

Figuras e Tabelas

CAPÍTULO 1: História da astrofotografia

Figura 1.1– Primeira Heliografia, da autoria de J.N. Niepce, obtida provavelmente em 1827.

Figura 1.2– Daguerreótipo do rio Sena, Paris, obtido em 1845.

Figura 1.3- Imagem lunar obtida em 1865 por Lewis M. Rutherford.

Figura 1.4- Fotoheliógrafo do observatório de Kew.

Figura 1.5- Observação do eclipse total do Sol visível em Espanha, em 1860. Imagem da coroa solar e proeminências obtida durante o eclipse (Warren de la Rue e o fotoheliógrafo de Kew).

Figura 1.6- Fotografia do Trânsito de Vénus de 1874 (local desconhecido).

Figura 1.7- Fotografia da nebulosa de Oriente obtida por H. Draper em 1880.

Figura 1.8- Fotografia da nebulosa de Oriente obtida por A. A. Common em 1883.

Figura 1.9- Fotografias dos cometas 1881 III e 1882 II (Henry Draper e David Gill respectivamente).

Figura 1.10- O refractor fotográfico do observatório de Paris, construído pelos irmãos Henry (ca. 1885).

Figura 1.11- E. E. Barnard (1857-1923) e o astrógrafo Bruce.

Figura 1.12- Duas fotografias do "Atlas of Selected Regions of the Milky Way"; em cima A.R. 16 h 44 min Dec. $-22,5^\circ$; em baixo A.R. 4 h 14 min Dec. 28° .

Figura 1.13- Nebulosas de reflexão associadas ao enxame das Pléiades (M 45). Imagem obtida por J. E. Keeler com o telescópio reflector de Crossley em 1899.

Figura 1.14- A câmara Schmidt do observatório do Monte Palomar. Desenho de R. W. Porter (1941).

Figura 1.15- Eugénio Conceição Silva (1906/1069).

Figura 1.16- Astrofotografias obtidas por E. C. Silva com o telescópio reflector 500 mm $f/6$. Da esquerda para a direita M 51, exposição 300 min (1951), M 33, exposição 215 min (1950), M 81, exposição 200 min (1952).

Figura 1.17- Imagem da nebulosa M 20 obtida com o auxílio de uma câmara CCD. Pedro Ré (2000).

Figura 1.18- Imagens de objectos do sistema solar obtidas com o auxílio de uma câmara CCD. António Cidadão (2000/2001).

Figura 1.19- Fotografia do grande enxame globular de Hércules (M 13), obtida em 6, 7 e 8 de Junho, 1910. Observatório do Monte Wilson, Telescópio reflector 250 cm. Exposição 11 h.

Figura 1.20- Fotografia galáxia dos Cães de Caça ou galáxia redemoinho (M 51), obtida em 7 e 8 de Abril, 1910. Observatório do Monte Wilson, Telescópio reflector 250 cm. Exposição 10 h 45 min.

Tabela 1.1- Sensibilidade relativa dos diversos métodos fotográficos

CAPÍTULO 2: Fotografar estrelas e constelações

Figura 2.1- Fotografias da constelação do Sagitário. Exposições de 20 s., 1 min e 4 min.

Câmara *Pentax Spotmatic*, objectiva *Takumar* 50 mm, 1:1.4. Pedro Ré (1973).

Figura 2.2- Fotografias da constelação da Ursa Menor. Exposições de 20 s e 4 min. Câmara *Pentax Spotmatic*, objectiva *Takumar* 50 mm, 1:1.4. Pedro Ré (1973).

Figura 2.3- Fotografia da região circumpolar norte (Ursa Menor). Exposição 10 min. Câmara *Pentax Spotmatic*, objectiva *Takumar* 50 mm, 1:1.4. Pedro Ré (1973).

Figura 2.4- Fotografia da constelação da Ursa Maior. Exposição de 25 s. Câmara *Pentax Spotmatic*, objectiva *Takumar* 50 mm, 1:1.4. Pedro Ré (1973).

Figura 2.5- Câmara fotográfica *Olympus OM (SLR)*.

Figura 2.6- Câmaras fotográficas manuais com possibilidade de efectuarem poses T e B (*Nikon F*) e pose B (*Olympus OM-1*).

Figura 2.7- Câmaras fotográficas (SLR) manuais 35 mm (1, 2 e 3) e 120 (4).

Figura 2.8- Câmaras fotográficas automáticas 35 mm (SLR), *Nikon F70* (1) e de visor directo *Olympus AF-300* (2).

Figura 2.9- Principais tipos de objectivas fotográficas.

Figura 2.10- Adaptação de uma câmara reflex para a realização de imagens de todo o céu. Espelho convexo (1), câmara *reflex* (2). Adaptado em parte de Convington (1985).

Figura 2.11- Emulsões espectroscópicas *Kodak 103aE* e *103aO*.

Figura 2.12- *Kodak Technical Pan TP-2415*.

Figura 2.13- Alguns filmes adequados para a realização de astrofotografias. *Fujichrome Sensia II* (ISO/Asa 100) (1), *Fujicolor* (ISO/ASA 100) e *Fujicolor Superia* (ISO/ASA 200) (2), *Kodak Elite Chrome* (ISO/ASA 100) (3) e *Kodak Ektachrome E200* (ISO/ASA 200) (4).

Figura 2.14- Fotografias da constelação do Cruzeiro do Sul. Exposições de 30 seg. e 15 min. *Olympus OM-1*, 50 mm 1:1.8 (2.8). *Kodak Ektachrome E200*. Pedro Ré, Chile (2001).

Figura 2.15- Dois acessórios essenciais: tripé fotográfico e pára-sol.

Figura 2.16- Disparadores de cabo.

Figura 2.17- Câmaras com prismas intermutáveis (*Kiev* formato 120 mm) e com amplificador de focagem (*Olympus OM-1* + *Olympus Varimaghi Finder*).

Figura 2.18- Ecrãs de focagem intermutáveis (*Olympus OM-1*).

Tabela 2.1- Tempos de exposição máximos para que as estrelas não surjam como traços.

Tabela 2.2- Exemplos de campos cobertos em graus para várias objectivas (formato de 35 mm).

Tabela 2.3- Principais objectos que podem ser fotografados recorrendo a diferentes objectivas fotográficas.

Tabela 2.4- Valores equivalentes de ASA, DIN e ISO.

CAPÍTULO 3: Fotografar meteoros, auroras e conjunções

Figura 3.1- Representação das Leónidas em 1833 (esquerda) e 1799 (direita). Gravuras publicadas respectivamente em *Bible Readings for the Home Circle, 1889* e *The Midnight Sky, 1872*.

Figura 3.2- Bateria de 2 câmaras (*Olympus OM-1* e *OM-2*) e de 3 câmaras fotográficas *reflex* (*Olympus OM1*, *Nikon F* e *Olympus OM-2*) utilizadas para fotografar meteoros.

Figura 3.3- Fotografias de auroras boreais. Filme 400 ISO/ASA, objectivas 35 a 85 mm, exposições 10 a 30 seg. Jan Curtis (2000).

Figura 3.4- Representação da luz zodiacal (gravura). *Le Ciel*, 1923.

Figura 3.5- Representação esquemática da luz zodiacal, banda zodiacal e do *gegenschein* . As duas pirâmides (à esquerda e à direita) representam a luz zodiacal e o *gegenschein* está situada no meio da imagem. O contraste relativamente ao céu está exagerado para maior clareza. Adaptado de Edberg e Levy (1994).

Figura 3.6- Fotografias de conjunções obtidas com uma câmara digital (*Olympus Camedia C-1400 L*). António Cidadão (1998/1999).

Figura 3.8- Leónida (20011202). Câmara *Canon AE-1p*, objectiva 50 mm 1:1.4, Filme *Kodak Ektachrome 400*. Exposição cerca de 10 min. Carlos Oliveira (2001).

Figura 3.8- Luz zodiacal. Câmara *Pentax 6x7*, objectiva 35 mm 1:3.5, exposição 70 min, Filme *Kodak Ektachrome E-200*. Matt BenDaniel (2001).

Tabela 3.1- Principais chuvas de meteoros.

Tabela 3.2- Tempos de exposição recomendados (em segundos) para fotografar auroras utilizando um filme com uma sensibilidade de 400 ISO/ASA, em função das aberturas.

Tabela 3.3- Observação do *gegenschein* .

