

Técnicas Observacionais

AST-203-4 - 2026.2

Professores: Dr. Ted Leandro de Almeida e Dr. Felipe Almeida-Fernandes

https://monolipo.github.io/lectures/ast203_2026_ptbr.html

https://www.astrofelipe.com/lectures/ast_203_2026_2.html

Prova 2

Estudante: GABARITO

Data: 04/08/26

Esta avaliação é composta por:

- Questões discursivas (6 questões, 2,0 pontos cada).
- **Apenas as cinco maiores notas serão consideradas.**
- Pontuação máxima: 10,0 pontos.
- Duração: 2:40 horas (+20 min).
- Os pontos extras recebidos nas aulas serão adicionados posteriormente, não podendo o total (prova + pontos extras) ultrapassar a pontuação máxima.

Durante a prova:

- Não é permitida consulta a nenhum tipo de material.
- Todas as respostas devem ser escritas com caneta azul ou preta.
- As fórmulas necessárias estão ao final da prova. Mostre o raciocínio e as unidades.

Boa prova!

Questão 1 - Resolução, seeing e amostragem

Um telescópio de abertura $D = 0,60$ m e distância focal efetiva $f = 4,80$ m será usado em $\lambda = 600$ nm com uma câmera CCD com pixels de tamanho $p = 9,0$ μ m. O seeing da noite é $1,5''$. O universo, infelizmente, não aceita recurso contra a difração.

a) Explique a origem física do limite de resolução por difração e descreva como a abertura D e o comprimento de onda λ afetam esse limite.

Como a abertura circular é finita, então a frente de onda sofre difração e uma fonte pontual irá formar o padrão de Airy e não um ponto. Duas fontes só ficam resolvidas quando seus padrões ficam separados. Pelo critério de Rayleigh, $\theta_r = 1,22 \lambda / D$. Então, quanto maior o D , diminui o θ_r (melhora a resolução) e quanto maior o λ aumenta o θ_r (piora).

b) Calcule a resolução angular de Rayleigh e a escala de placa. Considerando que uma resolução deve ser amostrada por pelo menos dois pixels, diga se a câmera amostra adequadamente o limite de difração.

$\theta_r = 1,22 (600 \times 10^{-9}) / 0,6 \Rightarrow 1,22 \times 10^{-6}$ rad. Em segundos de arco $\rightarrow \theta_r = 1,22 \times 10^{-6} \times 206265 \Rightarrow 0,252''$

$s = 206265 \times \frac{9 \times 10^{-6}}{4,80} \approx 0,387''/\text{pix}$

Esse limite ocupa $0,252 / 0,387 \approx 0,65$ pixel.

Seu valor pelo menos 2 pixels $s \leq 0,126''/\text{pix}$, então está subamostrado

c) Julgue as afirmações como verdadeiras (V) ou falsas (F) e justifique cada uma.

✓ I. O seeing de $1,5''$ corresponde a aproximadamente 4 pixels.

✓ II. Nessa noite, a atmosfera domina a resolução observada.

✗ III. Duplicar a abertura reduziria aproximadamente pela metade a FWHM observada, mesmo com o seeing inalterado.

I $\rightarrow$ (V) $1,5 / 0,387 = 3,88$ pixels no censo de 4 pixels.

II $\rightarrow$ (V) $1,5''$ é bem maior que $0,252''$ então o seeing domina.

III $\rightarrow$ (F) dobrar D reduziria apenas o limite de difração para $0,126''$. Como o seeing é $1,5''$, a FWHM não mudaria basicamente nada.

Questão 2 - Do fóton ao ADU

Em um pixel de um CCD chegam $N_\gamma = 40.000$ fótons. A eficiência quântica é $\eta = 0,75$, o ganho é $g = 2,0 \text{ e}^-/\text{ADU}$, o bias é $B = 800 \text{ ADU}$, o full well é 100.000 e^- e o ADC tem 16 bits. (dica: utilize $\sqrt{30.000} \approx 170$)

a) Qual cadeia descreve corretamente o caminho do sinal?

