uma breve comunicação que envia para o *American Journal of Science*, onde refere muito poucos dados sobre esta primeira imagem. Draper usou o telescópio refractor de 11" e uma exposição de 50 min. Nesta mesma nota refere a sua intenção de:

*"(...) at an early date to publish a detailed description of the negative".*

Apesar disso, Draper resolve publicar unicamente a imagem e não uma descrição técnica da mesma. As imagens foram impressas em cartão (dimensão aproximada da 15x15 cm) com a seguinte descrição:

*"First photograph of a nebula in Orion. Taken by Professor Henry Draper M.D."* (Figura 13).

Draper nunca mencionou que tipo de emulsão (gelatino-brometo de prata) usou para obter esta primeira imagem apesar de ter referido várias vezes a elevada qualidade das chapas disponibilizadas pela firma Wratten & Wainwright.

O facto de Draper nunca ter descrito de um modo pormenorizado esta primeira imagem pode estar relacionado com o facto de ter obtido pouco tempo depois uma imagem de melhor qualidade da mesma nebulosa com uma exposição de 104 min. Em Março de 1882, Draper efectua uma nova exposição da nebulosa desta vez com 137 min, que revela ainda mais pormenores. Esta imagem foi reproduzida (fotolitografia) por Edward Singleton Holden no final da sua importante monografia sobre a nebulosa de Orion<sup>12</sup>.

A propósito destas imagens Draper escreve a Holden referindo:

*"The exposure of the Orion nebula required was 51 minutes; what do you think of that as a test of my driving clock?"*

---

<sup>12</sup>Holden, E.S. (1882). Monograph of the Central parts of the Nebula of Orion. Washington Astronomical Observations for 1878 Appendix I.



Figura 13- Primeira fotografia de uma nebulosa (M 42) obtida por Henry Draper em 30 de Setembro de 1880.

A exposição de 137 min (Figura 14) é descrita numa adenda à monografia de Holden:

*"ADDENDUM. PHOTOGRAPHIC RESULTS OF DR. HENRY DRAPER. The first photograph of the nebula of Orion was made by Dr. HENRY DRAPER in September, 1880, and the unavoidable delay which has occurred in printing- the present memoir enables me to include an account of the astonishing results which he has attained. A wood-cut which I had prepared from his first photograph was found to be so unsatisfactory that Dr. DRAPER most generously offered to supply the necessary photolithographic reproductions of his last negative (taken March 14, 1882) to accompany the brief account I had*

*prepared. (...) I requested Dr. DRAPER to prepare some account of his work to be presented with it, and I print below a memorandum which he has kindly furnished.*