CAPÍTULO 4: Fotografar o céu com uma montagem equatorial

Figura 4.1- Esquema simplificado de uma montagem equatorial. Adaptado (parte) de Bourge e Lacroux (1983).

Figura 4.2- Montagem equatorial fotográfica de construção simples. Adaptado (parte) de Bourge e Lacroux (1983).

Figura 4.3- Montagem equatorial fotográfica *Scotch*. Pedro Ré (2001).

Figura 4.4- Montagem equatorial fotográfica motorizada (motor síncrono de uma rotação em 24 h). Pedro Ré (2001).

Figura 4.5- Montagem equatorial motorizada de fabrico alemão. Pedro Ré (2001).

Figura 4.6- Câmaras fotográficas montadas em paralelo ou em *piggyback* : (1) *Nikon F* + objectiva 50 1:2; (2) *Mamya* + objectiva 135 mm 1:2.8; (3) *Mamya* + objectiva *Zeiss Sonnar 200* 1:2.8; (4) *Mamya* + objectiva *Rubinar 1000* mm 1:10. Pedro Ré (2001).

Figura 4.7- Orientação de uma câmara montada em paralelo (horizontal e vertical). Pedro Ré (2001).

- Figura 4.8- Nebulosa América do Norte (NGC 7000) (esquerda) e região de *Gama Cygni* (direita). Objectiva *Zeiss Sonnar* 200 mm 1:2.8 (Filtro H-alfa). Filme *Kodak 103aE*. Exposição 45 min (NGC 7000) e 32 min (*Gama Cygni*). Pedro Ré (1983).
- Figura 4.9- Nebulosas M 8 e M 20 (esquerda) e M 16 e M 17 (direita). Objectiva *Zeiss Sonnar* 200 mm 1:2.8 (Filtro *Wratten* 25A). Filme *Kodak 103aE*. Exposição 15 min (M 8, M 20) e 20 min (M 16, M 17). Pedro Ré (1983).
- Figura 4.10- Enxame duplo do Perseu (esquerda) e Nebulosa Véu no Cisne. Objectiva *Zeiss Sonnar* 200 mm 1:2.8 (Filtro H-alfa). Filme *Kodak 103aE*. Exposição 20 min (enxame duplo do Perseu) e 30 min (Nebulosa Véu). Pedro Ré (1983).
- Figura 4.11- Constelação do Oriente (Nebulosa do Oriente e Nebulosa Cabeça de Cavalo). Objectiva *Zeiss Sonnar* 200 mm 1:2.8 (Filtro H-alfa). Filme *Kodak 103aE*. Exposição 32 min (esquerda) e 45 min (direita). Note-se o aumento da informação registada na imagem obtida com uma exposição mais longa. Pedro Ré (1984).
- Figura 4.12- Constelação de *Carina*. *Olympus OM-1*, 50 mm 1:1.8 (2.8). Filme *Kodak Ektachrome E200*. Exposição 15 min. Pedro Ré, Chile (2001).
- Figura 4.13- Constelação do Cruzeiro do Sul. *Olympus OM-1*, 50 mm 1:1.8 (2.8). Filme *Kodak Ektachrome E200*. Exposição 15 min. Pedro Ré, Chile (2001).
- Figura 4.14- Constelação do Escorpião. *Olympus OM-1*, 50 mm 1:1.8 (2.8). Filme *Kodak Ektachrome E200*. Exposições de 15 min. Pedro Ré, Chile (2001).
- Figura 4.15- Constelação do Sagitário. *Olympus OM-1*, 50 mm 1:1.8 (2.8). Filme *Kodak Ektachrome E200*. Exposições de 15 min. Pedro Ré, Chile (2001).
- Figura 4.16. Grande nuvem de Magalhães. *Olympus OM-1*, objectiva 135 mm 1:3.5 (4). *Kodak Supra 400*. Exposição 20 min. José Carlos Diniz, Chile (2001).
- Figura 4.16. Cometa Hale-Bopp (C/1995 O1 Hale-Bopp) (19970410, 04h55m TUC). *Olympus OM-1*, objectiva 50 mm 1:2. Filme *Kodak Ektachrome P-1600*. Exposição 4 min. Podem obter-se excelentes fotografias de cometas recorrendo às técnicas descritas no presente Capítulo. Rui Gonçalves (1997).
- Figura 4.16. Cometa Hale-Bopp (C/1995 O1 Hale-Bopp) (19970428, 20h23m TUC). *Olympus OM-1*, objectiva 135 mm 1:2.8. Filme *Kodak Ektachrome P-1600*. Exposição 3 min. Rui Gonçalves (1997).

Tabela 4.1 - Magnitudes limite.

Tabela 4.2- Tempos de exposição aconselhados para objectivas com diversas distâncias focais.

Tabela 4.3- Tolerâncias de guiagem expressas em segundos de arco.

CAPÍTULO 5: Fotografar o céu através de um telescópio

- Figura 5.1- Principais tipos de telescópios: 1 - Telescópio refractor; 2 - telescópio reflector; 3 - telescópio catadióptico (Maksutov-Cassegrain); 4 - Telescópio catadióptrico (Schmidt-Cassegrain).
- Figura 5.2- Correção cromática de algumas objectivas semi-apocromáticas (1 e 2) e apocromáticas (3). 1- Vidro BK₇, 2- ED, 3- Fluorite.
- Figura 5.3- Exemplos de algumas montagens equatoriais fotográficas: 1 - Montagem alemã, refractor acromático *Konus* 100 f/10; 2- Montagem alemã EM10, refractor apocromático *Takahashi* FS102; 3- Montagem alemã, reflector *Konus* 114 mm f/8; 4- Montagens alemãs CM1400 e CM1100, telescópios Schmidt-Cassegrain C11 e C14; 5 - Montagem de garfo, telescópio Schmidt-Cassegrain C8; 6 - Montagem de garfo, *Meade* LX200 10"; 6- Montagem de garfo, C14 e refractor apocromático *Takahashi* FS102.
- Figura 5.4- Montagem alemã *Vixen* GP, telescópio Schmidt-Cassegrain C8: 1 - buscador polar; 2- motor de passos, eixo de declinação; 3- motor de passos, eixo de ascensão recta.
- Figura 5.5- Principais métodos utilizados para acoplar uma câmara fotográfica ou uma câmara CCD a um telescópio: 1- Foco principal; 2- Projecção (positiva); 3- Compressão.
- Figura 5.6- Adaptação de uma câmara fotográfica no foco principal de um telescópio: 1 - Anel "T"; 2- Adaptador de 1 ¼" ou 31,7 mm; 3- Adaptador standard (telescópios Schmidt-Cassegrain).
- Figura 5.7- Fotografia por projecção positiva ou projecção ocular: 1 - Anel "T"; 2- Ocular; 3- Adaptador de 1 ¼" ou 31,7 mm (projecção ocular); 4- Tubo de projecção (telescópio Schmidt-Cassegrain); 5- Porta-oculares (telescópio Schmidt-Cassegrain).
- Figura 5.8- Projecção positiva ou projecção ocular.

- Figura 5.9- Adaptador de 1 ¼" para fotografia por projecção positiva ou projecção ocular em que a distância do sistema óptico ao plano do filme é ajustável.
- Figura 5.10- Fotografia por projecção negativa: 1- Anel "T"; 2- Adaptador de 1 ¼" ou 31,7 mm (projecção ocular); 3- Lente de Barlow; 4- Teleconversor fotográfico.
- Figura 5.11- Projecção negativa.
- Figura 5.12- Fotografia por compressão: 1 - Anel "T"; 2 - Adaptador "T"; 3 - Redutor/corrector.
- Figura 5.13- Compressão.
- Figura 5.14- Redutor/corrector $f/3,3$.
- Figura 5.15- Sistema de projecção afocal.
- Figura 5.16- Sistema de projecção afocal. Telescópio Schmidt-Cassegrain 200 mm $f/10$, objectiva 80 mm 1:2.8 e *Olympus Camedia C-1400L*.
- Figura 5.17- Exemplos de algumas câmaras fotográficas digitais que podem ser utilizadas com o sistema afocal: 1- *Olympus Camedia C-2000Z*, 2- *Canon Powershot G1*; 3- *Nikon Coolpix 995*, 4- *Olympus Camedia C-1400L*.
- Figura 5.18- Câmara digital reflex (SLR) *FujiFilm FinePix S1 Pro*. À esquerda com uma objectiva zoom 28/200 mm e à direita com um adaptador standard 1 ¼".
- Figura 5.19- Cartões de memória. 1- *Smartmedia*, 2- *Compactflash*, 3- *Memory stick*.
- Figura 5.20- Dimensões relativas dos sensores de algumas câmaras megapixel: 1 - sensor CCD1 1/8" (*Nikon CoolPix*); 2- sensor CMOS (*Canon EOS D30*); 3- sensor CCD (*Nikon D1/FujiFilm FinePix S1 Pro*); 4- Filme APS; 5- Filme 35 mm.
- Figura 5.21- Sol (20010913). Telescópio Schmidt-Cassegrain 200 mm $f/10$, objectiva 80 mm 1:2.8 e *Olympus Camedia C-1400L* (projecção afocal). Pedro Ré (2001).
- Figura 5.22- Lua (19990301). Telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm $f/10$, objectiva 50 mm 1:1.4 e *Olympus Camedia C-1400L* (projecção afocal). António Cidadão (1999).