- (A) Fóton $\rightarrow$ ADU $\rightarrow$ elétron $\rightarrow$ poço de potencial $\rightarrow$ amplificador.
(B) Fóton $\rightarrow$ fotoelétron $\rightarrow$ armazenamento de carga $\rightarrow$ transferência/leitura $\rightarrow$ amplificação $\rightarrow$ digitalização.
(C) Fóton $\rightarrow$ bias $\rightarrow$ dark $\rightarrow$ rede de difração $\rightarrow$ ADU.
(D) Elétron $\rightarrow$ fóton $\rightarrow$ conversão analógica $\rightarrow$ pixel.

Assinale e justifique brevemente cada etapa da alternativa escolhida.

O fóton absorvido gera um fotoelétron e a carga fica armazenada no poço de potencial do pixel. Depois da exposição, as cargas são transferidas até a saída. O sinal é convertido em tensão e amplificado. No final, o ADC digitaliza o valor em ADU que é gravado no arquivo RAW.

b) Qual conjunto é compatível com os dados?

- (A) $N_e = 30.000 \text{ e}^-$; sinal $\approx 15.800 \text{ ADU}$; $\sigma_{\text{Poisson}} \approx 170 \text{ e}^-$.
(B) $N_e = 40.000 \text{ e}^-$; sinal $\approx 20.800 \text{ ADU}$; $\sigma_{\text{Poisson}} \approx 40.000 \text{ e}^-$.
(C) $N_e = 53.333 \text{ e}^-$; sinal $\approx 27.500 \text{ ADU}$; $\sigma_{\text{Poisson}} \approx 230 \text{ e}^-$.
(D) $N_e = 30.000 \text{ e}^-$; sinal $\approx 60.800 \text{ ADU}$; $\sigma_{\text{Poisson}} \approx 15.000 \text{ e}^-$.

Mostre o raciocínio essencial.

$$N_e = \eta N_\gamma = 0,75 \times 40000 = 30000 \text{ e}^-$$

$$\text{ADU} = 800 + \frac{30000}{2} = 15800 \text{ ADU}$$

$$\sigma_p = \sqrt{30.000} \approx 170 \text{ e}^-$$

c) Julgue como V ou F e justifique.

- ✓ I. Acima do bias, o ADC consegue representar cerca de $1,3 \times 10^5$ elétrons; portanto, o full well limita antes do ADC.
✓ II. Com 150.000 fótons incidentes, seriam produzidos em média 112.500 elétrons, ultrapassando o full well.
F III. Mesmo acima do full well, a resposta continuaria rigorosamente linear desde que o ADC ainda não tivesse saturado.

I $\rightarrow$ (V) O full well limita antes do ADC pois
 $2 \times (65535 - 800) \approx 1,29 \times 10^5 \text{ e}^-$ é maior que 100.000 e^-

II $\rightarrow$ (V) $0,75 \times 150000 = 112.500 \text{ e}^-$, acima do full well

III $\rightarrow$ (F) Acima do full well o pixel satura ou perde linearidade, mesmo que o conversor tenha níveis digitais disponíveis.

Questão 3 - Fotometria de abertura e diferencial

Em uma imagem, a soma dentro da abertura da estrela-alvo é 120.000 ADU em 100 pixels. O céu local estimado no anel é 200 ADU/pixel. A estrela de comparação possui fluxo líquido de 200.000 ADU na mesma exposição. (dica de ouro: $\log_{10}(2) \approx 0,30$)

a) Qual resultado é correto?

- ☒ (A) $F_{\text{alvo}} = 100.000 \text{ ADU}$ e $\Delta m \approx +0,75 \text{ mag}$; a comparação é mais brilhante.
(B) $F_{\text{alvo}} = 120.000 \text{ ADU}$ e $\Delta m \approx -0,55 \text{ mag}$; o alvo é mais brilhante.
(C) $F_{\text{alvo}} = 20.000 \text{ ADU}$ e $\Delta m \approx +2,5 \text{ mag}$; ambas têm o mesmo brilho.
(D) $F_{\text{alvo}} = 100.000 \text{ ADU}$ e $\Delta m = 0$; transparência cancela tudo.