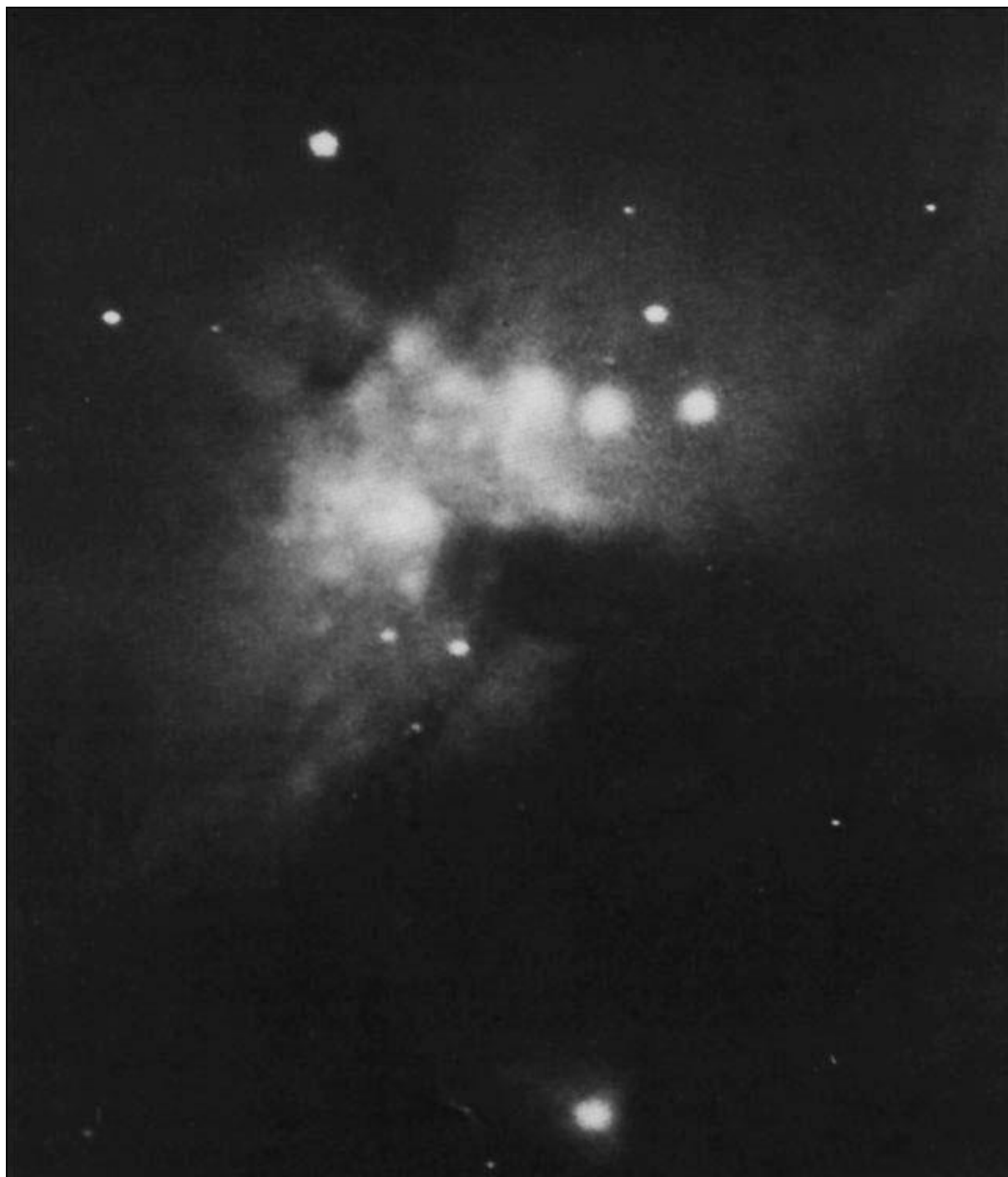


Figura 14- Fotografia da nebulosa de Orion (Henry Draper, 137 min de exposição, refractor Clark 11").

"MEMORANDUM TO ACCOMPANY THE PHOTOGRAPH OF THE NEBULA IN ORION SENT TO PROFESSOR HOLDEN FOR HIS MEMOIR. BY HENRY DRAPER, M. D. As far as I know, no photograph of any nebula has been taken except in my observatory. The first photograph of the nebula in Orion was made on September 30, 1880, with my CLARK telescope of 11 inches aperture and an exposure of 51 minutes. It comprised the brightest parts of the region in the neighborhood of the trapezium and showed the condensed masses well. In March, 1881, a number of photographs of this object were taken, the best being on March 11 with an exposure of 104 minutes. By comparison with the former picture this made a marked advance, and minute stars down to the 14.7 magnitude of POGSON'S scale were shown. An account of it was read before the French Academy of Sciences and printed in the Comptes Rendus, April 18, 1881. On March 14, 1882, the negative was made from which the photolithographic enlargement in this memoir was produced. The instrument used was the CLARK telescope of 11 inches aperture mounted on the equatorial stand and driven by the clock which I had constructed. The exposure was from 7h 08m to 9h 25; that is, 137 minutes: gelatino-bromide plates were employed. The night was clear but cold and windy. The mean temperature was 27 Fahrenheit; the wind NNW and in gusts, the strongest pressure being 5 pounds per square foot about nine o'clock; the whole travel of the wind during the exposure was 35 miles. The variation in the force of the wind is one reason why the stars show some ellipticity under this magnifying power; the gusts of course displaced the telescope somewhat, though the mounting is firm and the clock-work strong. In the photograph the larger stars are much overexposed, the proper time to make a good picture of the trapezium being about 2 minutes. The twinkling of these stars is therefore recorded on the sensitive plate, and gives to them an excess of size. If a photograph should be taken on a steady night the stars of the trapezium would be easily separated, and in the original negative of this picture, in a strong light, the separation can be seen. The variation in size of the stellar images gives an idea of the relative magnitude of the stars, though that estimate requires correction for the color of the stars. It must be remembered that no one enlargement can do justice to the original negative; various exposures, various intensities of light, and various points of view are necessary for a complete examination. During the month of March, 1882, I also made four photographs of the spectrum of the nebula in Orion, which is described in the number of the American Journal of Science for May, 1882. Two of these were made with the slit spectroscope that I usually employ for photographing spectra of the stars and they show two lines in the ultra-violet plainly, beside the traces of two others. The first-mentioned two are hydrogen  $\gamma$ ,  $\lambda$  4340, and hydrogen 6,  $\lambda$  4101; the others are too faint to give a good estimate of the wave length. The other spectrum photographs, taken without a slit, show that two of the condensed masses preceding the trapezium give a continuous spectrum, and, therefore, contain either gas under pressure, or liquid, or solid matter. 271 MADISON AVENUE, New York, April 29, 1882".