Tabela 5.1 - Vantagens e inconvenientes dos principais tipos de telescópios.

CAPÍTULO 6: Fotografar o Sol

- Figura 6.1- Níveis de transmissão de alguns filtros Solares. Adaptado de Espenak e Anderson (2001).
- Figura 6.2- Filtros para observação e fotografia Solar: 1 - *Mylar (Solar skreen)*, montado num telescópio *Takahashi FS60c*; 2- *Thousand Oaks*, montado num telescópio C8, 3- *Baader Planetarium*, aplicado num telescópio *Takahashi FS102*, 4- *Baader Planetarium*, montado num telescópio *Vixen 102*.
- Figura 6.3- Telescópio refractor *Helios* (1) e filtro ASP-60 (2) para a observação do Sol em H-alfa.
- Figura 6.4- Imagens do Sol em H-alfa obtidas com o auxílio de filtros *Daystar*. A banda de passagem dos filtros é indicada na imagem.
- Figura 6.5- Diâmetro da imagem do disco Solar em função da distância focal.
- Figura 6.6- Imagens do Sol obtidas com o auxílio de diversos filtros frontais: 1 - filtro *Mylar*; 2- Filtro *Thousand Oaks*; 3- Filtro *Baader Planetarium*. Pedro Ré (2001).
- Figura 6.7- Telescópio Schmidt-Cassegrain C8 (200mm $f/10$), Filtro Solar *Thousand Oaks*, *Olympus Camedia C-1400 L* (sistema de projecção afocal). Pedro Ré (2001).
- Figura 6.8- Telescópio refractor *Vixen* (102 mm $f/9.8$), Filtro *Baader Planetarium*, *Fujifilm FinePix S1 Pro* (fotografia no foco principal). Pedro Ré (2001).
- Figura 6.9- Imagens do Sol obtidas em 20011110. Telescópio refractor *Vixen 102 f/9,8*, *Fujifilm FinePix S1 Pro*: 1- Imagem não processada; 2- Imagem processada (manipulação da luminosidade e do contraste, filtro de máscara difusa). Pedro Ré (2001).
- Figura 6.10- Imagem do Sol obtida em 2001103. Telescópio Schmidt-Cassegrain C8, 200 mm $f/10$, Filtro *Thousand Oaks*, *Olympus Camedia C-1400 L* (sistema de projecção afocal). Pedro Ré (2001).
- Figura 6.11- Imagem do Sol obtida em 20011110. Telescópio refractor *Vixen* (102 mm $f/9.8$), filtro *Baader Planetarium*, *FujiFilm FinePix S1 Pro* (fotografia no foco principal). Pedro Ré (2001).
- Figura 6.12- O Sol visível através de um filtro de Soldador (DIM 14). **NUNCA SE DEVE OBSERVAR OU FOTOGRAFAR O SOL SEM SE RECORRER AO USO DE FILTROS APROPRIADOS**. Pedro Ré (2002).
- Figura 6.13- Imagens do Sol em H-alfa obtidas com o auxílio de um filtro *Daystar* (0,6 Å). Refractor *Televue Pronto 75 mm F/10*, câmara CCD *Hi-sis 43*. 1- 20000719; 2- 20000721; 3- 20000731; 4- 20010113. Thierry Legault (2000/2001).

Tabela 6.1 - Características dos principais filtros Solares frontais.
Tabela 6.1 - Diâmetro do disco Solar e campo coberto (filme de 35 mm)
em função da distância focal.

CAPÍTULO 7: Fotografar a Lua

- Figura 7.1- Diâmetro do disco lunar em função da distância focal.
- Figura 7.2- Lua (20010726), Quarto Crescente. Telescópio Schmidt-Cassegrain 200 mm $f/10$, objectiva 80 mm 1:2.8 e câmara *Olympus Camedia C-1400L* (projecção afocal). Pedro Ré (2001).
- Figura 7.3- A Lua fotografada diariamente de 18 de Fevereiro a 1 de Março de 1999. Telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm $f/10$, objectiva 50 mm 1:1.4 e *Olympus Camedia C-1400L* (projecção afocal). António Cidadão (1999).
- Figura 7.4- Adaptação de uma câmara SLR (*Olympus OM-1*) no plano focal de um telescópio Schmidt-Cassegrain, recorrendo a um adaptador standard para este tipo de instrumentos. Pedro Ré (2002).
- Figura 7.5- Imagens da Lua obtidas no foco principal de uma luneta *Takahashi FS102 f/8*. Câmara digital *Olympus DP10*. Pedro Ré (2001).
- Figura 7.6- Imagem da Lua cheia obtida com o auxílio de um telescópio refractor apocromático *Takahashi FS102 f/8*. Câmara digital *Olympus DP10*. Imagens processadas por computador (Photoshop 6.0) no sentido de realçar regiões da superfície lunar com albedos distintos (mares, regiões montanhosas, raios...). Pedro Ré (2001).
- Figura 7.7- Mosaico de imagens lunares obtidas com o auxílio de um telescópio refractor apocromático *Takahashi FS102 f/8* (projecção negativa, lente de Barlow *Televue x 3*). Câmara digital *Olympus DP10*. Pedro Ré (2001).
- Figura 7.8- Imagens de algumas formações lunares obtidas com o auxílio de um telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm $f/10$ e de uma câmara CCD refrigerada SBIG ST-5C: 1- Alphonsus; 2- Archimedes; 3- Aristarchus; 4- Aristoteles; 5- Arzachel; 6- Cassini; 7- Calvius; 8- Copernicus; 9- Eratosthenes; 10- Hadley; 11- Hesiodus; 12- Plato; 13- Plato; 14- Posidonius; 15- Ptolemaeus; 16- Rupes recta; 17- Vallis Alpes; 18- Bond. António Cidadão (2000/2001).
- Figura 7.9- Disparadores de cabo pneumáticos.
- Figura 7.10- Câmara fotográfica *Olympus OM-1*: 1- Espelho não bloqueado; 2- Espelho bloqueado. A alavanca de bloqueio do espelho está indicada na imagem (seta vermelha).
- Figura 7.11- Câmara digital *Olympus DP10* acoplada a um telescópio refractor apocromático *Takahashi FS102*. O visor LCD e a caixa de comando são visíveis na imagem (à direita na imagem). Pedro Ré (2001).
- Figura 7.12- Adaptação de uma câmara *Logitech Quickcam VC* para a realização de fotografias astronómicas.
- Figura 7.13- Como adaptar uma câmara *Logitech Quickcam* para astrofotografia: 1, 4- Aspecto final (Adaptador de 1 $\frac{1}{4}$ "); 2- Chip CCD; 3- electrónica. Pedro Ré (1999).
- Figura 7.14- Adaptação de uma câmara *Logitech Quickcam VC* para astrofotografia: 1- Aspecto final (adaptador de 1 $\frac{1}{4}$ "); 2- chip CCD; 3- electrónica; 4- alimentação (6V DC). Pedro Ré (2000).
- Figura 7.15- Adaptação de uma Philips Vesta Pro para astrofotografia: 1- Vesta Pro não modificada; 2- Vesta Pro munida de um adaptador standard 1 $\frac{1}{4}$ ". Pedro Ré (2001).
- Figura 7.16- Imagens da Lua cheia obtidas no Perigeu (esquerda) e no Apogeu (direita) com o auxílio de um telescópio Schmidt-Cassegrain 100 mm $f/6.3$ e de uma câmara *Logitech Quickcam*. A distância focal utilizada foi a mesma nas duas imagens. António Cidadão (1999).
- Figura 7.17- Imagens (mosaicos) do terminador lunar obtidas com o auxílio de um telescópio Schmidt-Cassegrain 200 mm $f/10$ e de uma câmara *Logitech Quickcam*: 1- Lua com 7 dias; 2- Lua com 8 dias; 3- Lua com 9 dias. António Cidadão (1999).
- Figura 7.18- Câmara de vigilância acoplada a um telescópio Schmidt-Cassegrain 8" e digitalizador externo *Snappy*. Pedro Ré (2002).
- Figura 7.19- Fotografia da região não iluminada da Lua (19880519). Telescópio reflector 300 mm $f/7.1$. Exposição 3 s. Filme *3M1000*. Pedro Ré (1988).
- Figura 7.20- Lua cheia. Telescópio refractor apocromático *Takahashi FS102 f/8*. Câmara digital *Olympus DP10*. Pedro Ré (2001).

