

Analise de protoestrelas com dados observacionais abertos

HUGO ATAIDES GOMES* IVAN SOARES FERREIRA †

Instituto de Física - Universidade de Brasília - UnB
Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte
70919-970 Brasília / DF

Resumo

O estudo de regiões densas do meio interestelar é importante, pois são nessas regiões em que nascem as estrelas. Estas regiões são chamadas de nuvens moleculares e são frias, o que torna necessária sua observação na faixa do infravermelho ou microondas. Telescópios espaciais disponibilizam livremente os dados de suas observações, tal como o Telescópio Espacial Herschel, que observa na faixa do Infravermelho Distante (FIR, do inglês Far Infrared, 25-350 μm). Discutimos aqui como ter acesso a esses dados e também algumas funcionalidades para se analisar imagens de objetos estelares.

1 Introdução

O processo de formação de uma estrela [1] inicia-se quando, devido a várias possíveis causas, uma nuvem molecular fria do meio interestelar colapsa sob efeito de sua própria gravidade, até que sua pressão e temperatura centrais sejam suficientes para iniciar a fusão nuclear, fenômeno por meio do qual uma estrela produz energia. Neste estágio, a pressão da radiação resultante da fusão é responsável por causar expansão na estrela, enquanto sua gravidade a faz contrair. Quando há o equilíbrio dessas forças, diz-se que a estrela atingiu o equilíbrio hidrostático e a classificamos como estrela da sequência principal.

É longo, porém, mais de 10^5 anos, o tempo necessário para que uma protoestrela - uma estrela jovem - atinja a sequência principal, podendo às vezes nem atingi-la. O fator mais determinante no processo de sua contração gravitacional é a massa inicial da nuvem molecular que lhe dará origem. Se sua massa inicial for muito pequena, $M \leq M_J$ (massa de Jeans¹), a nuvem não produzirá um objeto colapsado. Por conseguinte, para que o objeto colapsado resultante da contração da nuvem molecular seja capaz de realizar fusão nuclear, sua massa deve ser $M > 0,08 M_\odot$ (M_\odot representa uma massa solar, da ordem de 10^{33} g).

*hugoataidesgomes@gmail.com

†physicaeorganum@gmail.com

¹ $M_J \simeq 1,4 \times 10^{-10} \frac{T^{3/2}}{\rho^{1/2} \mu^{3/2}} M_\odot$, em que T é a temperatura do gás em K, ρ é a densidade em g/cm^3 e μ é o peso molecular médio.

Conhecer as características de uma protoestrela possibilita saber como será seu processo evolutivo, se chegará à sequência principal, se se tornará uma estrela anã, gigante vermelha, estrela de nêutrons, etc. Além disso, o estudo de regiões densas do meio interestelar possibilita saber quais delas são propícias à formação de estrelas.

A partir de observações no infravermelho e microondas com telescópios espaciais, podem-se obter dados sobre nuvens moleculares e protoestrelas que permitirão classificá-las para, então, entendermos seus processos evolutivos.

2 Diagrama de Hertzsprung-Russell

Os astrofísicos Ejnar Hertzsprung e Henry Norris Russell desenvolveram, independentemente, um diagrama que relaciona a luminosidade de uma estrela com sua temperatura superficial, também chamada de temperatura efetiva. Este diagrama é conhecido como diagrama HR. Seu eixo horizontal, representado pela temperatura efetiva, geralmente em Kelvins, tem sentido crescente da direita para a esquerda. O eixo vertical, que cresce para cima, é representado pela luminosidade da estrela, geralmente expressa em termos da luminosidade do Sol.

Pela lei de Stefan-Boltzmann, a luminosidade de uma estrela é dada por:

$$L = 4\pi r^2 \sigma T_{eff}^4 \quad (1)$$

em que r é o raio da estrela, σ é a constante de Stefan-Boltzmann ($\sigma \approx 5,67 \cdot 10^{-8} W m^{-2} K^{-4}$) e T_{eff} é sua temperatura efetiva.

Pode-se ver a dependência entre luminosidade e temperatura efetiva, que também é função do raio. Ao localizarmos uma estrela no diagrama HR, podemos estimar seu raio em comparação a outras estrelas. Vejamos, por exemplo, como obter informações de uma gigante vermelha no diagrama HR. Este tipo de estrela é caracterizada por baixas temperaturas superficiais, menores que $5000 K$, o que explica sua coloração avermelhada. Elas são localizadas na parte superior direita do diagrama HR, o que indica que são frias e muito luminosas. Pela relação (1), como se tem uma temperatura muito baixa, resta que o raio possui valor muito elevado, característica mais marcante de uma gigante vermelha, como é evidente em seu nome.

As estrelas na sequência principal são as mais comuns de se encontrar no Universo, pois passam a maior parte de sua vida nessa fase. Durante este estágio, elas formam uma faixa característica em um diagrama HR, localizada em seu centro. Por este motivo, esta faixa do diagrama é sua parte mais populosa.