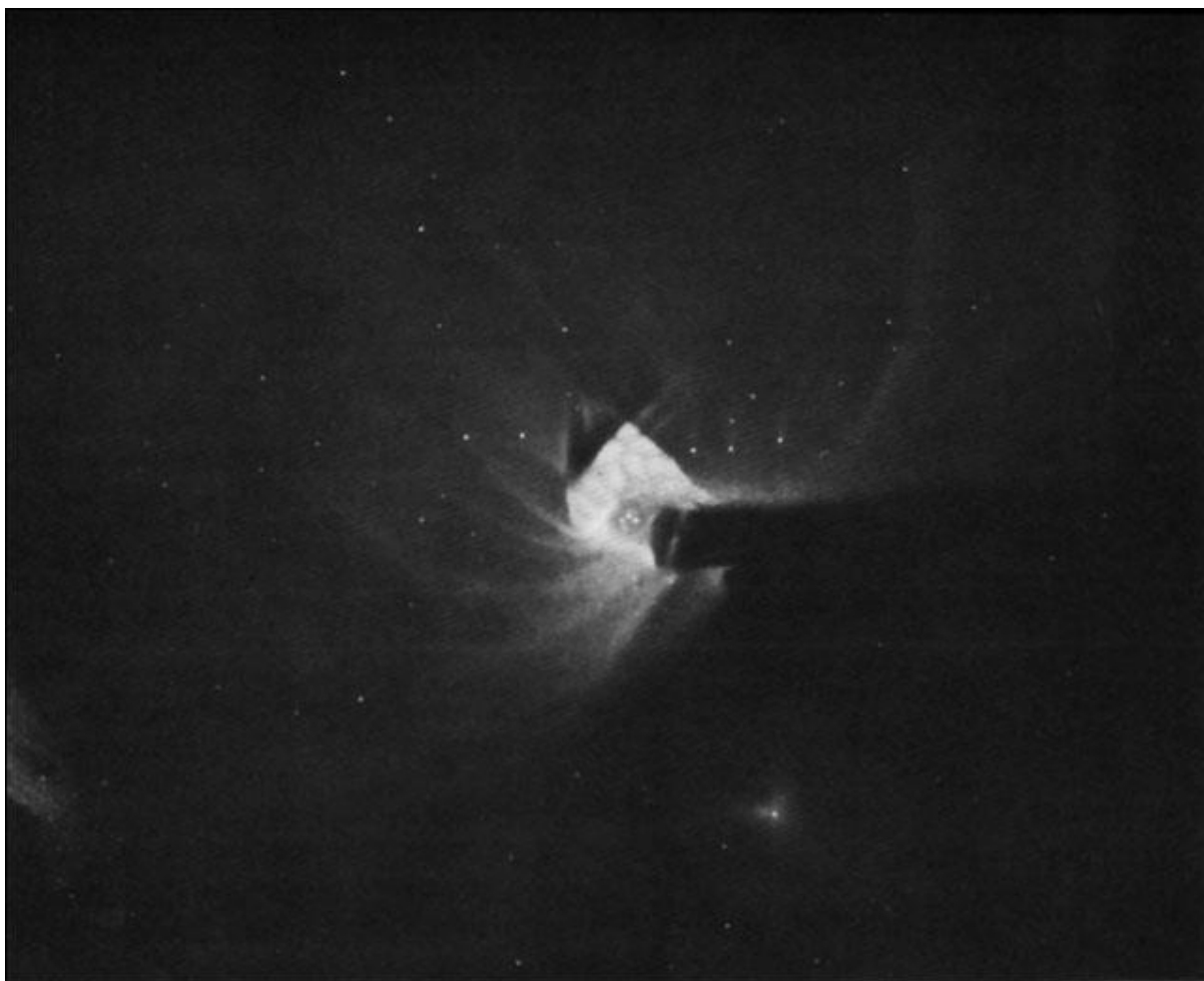


Figura 15- Desenho da nebulosa de Orion efectuado por G.P. Bond com o refractor de 38 cm do observatório de Harvard

Holden na referida monografia, descreve de um modo pormenorizado a maioria das observações (sobretudo visuais) efectuadas até 1882 da nebulosa de Orion. Subsistia a dúvida se a nebulosa apresentava alterações na sua forma e brilho. Holden refere no final da sua monografia:

*“Although it is still too soon to give a final discussion to the photographic results attained by Dr. Draper, I cannot refrain from pointing out some of the conclusions which may be drawn from this marvellously perfect representation of the nebula. If we compare the engraving of G.P. Bond visual observation (Figura6) we shall be able best to appreciate the important advance which has been made. BOND’S engraving is the most accurate drawing that has been made, even as a map, and as a picture it is decidedly the best representation of a single celestial object which we have by the old methods. The work of observing alone extended over years and consumed many precious hours. I have before said how much labor was spent upon the mechanical execution of the steel plate; scores of revises were criticized and read. Dr. Draper’s negative was made in 137 minutes, and for nearly every purpose is incomparably better than the other. The color and tint of the nebula, which is wonderfully preserved in BOND’S engraving, is lost in the photograph; and yet, if the latter is held up between the eye and a window, the pictorial effect is most striking. The amount of preparation for the two works is not to be estimated by years or hours, but it may be left out of account in a comparison. It required the best efforts of each observer to attain the results.”*



Draper pretendia realizar fotografias com um tempo de exposição superior. Com esta finalidade projecta uma montagem equatorial que lhe permitia atingir 6 h de exposição sem ter que inverter a posição do telescópio. Numa carta que escreve a E.S. Holdem refere:

*"I think we are by no means at the end of what can be done. If I can stand 6 h exposure in midwinter, another step forward will result".*

Infelizmente Draper morre em 1882 sem ter podido completar a nova montagem. A sua viúva estabelece em 1886 o "Henry Draper Memorial". O refractor de 11 polegadas (279 mm) é enviado para o observatório de Harvard onde é utilizado para obter numerosas fotografias de espectros estelares.

As imagens obtidas em 1883 por Andrew Ainslie Common (1841-1903) e por Isaac Roberts (1829-1904) em 1886 revelam um número muito mais elevado de pormenores na nebulosa de Orion (Figura 16). Common utilizou um telescópio reflector de 91 cm de abertura e uma exposição de 60 min<sup>13</sup>. Roberts recorreu a um reflector de 50 cm e a uma exposição de 90 min.