- Figura 7.21- Imagem da Lua obtida com o auxílio de um telescópio reflector 300 mm $f/7.1$ em 19930102. Filme *Fujichrome Velvia 50*, *Olympus OM-2* (auto). Pedro Ré (1993).
- Figura 7.22- Lua (20010201). Telescópio refractor apocromático *Takahashi FS102 f/8*. Câmara digital *Olympus DP10*. Pedro Ré (2001).
- Figura 7.23- Imagens de uma luação completa. Telescópio Schmidt-Cassegrain 100 mm $f/6.3$, câmara *Logitech Quickam*. António Cidadão (1999).
- Figura 7.24- Crateras Theophilus, Cyrillus e Catharina. Telescópio Schmidt-Cassegrain 300 mm $f/10$, câmara CCD *Hi-sis 43*. Thierry Legault (2001).
- Figura 7.25- Crateras Ptolemaeus, Alphonsus e Arzachel. Telescópio Schmidt-Cassegrain 230 mm $f/10$, câmara CCD *Hi-sis 22*. Thierry Legault (2000).
- Figura 7.26- Imagens de algumas formações lunares obtidas com o auxílio de telescópios Schmidt-Cassegrain 230 mm e 300 mm $f/10$ e de câmaras CCD *Hi-sis 22* e *43*. 1- Aristoteles e Exodus; 2- Clavius; 3- Rimae Triesnecker; 4- Plato; 5- Rupes recta; 6- Copernicus; 7- Archimedes, Aristillus e Autolycus; 8- Copernicus; 9- Plato; 10- Stöfler. Thierry Legault (2000/2001).

Tabela 7.1- Diâmetro do disco lunar e campo coberto (filme de 35 mm) em função da distância focal.

Tabela 7.1 - Fotografia lunar. Tempos de exposição aproximados em segundos (filme 400 ISO/ASA).

Tabela 7.2- Tempo máximo de exposição (montagens não motorizadas).

CAPÍTULO 8: Fotografar eclipses

- Figura 8.1 - A passagem da Lua em frente do Sol provoca os eclipses solares. Por sua vez um eclipse lunar ocorre quando a Lua passa pela sombra da Terra (adaptado de Littmann *et al.*, 1999).
- Figura 8.2- Os eclipses solares podem ser totais (1), quando a Lua encobre por completo o Sol e anulares (2) quando o diâmetro aparente da Lua é menor que o Sol e a Lua não encobre por completo o astro rei. Nas regiões cobertas pela penumbra o eclipse é visível como parcial (adaptado de Littmann *et al.*, 1999).
- Figura 8.3- Dimensões aparentes da Lua e do Sol à mesma escala. A Lua encontra-se por vezes mais perto da Terra (perigeu) e outras vezes mais longe (apogeu). O período equivalente a duas passagens seguidas da Lua pelo apogeu (ou perigeu) é designado por mês anomalístico (27,55 dias). António Cidadão e Pedro Ré (1999/2001).
- Figura 8.3- Os eclipses lunares podem ser totais (2), quando o nosso satélite penetra completamente no cone de sombra projectado pela Terra, parciais (3) quando apenas parte da Lua passa pela sombra da Terra e penumrais (1) quando a Lua não passa pelo cone de sombra e é apenas obscurecida pela penumbra da Terra.
- Figura 8.5- Progressão de um eclipse total da Lua. As duas circunferências foram acrescentadas à imagem e correspondem aos limites da penumbra (exterior) e da sombra (interior). António Cidadão (1996).
- Figura 8.6- Eclipse parcial do Sol (19961012). Teleobjectiva 500 mm, filtro solar frontal, câmara CCD ST-6. Oeiras. António Cidadão (1996).
- Figura 8.7- Eclipse do Sol visível como parcial em Portugal (19990811). Teleobjectiva 500 mm, filtro solar frontal, câmara CCD *SBIG ST-6*. Oeiras. António Cidadão (1999).
- Figura 8.8- Crescentes solares projectados no solo. Eclipse do Sol visível como parcial em Lisboa (19990811). Luís Ré (1999).
- Figura 8.9. Último eclipse anular do Sol visível em Portugal (Ilha Graciosa, Açores) (19840530). Teleobjectiva *Canon* 400 mm 1:4.5 + Teleconversor X 2, Filme *Ektachrome* 100. Filtro *Mylar* frontal. Pedro Ré (1984).
- Figura 8.10- Eclipse parcial do Sol (19731213). Teleobjectiva *Novoflex* 300 mm 1:11. Filme *Kodachrome* 25. Cabo da Roca. Pedro Ré (1973).
- Figura 8.11- "Bandas de Sombra" observadas durante o eclipse total do Sol observado na Sicília (Itália) em 22 de Dezembro de 1870.
- Figura 8.12- Eclipse total do Sol de (19990811). Câmara de vídeo *Sony Hi8*. Zoom óptico 12x. Bucareste, Roménia. Canto inferior direito- imagem obtida pelo satélite Eumetsat (Meteo France). Pedro Ré (1999).
- Figura 8.13. Eclipse total do Sol (20010621). Câmara de vídeo *Sony Hi8*. Sumbe, Angola. Fernando Tonel (2001).
- Figura 8.14- Eclipse total do Sol de (19990811). Telescópio refractor *Konus* 80 mm $f/5$. Filme *Fujichrome Sensia* 100. Exposições 1/500 s a 1/8 s. Bucareste, Roménia. Pedro Ré (1999).

- Figura 8.15- Eclipse total do Sol de (19990811). Telescópio refractor Konus 80 mm $f/5$. Filme *Fujichrome Sensia* 100. Exposições 1/500 s a 1/250 s. Imagens processadas por computador para realçar as protuberâncias solares. Bucarest, Roménia. Pedro Ré (1999).
- Figura 8.16- Eclipse total do Sol (20010621). Telescópio Maksutov-Cassegrain *Meade* ETX 90 mm $f/13,8$. Filtro solar frontal excepto fase de totalidade, Filme *Fuji Provia* 100 ISO/ASA. Exposições 1/90 s (fases parciais) 1 s (fase de totalidade). Sumbe, Angola. Fernando Tonel (2001).
- Figura 8.17- Eclipse total do Sol (20010621). Exposição múltipla. Chisamba, Zâmbia. Fred Espenak (2001).
- Figura 8.18- Eclipse total do Sol (20010621). Mosaico. Chisamba, Zâmbia. Fred Espenak (2001).
- Figura 8.19- Eclipse total da Lua (19931129). Imagens obtidas com a técnica dos “traços estelares” e “múltipla exposição”. Fred Espenak (1993).
- Figura 8.20- Eclipse total da Lua (19890817). Telescópio reflector 300 mm $f/7.1$. Filme *Ektachrome* 100. Exposições de 30 s (fases parciais) e 60 s (totalidade). Pedro Ré (1989).
- Figura 8.21- Eclipse total da Lua (19890817). Telescópio reflector 300 mm $f/7.1$. Filme *Ektachrome* 100. Exposições de 1/125 s, 20 s e 30 s (fases parciais) e 60 s (totalidade). Pedro Ré (1989).
- Figura 8.22- Eclipse total da Lua (19890817). Telescópio reflector 150 mm $f/4$. Filme *Ektachrome* 100, exposição 20 s (em cima) e Filme *3M1000*, exposição 2 min (em baixo). Pedro Ré (1989).
- Figura 8.23- Eclipse total da Lua (19960926). Objectiva *Tamron* 500 mm 1:8. Câmara CCD *SBIG* ST-6. António Cidadão (1996).
- Figura 8.24- Eclipse total da Lua (19960404). Telescópio Schmidt-Cassegrain 350 mm $f/11$ ($f/6$). Filme *Fujichrome Sensia* 100. Exposições 1/125 s a 30 s. Pedro Ré (1996).
- Figura 8.25- Eclipse total da Lua (19960926). Telescópio Schmidt-Cassegrain 350 mm $f/11$ ($f/6$). Filme *Fujichrome Sensia* 100. Exposições 5 s a 30 s Pedro Ré (1996).
- Figura 8.26- Eclipse total da Lua (20010121). Telescópio Schmidt-Cassegrain 350 mm $f/11$ ($f/6$). Filme *Fujichrome Sensia* 100. Exposições 15 s. Pedro Ré (2001).