Justifique.

$$\text{Céu na abertura} = 100 \times 200 = 20000 \text{ ADU}$$

$$F_{\text{alvo}} = 120000 - 20000 \rightarrow 100000 \text{ ADU}$$

$$\frac{F_{\text{alvo}}}{F_{\text{comp}}} = 0,5 \quad \Delta m = -2,5 \log_{10}(2) \approx +0,75 \text{ mag}$$

Ja q-e Δm e' positivo então o alvo e' mais fraco que a comparação.

b) Explique como escolher e usar o anel de céu. Por que uma abertura arbitrariamente grande não é necessariamente melhor, mesmo contendo uma fração maior da luz da estrela?

O anel deve amostrar o céu sem incluir a PSF, vizinhos ou artefatos.

Abertura grande inclui mais fluxos estelares, mais também mais céu, ruído, contaminação e sensibilidade ~~de~~ a gravações.

c) Julgue como V ou F e justifique.

- ✓ I. Uma transmissão atmosférica multiplicativa idêntica para alvo e comparação cancela na razão de fluxos.
✓ II. Diferenças de cor, extinção diferencial e nuvens espacialmente não uniformes podem deixar resíduos.
✗ III. A fotometria diferencial corrige automaticamente saturação e não linearidade do detector.

✓ 1) Efeitos multiplicativos comuns cancelam na razão.

✓ 2) Efeitos diferenciais permanecem.

✗ 3) Saturação e não linearidade não são corrigidas pelas razões de fluxos.

Questão 4 - Contínuo, deslocamento Doppler e medidas de linha

O contínuo de uma estrela apresenta máximo próximo de 500 nm. A linha H α , cujo comprimento de onda de repouso é 656,28 nm, é observada em 656,83 nm. (use $c = 3,0 \times 10^5$ km/s e como dica: $0,55/656 = 8,4 \times 10^{-4}$)

a) A temperatura estimada pela lei de Wien está mais próxima de:

- (A) 580 K
- (B) 2.900 K
- ☒ (C) 5.800 K
- (D) 58.000 K

Assinale e explique por que a estimativa não transforma a atmosfera estelar real em um corpo negro perfeito.

$$T = \frac{2,897 \times 10^{-3}}{500 \times 10^{-9}} \approx 5,8 \times 10^3 \Rightarrow 5800 \text{ K}$$

Estrelas reais tem linhas opacidades dependentes de λ e gradientes de temperatura (não são corpos negros perfeitos)

b) A velocidade radial aproximada é:

- (A) -250 km/s, aproximação;
- (B) +25 km/s, afastamento;
- ☒ (C) +250 km/s, afastamento;
- (D) +2.500 km/s, afastamento.

Assinale e justifique o sinal.

$$\Delta\lambda = 656,83 - 656,28 = +0,55 \text{ nm}$$

$$\frac{v_r}{c} \approx \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = 8,4 \times 10^{-4} \Rightarrow v_r \approx 3 \times 10^5 \times 8,4 \times 10^{-4} \approx 252 \text{ km/s}$$

O sinal positivo indica Redshift (afastamento)

c) Explique o que medem o centróide, a FWHM e a largura equivalente de uma linha. Comente por que o centróide costuma ser preferível ao pixel isolado de maior ou menor intensidade.

Centróide: posição média da linha

FWHM: largura a meia altura

largura equivalente: área normalizada em relação ao contínuo

O centróide usa vários pixels e é menos vulnerável a ruído/pinchagem que um mínimo/máximo isolado.