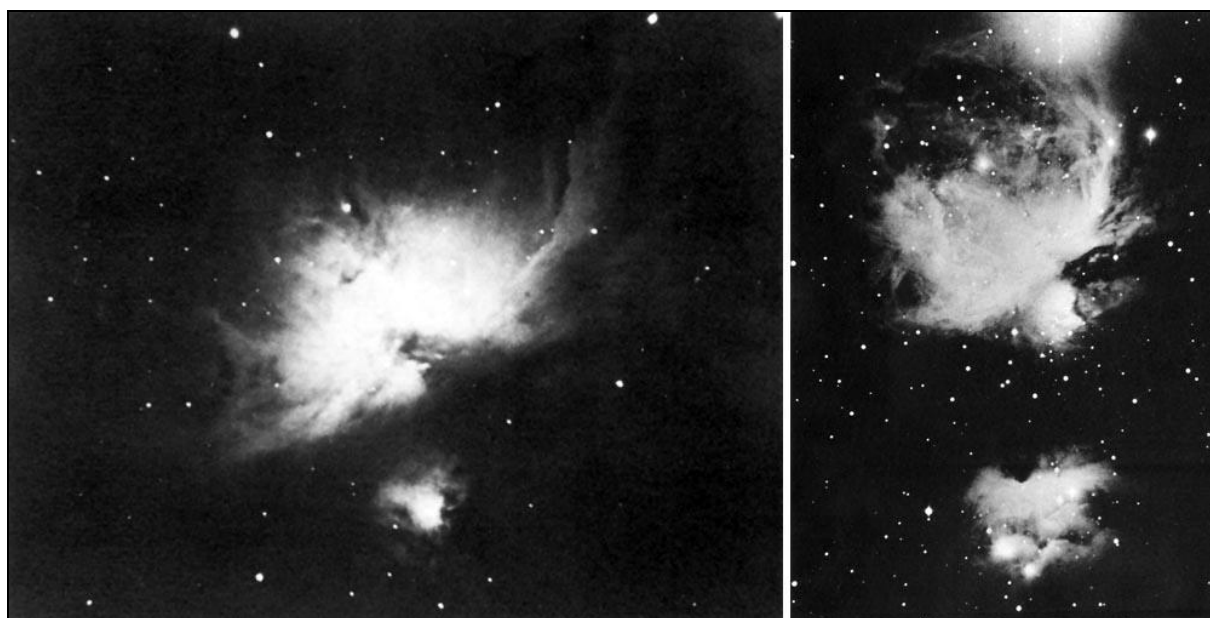


Figura 16- Fotografias de nebulosa de Orion obtidas por A.A. Common (esquerda) e por I. Roberts (direita).

A fotografia de Common foi incluída no frontispício da obra de A. Clerck sobre a história da astronomia no século XIX. A propósito dos avanços proporcionados pela astrofotografia, esta autora menciona:

*"Photography may thereby be said to have definitively assumed the office of historiographer to the nebulae; since this one impression embodies a mass of facts hardly to be compassed by months of labor with the pencil, and affords record of stupendous object it delineates, which must prove invaluable to the students of its future condition".*

---

<sup>13</sup> As fotografias de Common mostram pela primeira vez mais pormenores e estrelas do que era possível observar visualmente com o mesmo instrumento.