Tabela 8.1- Escala de Danjon (eclipses lunares).

Tabela 8.2- Eclipses solares totais e anulares (2001/2010).

Tabela 8.3- Eclipses lunares (2001/2010).

Tabela 8.4- Fotografia das fases parciais de um eclipse solar (FILTRO SOLAR FRONTAL). $B \approx 256$. Tempos de exposição aproximados em segundos.

Tabela 8.5- Fotografia das protuberâncias solares (SEM FILTRO SOLAR FRONTAL). $B \approx 128$. Tempos de exposição aproximados em segundos.

Tabela 8.6- Fotografia da coroa interna (SEM FILTRO SOLAR FRONTAL). $B \approx 32$. Tempos de exposição aproximados em segundos.

Tabela 8.7- Fotografia da coroa externa (SEM FILTRO SOLAR FRONTAL). $B \approx 0,5$. Tempos de exposição aproximados em segundos.

Tabela 8.8- Fotografia de eclipses lunares. Tempos de exposição aproximados.

CAPÍTULO 9: Fotografar os planetas

Figura 9.1- Simulação do efeito da turbulência em imagens planetárias (Saturno). Telescópio Schmidt-Cassegrain 200 mm $f/10$. Imagens geradas com o auxílio do programa *Aberrator* 3.0 (<http://aberrator.astronomy.net/>).

Figura 9.2- Colimador laser utilizado para colimar um telescópio Schmidt-Cassegrain. O uso destes dispositivos é útil para obter uma primeira colimação ou alinhamento dos componentes ópticos. O método mais preciso de colimar um telescópio consiste na observação nocturna de uma estrela tal como é referido no texto.

Figura 9.3- Estrelas observadas através de um telescópio Schmidt-Cassegrain. Aspecto de uma estrela focada e desfocada num telescópio colimado (à esquerda em cima e em baixo respectivamente) e aparência de uma estrela num sistema descolimado (centro). Imagens geradas em parte com o auxílio do programa *Aberrator* 3.0 (<http://aberrator.astronomy.net/>). As setas vermelhas na imagem à esquerda indicam os parafusos de colimação do espelho secundário de um telescópio Schmidt-Cassegrain.

Figura 9.4- Simulação do efeito da descolimação em imagens planetárias (Júpiter). Telescópio Schmidt-Cassegrain 200 mm $f/10$ (turbulência 0,1). Imagens obtidas com um

telescópio colimado à esquerda e descolimado à direita. Imagens geradas com o auxílio do programa Aberrator 3.0 (<http://aberrator.astronomy.net/>).

- Figura 9.5- Simulação do efeito da turbulência em imagens planetárias (Marte) obtidas com o auxílio de dois telescópios distintos perfeitamente colimados. Telescópio refractor apocromático 150 mm $f/8$, sem obstrução (em cima) e telescópio Schmidt-Cassegrain 200 mm $f/10$, 0,33% de obstrução (em baixo). Imagens geradas com o auxílio do programa Aberrator 3.0 (<http://aberrator.astronomy.net/>). A imagem do planeta Marte representada no canto superior esquerdo foi obtida pelo Telescópio Espacial *Hubble*.
- Figura 9.6- Duas *Webcams* adaptadas para astrofotografia. 1- *Phillipps Vesta Pro* e 2- *Toucam Pro*. Pedro Ré (2002).
- Figura 9.7- Vénus (esquerda) e Saturno (direita). Telescópio Schmidt-Cassegrain 200mm $f/10$, câmara *Logitech Quickam*. Paulo Coelho (1999).
- Figura 9.8- Saturno. Telescópio Schmidt-Cassegrain 250mm $f/10$, câmara *Toucam Pro*. Paulo de Almeida (2001).
- Figura 9.9- Júpiter (20020128). Telescópio Schmidt-Cassegrain 200mm $f/10$, câmara *Toucam Pro*. Paulo Coelho (2002).
- Figura 9.10- Júpiter (20020217). Telescópio Schmidt-Cassegrain 200mm $f/10$, câmara *Toucam Pro*. Paulo Coelho (2002).
- Figura 9.11- Júpiter (20020223). Telescópio Schmidt-Cassegrain 200mm $f/10$, câmara *Toucam Pro*. Paulo Coelho (2002).
- Figura 9.12- Júpiter e Saturno (20001023). Telescópio apocromático Takahashi FS102 $f/8$ ($f/24$, barlow Televue 3x). Câmara CCD *SBIG ST-7*. Pedro Ré (2000).
- Figura 9.13- Imagens dos planetas Júpiter, Saturno e Marte. Telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm $f/10$, câmaras CCD *SBIG ST-5C*. António Cidadão (1999/2001).
- Figura 9.14- Telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm $f/10$ e equipamento utilizado na obtenção de imagens de *alta resolução* de superfícies planetárias. 1- Câmara CCD *SBIG ST-5C*, 2- Roda de filtros *SBIG*, 3- Dispositivo de óptica adaptativa *Stellar Products AO-2*, 4- Câmara de vídeo (controle do sistema AO-2), 5- Redutor/corrector *Meade f/3.3* ou $f/6.3$. António Cidadão (2002).
- Figura 9.15- Imagem não processada (1) e processada do planeta Júpiter. Telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm $f/10$, câmara CCD *SBIG ST-5C*, óptica adaptativa AO-2. António Cidadão (20001211).
- Figura 9.16- O planeta Júpiter durante as oposições de 1999/2000 e 2000/2001. Telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm $f/10$, câmara CCD *SBIG ST-5C*. António Cidadão (1999/2001).
- Figura 9.17- Imagens dos planetas Júpiter e Marte. 1- Júpiter (sonda *Cassini*), 2- Júpiter (António Cidadão, 2001), 3- Marte (Telescópio Espacial de *Hubble*). 4- Marte (António Cidadão, 1999).
- Figura 9.18- Imagens do planeta Júpiter obtidas com o auxílio de diferentes filtros: R- vermelho, G- verde, B- azul, UV- ultravioleta, IR- infravermelho, CH4- metano. Telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm $f/10$, câmara CCD *SBIG ST-5C*, óptica adaptativa AO-2. António Cidadão (20011007).
- Figura 9.19- Imagens coloridas (RGB) do planeta Júpiter. Telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm $f/10$, câmara CCD *SBIG ST-5C*, óptica adaptativa AO-2. António Cidadão (20011007).
- Figura 9.20- Imagens coloridas (RGB) do planeta Marte obtidas durante a oposição de 1999. Telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm $f/10$, câmara CCD *SBIG ST-5C*. António Cidadão (1999).
- Figura 9.21- Imagens de *alta resolução* do planeta Júpiter. Na imagem da esquerda possível observar pormenores na atmosfera do planeta com apenas 0,45". Na imagem da direita é possível observar algum pormenor no disco do satélite Ganimedes. Telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm $f/10$, câmara CCD *SBIG ST-5C*, óptica adaptativa AO-2. António Cidadão (2001).

CAPÍTULO 10: Fotografar o céu profundo (emulsões fotográficas)

- Figura 10.1- Constelação do Cruzeiro do Sul. Olympus OM-1, 50 mm 1:1.8 (2.8). *Kodak Ektachrome E200*. Exposição 15 min. Pedro Ré, Chile (2001).
- Figura 10.2- Grande nuvem de Magalhães. Imagem realizada sob o efeito de poluição luminosa moderada. Olympus OM-1, 50 mm 1:1.8 (2.8). Filme *Kodak Ektachrome E200*. Exposição 15 min. Pedro Ré, Chile (2001).

