

AST-203-4 | 2026.2
Técnicas Observacionais

Aula 11

Processamento de Dados



Links úteis



Site do Curso
2026.2 (bloco 2)



Descrição
do curso



Calendário de
aulas e atividades

			Qua	Qui	Sex	Sab
Julho			1	2 Aula 6	3	4
Dom	Seg	Ter	5	6	7 Prova #1	8
9	10	11	12	13	14 Aula 7	15
16	17	18	19	20	21 Aula 9	22
23	24	25	26	27	28 Aula 11	29
30	31					

Agosto

Dom	Seg	Ter	Qua	Qui	Sex	Sab
1	2	3 Prova #2	4	5 Aula 13	6	7
8	9	10 Aula 14	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

Bloco 2 - Ted

☐ Aula 7 - 14/07

Telescópios

☐ Aula 8 - 16/07

Detectors

☐ Aula 9 - 21/07

Imageamento e fotometria

☐ Aula 10 - 23/07

Espectroscopia

☐ Aula 11 - 28/07

Processamento de dados

☐ Aula 12 - 30/07

Pedido de tempo

☐ Atividade #2

Disponibilizada: 28/07

Data de Entrega: 10/08

☐ Prova #2 - 04/08

Processamento de dados:

Redução e calibração das observações astronômicas

Sugestão de leitura:

Howell, S. - Handbook of CCD Astronomy, 2006 Cambridge Univ. Press

Redução de espectros no óptico:

<https://warwick.ac.uk/fac/sci/physics/research/astro/people/steeghs/spectroscopyii.pdf>

Mas primeiro

A imagem raw (bruta mesmo)

Em unidades de ADU, representamos um pixel bruto como sendo

$$R_{ij} = B_{ij} + q_{ij} (S_{ij} + K_{ij}) + tD_{ij} + \epsilon_{ij}$$

B é o bias eletrônico

q é a sensibilidade do pixel e iluminação instrumental

S é o sinal do objeto

K é o sinal do céu

D é a corrente de escuro por unidade de tempo

t é o tempo de exposição

ϵ são ruídos aleatórios

Efeitos aditivos: **B, D, K** são removidos por subtração

Efeitos multiplicativos: **q** são corrigidos por divisão

Essa é a ideia geral das calibrações básicas:

Bias e darks são **subtraídos** enquanto o **flat** é **dividido**

Bias

O detector e a eletrônica adicionam intencionalmente um nível constante ao sinal para evitar que flutuações negativas sejam truncadas pelo conversor de ADU.

Uma exposição de Bias é obtida com:

- Obturador fechado
- menor tempo de exposição permitido (por isso alguns chamam de zero ao invés de bias)
- Mesma configuração e temperatura das imagens científicas

O Bias tem:

$$B_{ij}^{(k)} = B_{ij}^{\text{padrão}} + n_{ij}^{\text{leitura}}$$

O primeiro termo pode ser a “escada” ou o offset proposital fixo, e o segundo muda randomicamente de exposição para exposição

Bias (Master)

Com várias imagens (50 por exemplo)

$$\text{MB}_{ij} = \text{combine} \left(B_{ij}^{(1)}, B_{ij}^{(2)}, \dots, B_{ij}^{(N)} \right)$$

Pode-se usar:

- Mediana, que é robusta contra eventos espúrios
- ou a média com rejeição sigma, que costuma apresentar melhor eficiência estatística

Se o ruído de leitura for R (de uma única imagem), a combinação por média de N bias reduz aproximadamente a contribuição aleatória para

$$\frac{R}{\sqrt{N}}$$

Então o master bias mede o nível médio e a estrutura espacial do bias. Ele não remove o ruído de leitura na imagem final. O ruído de leitura já foi introduzido durante a leitura na observação e continua na medida.

Flat-field

O flat é o seu melhor amigo e deve ser considerado para ir ao seu casamento como padrinho. Mesmo que um detector receba uma iluminação espacialmente uniforme, os pixels não fornecem exatamente as mesmas contagens por conta de:

- variações de eficiência quântica
- poeira
- vinhetagem
- gradientes ópticos
- diferenças de ganho
- resposta do filtro e da óptica.

Para cada flat individual, temos que fazer:

$$F'_{ij,k} = F_{ij,k} - \text{MB}_{ij} - t_k \text{MD}_{ij}$$

Como (por se tratar de lâmpadas de filamento) a iluminação pode variar em cada imagem, fazemos a normalização e depois combinamos as imagens normalizadas:

$$f_{ij,k} = \frac{F'_{ij,k}}{\text{median}(F'_k)}$$

$$\text{NF}_{ij} = \text{combine}(f_{ij,1}, f_{ij,2}, \dots)$$

Como se dá a redução então (aqui com o dark):

Com um master bias, um master dark por unidade de tempo e um flat normalizado:

$$I_{ij} = \frac{R_{ij} - MB_{ij} - t_{\text{sci}}MD_{ij}}{NF_{ij}}$$

Após essa redução básica, partimos para as calibrações intermediárias:

- máscara de pixels ruins;
- correção de raios cósmicos;
- correção de fringing, quando necessária;

E depois, as medições e gerações de produtos de fato:

- astrometria;
- medida do fundo;
- fotometria.

Ubuntu e IRAF: dois ambientes, duas sintaxes

O shell organiza arquivos; o IRAF executa as tarefas astronômicas.