## Bibliografia

- Bajac, Q., A. de G. Saint-Cyr (2000). *Dans le champ des étoiles. Les photographes et le ciel (1850-2000)*. Éditions de la Réunion des musées nationaux.
- Barnard, E.E. (1905). The Bruce photographic telescope of the Yerkes Observatory. *Astrophysical Journal*, 21: 35-48
- Barnard, E.E. (1913). Photographs of the Milky Way and of Comets. *Publications of Lick Observatory*, vol. 11.
- Barnard, E.E. et al. (1927). *A Photographic Atlas of Selected Regions of the Milky Way*. Carnegie Institution of Washington.
- Batten, A.H. (1988). *Resolute and undertaking characters: The lives of Wilhelm and Otto Struve*. D. Reidel Publishing Company.
- Baume Pluvial, A. de la (1908). Jules César Janssen. *The Astrophysical Journal, an international review of spectroscopy and astronomical physics*. Vol 28 (2): 89-99.
- Becker, B. J. (1993). *Eclecticism, Opportunism, and the Evolution of a New Research Agenda: William and Margaret Huggins and the Origins of Astrophysics*. PhD dissertation. The Johns Hopkins University.
- Brothers, A. (1866). Celestial photography. *Astronomical Register*, 4 (25): 34-38, 62-66.
- Campbell, W.W. (1900). James Edward Keeler. *The Astrophysical Journal*, Volume 12 (4): 239-253.
- Gingerich, O. (ed.) (1984). *The general History of Astronomy. Astrophysics and twentieth-century astronomy to 1950*. Cambridge University Press.
- Hardie, R. (1964). The early life of E.E. Barnard (Part I). *Astronomical Society of the Pacific*, Leaflet No. 415: 8pp.
- Hardie, R. (1964). The early life of E.E. Barnard (Part II). *Astronomical Society of the Pacific*, Leaflet No. 416: 8pp.
- Holffleit, D. (1950). *Some firsts in astronomical photography*. Harvard College Observatory, Cambridge Massachusetts: 39pp.
- Holffleit, D. (1950). The first stellar photograph. *Sky and Telescope*, July issue: 207-210.
- Huggins, W. (1856). "Description of an Observatory erected at Upper Tulse Hill," *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 16: 175-176.
- Huggins, W., W.A. Miller (1863). Note on the Lines in the Spectra of some of the fixed stars. *Proceedings of the Royal Society*, 12: 444-445.
- Huggins, W., W.A. Miller (1863) - On the Spectra of some Fixed Stars. *Proceedings of the Royal Society*, 13: 242-244.
- Huggins, W., A. Miller (1864). On the Spectra of some fixed stars. *Philosophical Transactions*, 154: 413-435
- Huggins, W. (1876). Note on the Photographic Spectra of Stars. *Proceedings of the Royal Society*, 25: 445-446.
- Huggins, W. (1897). The New Astronomy: a Personal Retrospect. *The Nineteenth Century*, 41: 907-29.
- Huggins, W., M. Huggins (1889). On the Spectrum of the Great Nebula in Orion. *Proceedings of the Royal Society*, 46: 50.
- Huggins, W., M. Huggins (1889). *An Atlas of Representative Stellar Spectra from  $\lambda$ 4870 to  $\lambda$ 3300*. William Wesley and Son: London.
- Huggins, W. (1909). *The Scientific Papers of Sir William Huggins* [with Margaret Huggins] William Wesley and Son: London.

- James, S.H.G. (1993). Dr. Isaac Roberts (1829-1904) and his observatories. *Journal of the British Astronomical Association*, vol.103, no.3, p.120-122.