- Figura 10.3- Constelação de Oriente. Poluição luminosa menos intensa. *Olympus OM-1*, 50 mm 1:1.8 (2.8). Filme *Kodak Ektachrome E200*. Exposição 5 min. Pedro Ré, Chile (2001).
- Figura 10.4- Filtros utilizados na fotografia de campos estelares: 1 - *Kodak Wratten #25A*; 2 - *H-alfa (Lumicon)*; 3- Filtro de banda larga (*Lumicon*).
- Figura 10.5- Características de transmissão de alguns filtros *Kodak Wratten* e *H-Halfa (Lumicon)*. Adaptado de Wallis e Provin (1988).
- Figura 10.6- Características de transmissão de um filtro de banda larga. As características ideais de transmissão são indicadas a tracejado. Adaptado de Wallis e Provin (1988).
- Figura 10.7- Características de transmissão de alguns filtros e espectros de emissão descontínua (nebulosas de emissão e fontes poluidoras). Adaptado de Covington (1999).
- Figura 10.8- 1- Nebulosa América do Norte (NGC 7000) na constelação do Cisne, 2- região de Gama Cygni, 3- Nebulosas M 8 e M 20 e 4- M 16 e M 17. Objectiva *Zeiss Sonnar 200 mm 1:2.8* (Filtro *H-alfa*, 1 e 2 e Filtro *Wratten 25A*, 3 e 4). Filme *Kodak 103aE*. Exposições: 45 min (NGC 7000), 32 min. (Gama Cygni), 15 min. (M8, M20) e 20 min. (M16, M17). Revelador D-19, 8 min. 20° C. Pedro Ré (1983).
- Figura 10.9- Objectiva *Zeiss Sonnar 200 mm 1:2.8*. São visíveis na imagem 3 filtros frontais (*Wratten #25A*, *H-alfa Lumicon* e filtro de banda larga *Lumicon*). A focagem a infinito para os dois filtros vermelhos está indicada (seta vermelha).
- Figura 10.10- *Falha de reciprocidade*. Modelo de *Schwarschild* original e modificação do mesmo (linhas tracejadas). A linha a cheio representa a curva do filme *Kodak Technical Pan TP-2415*. Adaptado de Covington (1999).
- Figura 10.11- Kit de *hipersensibilização Lumicon*.
- Figura 10.12- Constelação do Cruzeiro do Sul. Câmara *Nikon F2*, objectiva 50 mm 1:1.4 (2.8). *Kodak Technical Pan TP-2415 hipersensibilizado*. Exposição 15 min. Revelador D-19, 8 min. 20° C. José Carlos Diniz, Chile (2001).
- Figura 10.13- Constelações do Escudo e Sagitário (20010426). Câmara *Nikon F2*, objectiva 50 mm 1:1.4 (2.8). *Kodak Technical Pan TP-2415 hipersensibilizado*. Exposição 15 min. Revelador D-19, 8 min. 20° C. No canto inferior direito é visível o planeta Marte. José Carlos Diniz, Chile (2001).
- Figura 10.14- Câmara refrigerada (*cold camera*) *Celestron* e acessórios de focagem.
- Figura 10.15- Câmara refrigerada *cold camera* de J. Newton e J. Ball: 1- obturador, 2- separador em vidro acrílico, 3- corpo da câmara, 4- filme 35 mm, 5- câmara de gelo seco.
- Figura 10.16- Alinhamento de uma montagem equatorial relativamente ao pólo celeste. Deslocação de um estrela em Declinação (Norte ou Sul).
- Figura 10.17- Telescópio guia colocado em paralelo com o telescópio principal. Telescópio principal - Schmidt-Cassegrain *Celestron 14*, 350 mm *f/11*, (C14) e telescópio guia - refractor apocromático *Takahashi FS102 102 mm f/8*. Pedro Ré (2002).
- Figura 10.18- "*Off-axis guider*". 1 - "*Giant Easy Guider Lumicon*", telescópio Schmidt-Cassegrain C14, 2 - "*off-Axis Guider*" fotografia no foco principal de um telescópio Schmidt Cassegrain, 3- "*off-Axis Guider*" e sistema de compressão.
- Figura 10.19- Equipamento utilizado em fotografia do céu profundo. 1 - Telescópio fotográfico (Schmidt-Cassegrain 200 mm *f/10*), 2- Telescópio guia (Schmidt-Cassegrain 90 mm *f/10*), 3- câmara fotográfica munida de um amplificador de focagem, 4- redutor/corrector de focal, 5- "*off-axis guider*", 6- ocular guia (retículo iluminado), 7- contrapesos, 8- montagem equatorial de garfo motorizada.
- Figura 10.20- Exemplo de duas oculares de guiagem. Em baixo são ilustradas algumas configurações de retículos que podem ser utilizadas com bons resultados.
- Figura 10.21- Sistemas auxiliares de focagem. 1- porta-oculares *Crayford* e acessório de focagem de precisão (*JMI*), 2- porta-oculares *Cayford* manual (*JMI*) e 3- porta-oculares *Cayford* motorizado (*JMI*). Pedro Ré (2002).
- Figura 10.22- Nebulosa do Oriente (M42). Telescópio reflector 300 mm *f/7.1*, foco principal. Filme *Kodak 103 aF*. Exposição 11 min. Revelador D-19, 8 min. 20° C (19811225). Pedro Ré (1981).
- Figura 10.23- Nebulosa do Oriente (M42). Telescópio reflector 150 mm *f/4*, foco principal. Filme *Kodak 103 aE*. Exposição 3 min (1), 10 min. (2). D-19, 8 min. 20° C (19820123). Pedro Ré (1982).
- Figura 10.24- Plêiades (M 45). Telescópio refractor apocromático *Takahashi FS102 f/8* (reductor /corrector *f/6*). Filme *Kodak Ektachrome E200*. Exposições 5 min. (1), 10 min. (2), 15 min. (3), 20 min. (4), (20020116). Pedro Ré (2002).
- Figura 10.25- Nebulosa do Oriente (M42). Telescópio refractor apocromático *Takahashi FS102 f/8* (reductor /corrector *f/6*). Filme *Kodak Ektachrome E200*. Exposições 1 min.

(1), 3 min. (2), 5 min. (3), 10 min. (4), 15 min. (5), 20 min. (6), (20020116). Pedro Ré (2002).

Figura 10.26- Nebulosa do Oriente (M42). Telescópio Schmidt-Cassegrain Celestrom 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 10.27- Plêiades (M45). Telescópio refractor apocromático *Takahashi* FS102 $f/8$ (reductor /corrector $f/6$). Filme *Kodak Ektachrome* E200. Tempo total de exposição 45 min. Imagem processada por computador (20020116). Pedro Ré (2002).

Figura 10.28- Nebulosa do Oriente (M42). Telescópio refractor apocromático *Takahashi* FS102 $f/8$ (reductor /corrector $f/6$). Filme *Kodak Ektachrome* E200. Tempo total de exposição 50 min. Imagem processada por computador (20020116). Pedro Ré (2002).

Figura 10.29- Nebulosa do Oriente (M42). Telescópio Schmidt-Cassegrain C14, 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).

Figura 10.30- Imagens de objectos do céu profundo. Telescópio Schmidt-Cassegrain 250 mm $f/10$ (reductor /corrector $f/7$). 1- IC 434, *Kodak Supra* 400, Exposição 115 min., 2- M 57, NPH-400F, TP-2415, 140 min., 3- M 27, *Superia* 800, 30 min., 4- M 20, E200, TP-2415, 248 min., 5- M 13, E200, 75 min., 6- M 3, E200, 60 min., 7- M 81, E200, 140 min., 8- M 82, E200, 45 min., 9- M51, E 200, Tri-X 400 Pro, 200 min., 10- M 31, *Superia* 800, 30 min. Imagens processadas por computador. Paulo de Almeida (2001).

Tabela 10.1- Precisão da guiagem (fotografia do céu profundo através de um telescópio).

Tabela 10.2- Precisão de focagem em função da relação focal.

CAPÍTULO 11: Fotografar o céu profundo (câmaras CCD refrigeradas)

Figura 11.1- 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.

Figura 11.2- Captura e acumulação de luz num detector CCD. 1- Placa de silício, 2- eléctrodos, 3- fotão que gera um electrão capturado, 4- fotões incidentes, 5- fotão absorvido pelo eléctrodo, 6- electrões capturados, 7- fotão que gera um electrão perdido, 8- fotão reflectido.

Figura 11.3- Principais tipos de sensores CCD. 1- transferência inter-linha, 2- transferência progressiva e 3- transferência de matriz. Os elementos de imagem (*pixels*) activos estão representados a branco.

Figura 11.4- Exemplos de sensores CCD (iluminação frontal e retro-iluminados) que equipam algumas câmaras actuais.

Figura 11.5- Eficiência quântica de alguns sensores CCD actuais.