Shell do Ubuntu

Use para navegar em pastas, criar listas, renomear arquivos e chamar programas externos.

CL do IRAF

Use para combinar imagens, fazer aritmética, extrair espectros e aplicar calibrações.

A ponte

Dentro do IRAF, ! envia o comando ao Ubuntu; & mantém o programa aberto em segundo plano.

Exemplo de início de sessão

```
cd ~/IRAF
xterm -fg white -bg black
cl
```

- prompt\$ → você está no shell do Ubuntu
- cl> → você está dentro do IRAF
- ! → execute como comando do sistema
- & → deixe o programa rodando em segundo plano

Comandos do Ubuntu dentro do IRAF

```
!ds9 &
!more lista_in
!sed "s/.fits/b.fits/g" lista1 > lista2
```

- @lista → IRAF lê nomes de arquivos linha por linha
- * → curinga para qualquer sequência de caracteres
- > → grava a saída em um arquivo
- < → usa um arquivo como entrada de comandos

Navegação no Ubuntu: caminhos, pastas e curingas

Antes de reduzir dados, confirme onde você está e quais arquivos serão usados.

Caminhos	Comandos	Curingas
/ raiz do sistema ~ pasta pessoal . pasta atual .. pasta acima /mnt/c/ disco C: no WSL /mnt/d/ disco D: no WSL	pwd mostra a pasta atual cd muda de pasta cd .. sobe uma pasta ls lista arquivos ls -l um arquivo por linha more mostra arquivo-texto	* qualquer sequência HD*.fits arquivos que começam com HD *f.fits arquivos terminando em f.fits bias*.fits todos os bias flat*.fits todos os flats

```
pwd
cd /mnt/d/Workdir/20260725/fab
ls bias*.fits flat*.fits
```

Regra prática

Antes de processar com listas, use pwd para conferir a pasta e ls para conferir os arquivos selecionados.

Atenção
Linux diferencia maiúsculas e minúsculas: HD10700.fits, Hd10700.fits e hd10700.fits são nomes diferentes.

Listas e substituições: automatizando nomes de arquivos

Uma boa redução depende de listas corretas de entrada e saída.

Redirecionamento

> grava a saída em um arquivo.
>> acrescenta ao final.
Use para transformar a saída de ls em uma lista.

```
ls HD*.fits thar*.fits > lista1  
more lista1
```

sed

Substitui texto dentro de cada linha.
É útil para criar nomes de saída preservando a ordem. No windows é abrir, modificar e salvar como.

```
sed "s/.fits/b.fits/g" lista1 > lista2  
sed "s/b.fits/bf.fits/g" lista2 > lista3
```

printf e paste

printf repete texto; paste cola listas linha a linha.
São úteis para refspect e lampadas.

```
printf "hear.fits\n%.0s" {1..3} > lista_hear  
paste -d " " lista1 lista2 > lista_refspect
```

Como o IRAF interpreta listas

- @lista1 significa “use todos os arquivos escritos em lista1”.
- A linha 1 de uma lista de entrada corresponde à linha 1 da lista de saída.
- Se as listas tiverem tamanhos diferentes, o processamento fica inconsistente.

```
imarith @lista1 - bias.fits @lista2  
imarith @lista2 / flatn.fits @lista3
```

Boa prática

Teste padrões perigosos com ls antes de usar mv, cp ou rm.

IRAF para bias, flat e recorte

Essas tarefas implementam a calibração instrumental básica.

Tarefas principais

imcombine combina imagens
imstat mede estatísticas
imarith faz aritmética
imcopy copia ou recorta
display mostra no DS9
implot plota perfil/linha/coluna

Sequência típica

```
imcombine bias*.fits bias.fits  
imcombine flat*.fits flat.fits  
imstat flat.fits  
imarith flat.fits / MEAN flatn.fits
```

```
imarith @lista1 - bias.fits @lista2  
imarith @lista2 / flatn.fits @lista3  
imcopy @lista4 @lista5
```

Equação por trás da sintaxe

imagem corrigida = (imagem bruta – master bias) / flat normalizado

Notação de seção de imagem

arquivo.fits[50:500,*] significa: colunas 50 a 500 e todas as linhas; o * mantém todo o eixo selecionado.

IRAF para extração e calibração espectroscópica

Depois do bias e flat, o espectro ainda precisa sair de pixel para comprimento de onda.

Tarefas e significado

apall define abertura, background e traço; extrai 1D
identify marca linhas conhecidas da lâmpada; ajusta $\lambda(x)$
reidentify reaplica a solução a outras lâmpadas
refspec associa cada ciência à sua lâmpada
dispcor aplica $\lambda(x)$ ao espectro extraído
splot inspeciona e mede espectros 1D

Comandos-modelo

```
apall HD*f.fits format=oned  
identify hear_HD10700_0001f.fits  
reidentify hear_HD10700_0001f hear_HD*
```

```
refspec HD... reference=hear...  
dispcor *f.0001.fits *%f.0001.fits%d.fits%
```

Tradução matemática

apall produz $f(x)$; identify ajusta $\lambda(x)$; dispcor produz $f(\lambda)$.

Teclas interativas úteis

w/e/e = zoom • w/a = mostrar tudo • m = marcar • d = deletar • f = fitar • q = sair/aceitar • b = editar background

Mão na massa

O pacote inteiro de instalação do IRAF
está na página do curso