- Keeler, J.E. (1890). On the Chromatic Aberration of the 36-inch Refractor of the Lick Observatory. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Vol. 2, No. 9: 160-165.
- Keeler, J.E. (1894). Spectroscopic observations of Nebulae, made at Mount Hamilton, California, with the 36-inch Telescope of the Lick Observatory. *Publications of the Lick Observatory*, 3: 161-231.
- Keeler, E.J. (1895). A Spectroscopic Proof of the Meteoric Constitution of Saturn's Rings. *Astrophysical Journal*, vol. 1: 416-428.
- Keeler, J.E. (1900). On the Predominance of Spiral Forms among the Nebulae. *Astronomische Nachrichten*, volume 1: 1-4.
- Keeler, J.E. (1900). The Crossley Reflector of the Lick Observatory. *Astrophysical Journal*, vol. 11: 325-353.
- Keeler, J.E. (1908). *Photographs of nebulae and clusters made with the Crossley reflector*. Publications of Lick Observatory, Vol. 8.
- King, H.C. (1955). *The history of the telescope*. Diver Publications Inc.
- Lankford, J. (1984). The impact of photography on astronomy. In *The general history of astronomy*, Vol. 4- Astrophysics and twentieth-century astronomy to 1950: Part A.
- Launay, F. (2000). *Jules Janssen et la photographie. In Dans le champ des étoiles. Les photographes et le Ciel 1850-2000*. Paris, Éditions de la Réunion des Musées nationaux.
- Mayall, N.U. (1946). Bernhard Schmidt and his coma-free reflector. *Publications of the Astronomical Society of the Pacific*, Vol. 58 (244): 282-290.
- Mürsepp, P-V. (1968) Bernhard Schmidt, remarquable opticien du XXe siècle. *L'Astronomie*, Vol.82: 275-283.
- Mouchez, A. E. (1887). *La photographie astronomique à l'Observatoire de Paris et la carte du ciel*. Paris, Gauthier-Villars.
- Opik, E.J. (1955). Bernhard Schmidt (1893-1935). *Irish Astronomical Journal*, Vol. 3 (8): 237-240.
- Osterbrock, D. E. (1984). *James E. Keeler: Pioneer American Astrophysicist and the Early Development of American Astrophysics*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- Osterbrock, D.E. (1984). The rise and fall of Edward S. Holden: Part 1 and 2. *Journal of the History of Astronomy*, XV: 81-176.
- Osterbrock, D.E. (1988). *Eye on the Sky: Lick Observatory's First Century*. Berkeley, California: University of California Press.
- Osterbrock, D.E. (1993). *Pauper & Prince. Ritchey, Hale & big American telescopes*. The Universe of Arizona Press.
- Osterbrock, D.E. (1993). The Canada-France-Hawaii Telescope and George Willis Ritchey's Great Telescopes of the Future. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 87 (1): 51-63.
- Osterbrock, D.E. (1997). *Yerkes observatory (1892-1950). The Birth, Near Death, and Resurrection of a Scientific Research Institution*. The University of Chicago Press.
- Sheehan, W. (1995). *The Immortal Fire Within: The Life and Work of Edward Emerson Barnard*. Cambridge University Press, ISBN 0 521 44489 6.
- Rayet, M.G. (1887). *Notes sur l'histoire de la photographie astronomique*. Gauthier-Villars, Paris.
- Roberts, I. (1899). *Photographs of Stars, Star Clusters and Nebulae*. Volume II. "Knowledge office, High Holborn, W.C.: 178pp.