Figura 11.6- Imagem saturada de uma estrela obtida com um sensor CCD sem *antiblooming*. Pedro Ré (2001).

Figura 11.7- Exemplos de diversos tipos de *binning*: 1- *binning* 1x1, 2- *binning* 2x2, 3- *binning* 3x3.

Figura 11.8- Mapa de corrente negra ou *dark current*.

Figura 11.9- Mapa de enviezamento ou *offset*.

Figura 11.10- Mapa de iluminação uniforme ou *flat field*.

Figura 11.11- Determinação da melhor *amostragem*. Unindo com uma linha recta a dimensão do *pixel* com a distância focal obtém-se o valor da *amostragem* (à esquerda do gráfico). As *amostragens* mais adequadas (céu profundo e planetas) são indicadas a vermelho. Roger Sinnott (2001).

Figura 11.12- Dimensões relativas de alguns sensores CCD: 1- Filme 35 mm; 2- *FujiFilm* Fine Pix S1 Pro; 3- *SBIG* ST-1001E; 4- *SBIG* ST1-10E; 5- *SBIG* ST-9E; 6- *SBIG* ST-8E; 7- *SBIG* ST-7E, 8- *SBIG* ST-5C.

Figura 11.13- Constituição de uma câmara CCD. 1- Adaptador standard (rosca M42), 2- janela óptica, 3- obturador mecânico, 4- sensor CCD, 5- circuito de pré-amplificação, 6- ficha de ligação estanque, 7- sistema de arrefecimento, 8- *Peltier*, 9- caixa estanque.

Figura 11.14- Como acoplar uma câmara CCD a um telescópio: 1- Foco principal; 2- Projecção (positiva); 3- Compressão.

Figura 11.15- Exemplos de câmaras CCD acopladas a dois telescópios. 1- *SBIG* ST-7, Refractor apocromático *Takahashi* FS102 $f/8$ (foco principal), 2- *SBIG* ST-7, Refractor apocromático *Takahashi* FS102 $f/6$ (reductor/corrector), 3- *SBIG* ST-7, Telescópio Schmidt-Cassegrain C14, 350 mm $f/6$ (reductor/corrector *Lumicon*) e *flip-mirror-finder*,

4- SBIG ST-7, Telescópio Schmidt-Cassegrain C14, 350 mm *f*/4 (reductor/corrector Meade).

- Figura 11.16- Obtenção de uma mapa de *flat-field*. Telescópio refractor apocromático Takahashi FS102 *f*/6 (reductor/corrector). Programa de aquisição e processamento de imagens Maxim DL/CCD. O painel de controlo da câmara CCD é visível na imagem. Pedro Ré (2002).
- Figura 11.17- Exemplos de três tipos de ecrãs de focagem.
- Figura 11.18- Focagem precisa de uma imagem CCD. Telescópio refractor apocromático Takahashi FS102 *f*/6 (reductor/corrector). Programa de aquisição e processamento de imagens Maxim DL/CCD. Pedro Ré (2002).
- Figura 11.19- Integração e centragem do objecto a fotografar (M 82) (*binning* 2x2, integração 10 s). Telescópio refractor apocromático Takahashi FS102 *f*/6 (reductor/corrector). Programa de aquisição e processamento de imagens Maxim DL/CCD. Pedro Ré (2002).
- Figura 11.20- *Flip-mirror-finder*. Telescópio Schmidt-Cassegrain C14, câmara CCD SBIG ST-7 e ocular com retículo iluminado. Pedro Ré (2000).
- Figura 11.21- Ocular provida de um retículo iluminado, *CCD framing eyepiece*. A utilização desta ocular permite avaliar o campo angular coberto por algumas câmaras CCD.
- Figura 11.22- Imagem não calibrada da galáxia M 82 (*binning* 1x1, integração 2 min). Telescópio refractor apocromático Takahashi FS102 *f*/6 (reductor/corrector). Programa de aquisição e processamento de imagens Maxim DL/CCD. Além da imagem não calibrada é ainda visível o painel de controlo da câmara CCD e o histograma da imagem. Pedro Ré (2002).
- Figura 11.23- Obtenção de uma série de 5 imagens da galáxia M 82 (*binning* 1x1, integração 2 min, calibração ou pré-processamento automática). Telescópio refractor apocromático Takahashi FS102 *f*/6 (reductor/corrector). Programa de aquisição e processamento de imagens Maxim DL/CCD. Pedro Ré (2002).
- Figura 11.24- Câmara CCD SBIG ST-7. 1- Sensor CCD KAF0400 (integração), 2- sensor CCD TC211 (auto-guiagem). Pedro Ré (2002).
- Figura 11.25- Imagem bruta (não calibrada) da galáxia M 82. Telescópio refractor apocromático Takahashi FS102 *f*/8. Tempo de integração 120 s, *binning* 1x1. Câmara CCD SBIG ST-7 (temperatura do sensor CCD -5° C). Pedro Ré (2001).
- Figura 11.26- Mapas de enviezamento ou *offset* (1), corrente negra ou *dark frame* (2), " e iluminação uniforme ou *flat-field* (3). Câmara CCD SBIG ST-7. Pedro Ré (2001).
- Figura 11.27- Imagem calibrada ou pré-processada da galáxia M 82. Telescópio refractor apocromático Takahashi FS102 *f*/8. Tempo total de integração 6 min. (soma de 3 imagens calibradas com 2 min. de integração cada). Câmara CCD SBIG ST-7 (temperatura do sensor CCD -5° C). Pedro Ré (2001).
- Figura 11.28- Calibração básica de uma imagem CCD (M 88 e Supernova SN1999cl). 1- Imagem não calibrada, 2- imagens da corrente negra ou *dark frame*, 3- mapa de corrente negra, 4- imagem calibrada. Telescópio Schmidt-Cassegrain C14 (350 mm) *f*/6. Câmara CCD MX916. Pedro Ré (1999).
- Figura 11.29- Calibração *standard* de uma imagem CCD (M 88, SN1999cl). 1- Imagem não calibrada, 2- imagens da corrente negra ou *dark frame*, 3- mapa de corrente negra, 4- imagem calibrada (calibração básica), 5- imagens de iluminação uniforme ou *flat-field*, 6- imagens da corrente negra ou *dark frame* com o mesmo tempo de integração das imagens de *flat-field*, 7- mapa de *flat-field*, 8- imagem calibrada (calibração *standard*). Telescópio Schmidt-Cassegrain C14 (350 mm) *f*/6. Câmara CCD MX916. Pedro Ré (1999).
- Figura 11.30- Calibração avançada de uma imagem CCD (M 88, SN1999cl). 1- Imagem não calibrada, 2- imagens da corrente negra ou *dark frame*, 3- imagens de enviezamento ou *offset*, 4- mapa de corrente negra escalonável, 5- imagem calibrada (calibração básica), 6- imagens de iluminação uniforme ou *flat-field*, 7- imagens da corrente negra ou *dark frame* com o mesmo tempo de integração das imagens de *flat-field*, 8- mapa de *flat-field*, 9- Imagem calibrada (calibração avançada). Telescópio Schmidt-Cassegrain C14 (350 mm) *f*/6. Câmara CCD MX916. Pedro Ré (1999).
- Figura 11.31- Relação entre o tempo de integração e a informação presente nas imagens CCD. As integrações longas apresentam sempre uma relação sinal/ruído mais elevada, uma vez que de um modo geral o sinal aumenta mais rapidamente que o ruído. Adaptado de Berry e Burnell (2000).
- Figura 11.32- Imagens pré-processadas da galáxia M 51. 1 - Tempo de integração 2 min., 2 - tempo de integração 3 min. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 *f*/8. Câmara CCD SBIG ST-7 (temperatura do sensor CCD -5° C). Pedro Ré (2001).