Questão 5 - Masters, normalização e diagnóstico de calibração

Uma redução dispõe de 36 bias e 12 flats por filtro. O ruído de leitura de um bias individual é $6 e^-$. Você combina os flats raw, normaliza o resultado e só depois subtrai o bias master da imagem científica.

a) A contribuição aleatória aproximada do master bias construído por média de 36 imagens é:

(A) $6 e^-$

(B) $3 e^-$

☒ (C) $1 e^-$

(D) $0 e^-$

Assinale, justifique e compare brevemente mediana com média acompanhada de rejeição sigma.

$$\sigma_{\text{master}} = \frac{6}{\sqrt{36}} = \frac{6}{6} = 1 e^-$$

A mediana é robusta contra ruídos cósmicos e espúrios mas tem eficiência estatística um pouco menor.

A média com rejeição de 3σ remove outliers e preserva melhor a estatística dos pixels válidos.

b) Julgue como V ou F e justifique.

- ☒ I. Os flats individuais devem ser corrigidos de bias antes de representar apenas a resposta multiplicativa.
- ☒ II. É adequado normalizar os flats corrigidos e combiná-los de forma robusta.
- ☐ III. Dividir a ciência por um flat que ainda contém bias é equivalente à calibração correta.

→ O bias é aditivo e deve ser removido de cada flat antes da normalização.

→ Sim!

→ Dividir por um flat que contém bias mistura uma parcela aditiva com a resposta multiplicativa e a redução não está correta.

c) Explique os padrões ou erros fotométricos esperados ao usar flat de filtro/configuração incorretos ou um flat não normalizado. Por que um master bias de baixo ruído não remove o ruído de leitura já introduzido na ciência?

Flat errado deixa gradientes, poeira/virhetagem e erros dependentes de posição de filtro. O flat não normalizado altera a escala global.

O master bias remove o offset (média), mas não o ruído de leitura da ciência, porque a parte aleatória já entrou na leitura.

Questão 6 - Cálculo de SNR com o SGS2.0 do Miniobservatório do INPE

Deseja-se obter, com o SGS2.0, $SNR = 100$ no contínuo próximo de 600 nm para uma estrela de $m_V = 10$. (Para $V = 10$, a estimativa é $SNR = 3,1$ em 120 segundos)

a) Partindo de $SNR \approx 3,1$ em 120 s, o tempo necessário para $SNR = 100$ é mais próximo de:

(A) 34 min

(B) 3,4 h

☒ (C) 34 h

(D) 340 h

Assinale e justifique pela razão quadrática entre SNR e tempo.

Como SNR é proporcional a $\sqrt{t}$

$$t = 120 \left(\frac{100}{3,1} \right)^2 \approx 120 \times 1040 \approx 1,25 \times 10^5 \text{ s}$$

Convertendo $\rightarrow \frac{1,25 \times 10^5}{3600} \approx 34,7 \text{ h}$. O mais próximo é 34 h

b) Avalie a viabilidade do pedido. Explique como o resultado deveria modificar a pergunta científica, a amostra, a SNR requerida ou a escolha de instrumento/telescópio. Tempo pedido sem cálculo é desejo; às vezes um desejo muito comprido.

Pedido inviável para um único alvo nessa configuração. O tempo excede uma noite e ainda faltam calibrações e oven heads. Melhor reduzir o SNR ao mínimo cientificamente possível. Trocar de alvos (mais brilhantes) ou talvez trocar a região espectral.

c) Se o requisito puder ser reduzido de $SNR = 100$ para $SNR = 20$, o tempo passa a ser aproximadamente:

(A) o mesmo

(B) metade

(C) 1/5

☒ (D) 1/25, isto é, cerca de 1,4 h

Assinale e comente o preço científico da redução de SNR.

$$\frac{t_{20}}{t_{100}} = \left(\frac{20}{100} \right)^2 = \frac{1}{25} \text{ então } t_{20} \approx \frac{34,7}{25} \approx 1,39 \text{ h}$$

Assim dá pra executar o programa mas a precisão das medidas mais fracas, pequenos deslocamentos e parâmetros derivados ficam menos confiáveis.