- Ritchey, G.W. (1900). Celestial photography with the 40-inch visual telescope of the Yerkes observatory. *Astrophysical Journal*, vol. 12: 352-361.
- Ritchey, G.W. (1901). The tow-foot reflector telescope of the Yerkes observatory. *Astrophysical Journal*, 14 (4): 217-233.
- Ritchey, G.W. (1909). The 60-inch reflector of the Mount Wilson Solar Observatory. *Astrophysical Journal*, 36: 71-82.
- Ritchey, G.W. (1910). On some methods and results in direct photography with the 60-inch reflecting telescope of the Mount Wilson Solar Observatory. *Contributions of the Mount Wilson Solar Observatory*, No. 47: 283-292.
- Ritchey, G.W. (1928). The modern photographic telescope and the new astronomical photography. Part I- The fixed universal telescope. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 12 (5): 159-177.
- Ritchey, G.W. (1928). The modern photographic telescope and the new astronomical photography. Part II-The Ritchey-Chrétien Reflector. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 12 (6): 207-230.
- Ritchey, G.W. (1928). The modern photographic telescope and the new astronomical photography. Part III-The Ritchey-Chrétien Aplanatic Reflector. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 12 (8): 303-324.
- Ritchey, G.W. (1928). The modern photographic telescope and the new astronomical photography. Part IV- Astronomical photography with very high powers. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 12 (9): 359-382.
- Ritchey, G.W. (1929). The modern photographic telescope and the new astronomical photography. Part V-The new astronomical photography. *Journal of the Royal Astronomical Society of Canada*, 23: 15-36.
- Ritchey, G.W. (1929). L'Évolution de l'Astrophotographie et les Grands Télescopes de L'Avenir. *Société astronomique de France*.
- Tenn, J.S. (1992). Edward Emerson Barnard: The Fourteenth Bruce Medalist. *Mercury*, September/October: 164-166.
- Turner, H.H. (1912). *The great Star Map*. London, John Murray.
- Vaucoulers, G. de (1958). *La photographie astronomique: du daguerréotype au télescope électronique*. Éditions Albin Michel, Paris.
- Warner, B. (1977). W.E. Wilson and the Daramona Observatory. *Sky and Telescope* (February issue): 108-110.

Leia e divulgue a revista *Astronomia de Amadores*,  
disponível online em

<http://apaaweb.com/v2013/index.php/revista>

Associe-se à Associação Portuguesa de Astrónomos  
Amadores (APAA)

<http://apaaweb.com/v2013/>

Facebook: <https://www.facebook.com/APAAweb>