- Figura 11.33- Combinação de imagens (Soma). 1- Tempo de integração 2 min. (1 imagem), 2- 10 min. (5 x 2 min), 3- 20 min (10 x 2 min.), 4- 30 min (15 x 2 min.). Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7 (temperatura do sensor CCD -5° C). Pedro Ré (2001).
- Figura 11.34- Combinação de imagens (Média). 1- Tempo de integração 2 min. (1 imagem), 2- 10 min. (5 x 2 min), 3- 20 min (10 x 2 min.), 4- 30 min (15 x 2 min.). Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7 (temperatura do sensor CCD -5° C). Pedro Ré (2001).
- Figura 11.35- Histograma de uma imagem CCD do céu profundo. 1- Fundo do céu (*background*), 2- estrelas, 3- estrelas saturadas. Imagem do enxame aberto M 7. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo total de integração 6 min. (Soma de 3 imagens com 2 min.). Pedro Ré (2001).
- Figura 11.36- 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 11.37- Imagens pós-processadas da galáxia M 51 (imagens em cor falsa). 1- Soma, 2- *logarithmic scalling*, 3- *digital develoment 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).
- Figura 11.38- Imagens pós-processadas do enxame globular NGC 5139 (ù Centauri). Em cima imagem original, em baixo imagem processada (*logarithmic scalling* e máscara difusa ou *unsharp mask*). Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS60 f/5,9. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo total de integração 5 min. (Soma de 5 imagens com 1 min.). Imagens processadas com o programa *Maxim DL*. Pedro Ré, Chile (2001).
- Figura 11.39- Efeito da turbulência no padrão de difracção de uma estrela observada através de um telescópio refractor 100 mm (em cima) e de um telescópio Schmidt-Cassegrain 200 mm (em baixo). Imagens geradas com o auxílio do programa *Aberrator 3.0* (<http://aberrator.astronomy.net/>).
- Figura 11.40- Exemplos da utilização de algoritmos de *desconvolução* ou de restauração da imagem. 1- Imagem *convoluída* (original), 2- *Maximum entropy deconvolution* (15 iterações), 3- *Richardson-Lucy* (15 iterações), 4- *van Cittert* (5 iterações). Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo total de integração 60 min. (Soma de 30 imagens com 2 min.). Pedro Ré (2001).
- Figura 11.41- 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 11.42- Roda de filtros motorizada *True Technology*. Câmara CCD MX916 e telescópio Schmidt-Cassegrain 350 mm f/6. Pedro Ré (2001).
- Figura 11.43- Selector manual de filtros. Câmara CCD MX916 e telescópio Schmidt-Cassegrain 350 mm f/6. Pedro Ré (2001).
- Figura 11.44- Construção de uma imagem RGB. Nebulosa M 20. Telescópio Schmidt-Cassegrain 350 mm f/6. Câmara CCD MX916. Tempo total de integração 15 min. (5 min. através de cada filtro). Imagem processada com o programa *Astroart*. Pedro Ré (1999).
- Figura 11.45- Imagens CCD coloridas da nebulosa M 42. Telescópio Schmidt-Cassegrain 100 mm f/6.3 (reductor/corrector *Meade*). Câmara CCD MX916. Tempo total de integração 9 min. (Media 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).
- Figura 11.46- Catálogo Messier completo. Telescópios Schmidt-Cassegrain 350 mm f/6 e 100 mm f/6.3. Câmara CCD Hi-sis 22. Tempos de integração 5 a 20 min. Pedro Ré (1994/1998).
- Figura 11.47- Catálogo Messier completo. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempos de integração 5 a 30 min. Pedro Ré (2000/2001).
- Figura 11.48- Objectos do céu profundo visíveis nos meses de Verão. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempos de integração 5 a 10 min. Pedro Ré (2001).

- Figura 11.49- Imagens do céu profundo obtidas durante uma única sessão de observação (20000607). Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempos de integração 5 a 10 min. Pedro Ré (2000).
- Figura 10.50- Enxame aberto M 11. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo de integração 6 min (soma de 3 imagens com 2 min.). Pedro Ré (2000).
- Figura 10.51- Enxame globular M 71. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo de integração 6 min (soma de 3 imagens com 2 min.). Pedro Ré (2000).
- Figura 10.52- Enxame aberto M 13. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo de integração 6 min (soma de 3 imagens com 2 min., *log scaling*). Pedro Ré (2000).
- Figura 10.53- Enxame aberto M 22. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo de integração 6 min (soma de 3 imagens com 2 min., *log scaling*). Pedro Ré (2000).
- Figura 10.54- Nebulosa planetária M 57. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo de integração 6 min (soma de 3 imagens com 2 min.). Pedro Ré (2000).
- Figura 10.55- Nebulosa de emissão M 8. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo de integração 10 min (soma de 5 imagens com 2 min., *log scaling*). Pedro Ré (2000).
- Figura 10.56- Nebulosa de emissão e de reflexão M 20. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo de integração 10 min (soma de 5 imagens com 2 min.). Pedro Ré (2000).
- Figura 10.57- Galáxia espiral M 81. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/6. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo de integração 20 min (soma de 10 imagens com 2 min., *log scaling*). Pedro Ré (2002).
- Figura 10.58- Galáxia espiral M 106. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo de integração 6 min (soma de 3 imagens com 2 min.). Pedro Ré (2000).
- Figura 10.59- Galáxia espiral NGC 891. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo de integração 6 min (soma de 3 imagens com 2 min.). Pedro Ré (2000).
- Figura 10.60- Imagens de alguns objectos do céu profundo visíveis no Verão. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD MX916. Tempos de integração 6 a 10 min. Pedro Ré (2001).
- Figura 10.61- Imagens de alguns objectos do céu profundo visíveis no Inverno. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/6. Câmara CCD SBIG ST-7. Tempos de integração 6 a 30 min. Pedro Ré (2002).
- Figura 11.62- Nebulosa de Oriente, M 42, M 43. Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8. Câmara CCD SBIG ST-7. Mosaico de duas imagens. Tempo de integração 3 min (soma de 3 imagens com 2 min., *log scaling*). Pedro Ré (2001).
- Figura 11.63- Galáxia espiral M 51. 1- Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8, Câmara CCD SBIG ST-7 (30 min.), 2- Telescópio Schmidt-Cassegrain 350 mm f/6, Câmara CCD SBIG ST-7 (mosaico de duas imagens com 10 min. de integração). Pedro Ré (1999/2000).
- Figura 11.64- Galáxia espiral M 51. 1- Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 f/8, Câmara CCD SBIG ST-7 (40 min.), *digital development processing* (Pedro Ré, 2001), 2- *The National Geographic/Palomar Observatory Sky Survey* (POSS), câmara Schmidt 1250/1830/3070.
- Figura 11.65- Oriente (esquerda) e Híades (Mel 25), o planeta Júpiter é visível no canto superior direito (20020213). Câmara CCD SBIG ST-7 e objectiva 50 mm 1:1.4 (4). Filtro KG3. Tempo de integração 5 min. (soma de 5 imagens de 1 min.). Pedro Ré (2002).
- Figura 11.66- Plêiades (M 45) e Presépio (M 44).). Câmara CCD SBIG ST-7 e objectiva 50 mm 1:1.4 (4). Tempo de integração 5 min. (soma de 5 imagens de 1 min.). Filtro KG3. Pedro Ré (2002).
- Figura 11.67- Cometa C/1996 B2 Hyakutake (960328 22:25 UT). Telescópio Schmidt-Cassegrain 100 mm f/6.3. Tempo de integração 1 min. Pedro Ré (1996).
- Figura 11.68- Cometa C/1995 O1 Hale Bopp (961001 19:10UT). Telescópio Schmidt-Cassegrain 350 mm f/6. Tempo de integração 5 min (soma de 5 imagens com 1 min.). A utilização de um filtro de gradiente rotacional permitiu por em evidência alguns jactos emanados do núcleo do cometa. Pedro Ré (1996).

Figura 11.69- Cometa C/1999 S4 Linear (20000714 01:41UT/02:31UT). Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 $f/8$, Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo de integração 29 min. (soma de 29 imagens com 1 min., *log scalling*). As imagens foram registradas tomando como referência o núcleo do cometa. Pedro Ré (2000).

Figura 11.70- Cometa C/2000 WM1 Linear (20011119, 19:07UT). Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS102 $f/8$, Câmara CCD SBIG ST-7. Tempo de integração 28 min. (soma de 28 imagens com 1 min., *log scalling*). As imagens foram registradas tomando como referência o núcleo do cometa. Pedro Ré (2001).

Figura 11.71- Cometa C/2002 C2 Ikeya-Zhang (20020327, 19:57UTC). Telescópio refractor Apocromático Takahashi FS60 $f/5,9$, Câmara CCD MX916. Tempo de integração 75 s (soma de 5 imagens com 15s). Pedro Ré (2002).

Tabela 11.1- Campo coberto por alguns sensores CCD.

Tabela 11.2- Dimensão angular coberta por cada *pixel* ou *amostragem* de alguns sensores CCD.

Tabela 11.3- Características de algumas câmaras CCD. As diferentes câmaras foram agrupadas em função das características dos sensores CCD que as equipam.