

# 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://monolipo.github.io/lectures/ast203_2026_ptbr.html)

[https://www.astrofelipe.com/lectures/ast\\_203\\_2026\\_2.html](https://www.astrofelipe.com/lectures/ast_203_2026_2.html)

## Prova 2

**Estudante:** \_\_\_\_\_

**Data:** \_\_\_\_\_

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  $p = 9,0$   $\mu\text{m}$ . 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  $\lambda$  afetam esse limite.

---

---

---

---

---

---

---

---

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.

---

---

---

---

---

---

---

---

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.

---

---

---

---

---

---

---

---

## 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  $100.000 \text{ e}^-$  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.

---

---

---

---

---

---

**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.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**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.
- III. Mesmo acima do full well, a resposta continuaria rigorosamente linear desde que o ADC ainda não tivesse saturado.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

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

Justifique.

---

---

---

---

---

---

**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?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**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.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

**Questão 4 - Contínuo, deslocamento Doppler e medidas de linha**

O contínuo de uma estrela apresenta máximo próximo de 500 nm. A linha H $\alpha$ , 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.

---

---

---

---

---

---

---

---

**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.

---

---

---

---

---

---

---

---

**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.

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 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.

---

---

---

---

---

---

---

---

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.

---

---

---

---

---

---

---

---

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?

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

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

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

**a)** Partindo de  $\text{SNR} \approx 3,1$  em 120 s, o tempo necessário para  $\text{SNR} = 100$  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.

---

---

---

---

---

---

---

**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.

---

---

---

---

---

---

---

**c)** Se o requisito puder ser reduzido de  $\text{SNR} = 100$  para  $\text{SNR} = 20$ , 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.

---

---

---

---

---

---

---

Para facilitar a vida de vocês, aqui estão todas as fórmulas necessárias para a resolução desta prova:

$$\theta_R = 1,22 \frac{\lambda}{D} \quad s = 206265 \frac{p}{f} \quad \text{FWHM}_{\text{pix}} = \frac{\text{seeing}}{s}$$

$$N_e = \eta N_\gamma \quad \text{ADU} = B + \frac{N_e}{g} \quad \sigma_{\text{Poisson}} = \sqrt{N_e} \quad \text{ADU}_{\text{max}} = 2^n - 1$$

$$F_{\text{líquido}} = C_{\text{ap}} - n_{\text{pix}} B_{\text{céu}} \quad \Delta m = m_{\text{alvo}} - m_{\text{comp}} = -2,5 \log_{10} \left( \frac{F_{\text{alvo}}}{F_{\text{comp}}} \right)$$

$$\lambda_{\text{max}} T = 2,897 \times 10^{-3} \text{ m K} \quad \frac{v_r}{c} \simeq \frac{\lambda_{\text{obs}} - \lambda_0}{\lambda_0}$$

$$\sigma_{\text{master}} \simeq \frac{\sigma_{\text{individual}}}{\sqrt{N}} \quad I_{\text{corr}} = \frac{I_{\text{raw}} - MB}{NF}$$

$$\text{SNR}_{600}(m_V, t) \simeq 200 \cdot 10^{-0,3010(m_V - 4)} \sqrt{\frac{t}{120 \text{ s}}} \quad \text{SNR} \propto \sqrt{t}$$