Já as protoestrelas, que possuem baixa temperatura, da ordem de $T \approx 10^3 K$, emitem pouquíssima luz visível e, por isso, devem ser observadas na região infravermelha do espectro eletromagnético. Portanto, elas são localizadas na parte inferior direita do diagrama HR.

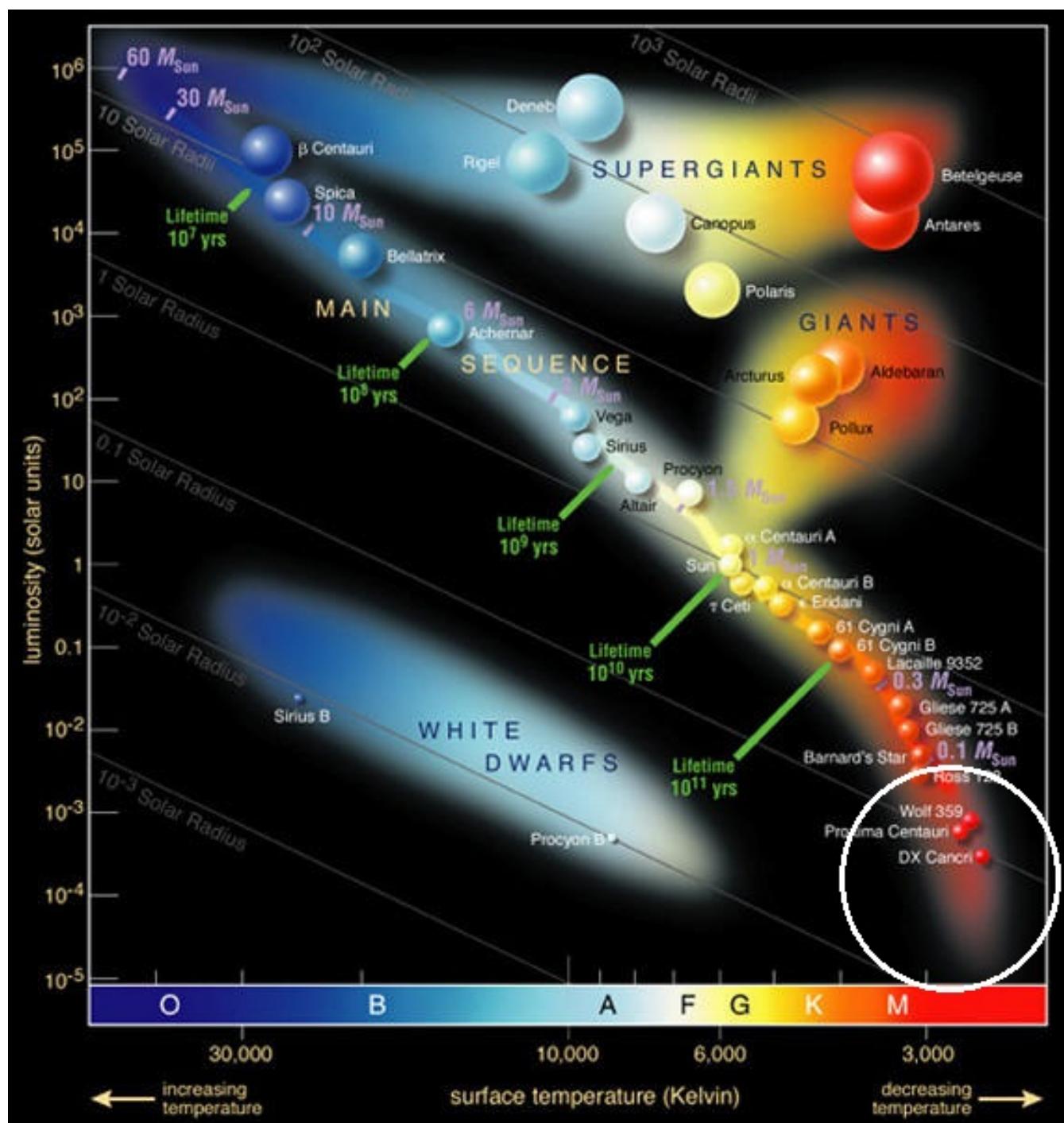


Figura 1: Diagrama HR. O nosso grifo indica a área em que estão localizadas as protoestrelas.

3 Telescópio Espacial Herschel

O Telescópio Espacial Herschel [2] foi lançado em 2009, sendo o maior telescópio de infravermelho até então construído, com uma abertura de 3,5 m.



Figura 2: Ilustração do Observatório Espacial Herschel. Fonte: <http://hereschel.cf.ac.uk/>

É munido de três instrumentos, que funcionam como câmeras ou espectrômetros, variando e combinando suas observações em faixas submilimétricas e no infravermelho do espectro eletromagnético, desde aproximadamente 55 a 672 μm . Estes instrumentos são: **Heterodyne Instrument for the Far Infrared** (HIFI), **Photodetector Array Camera and Spectrometer** (PACS) e **Spectral and Photometric Imaging Receiver** (SPIRE).

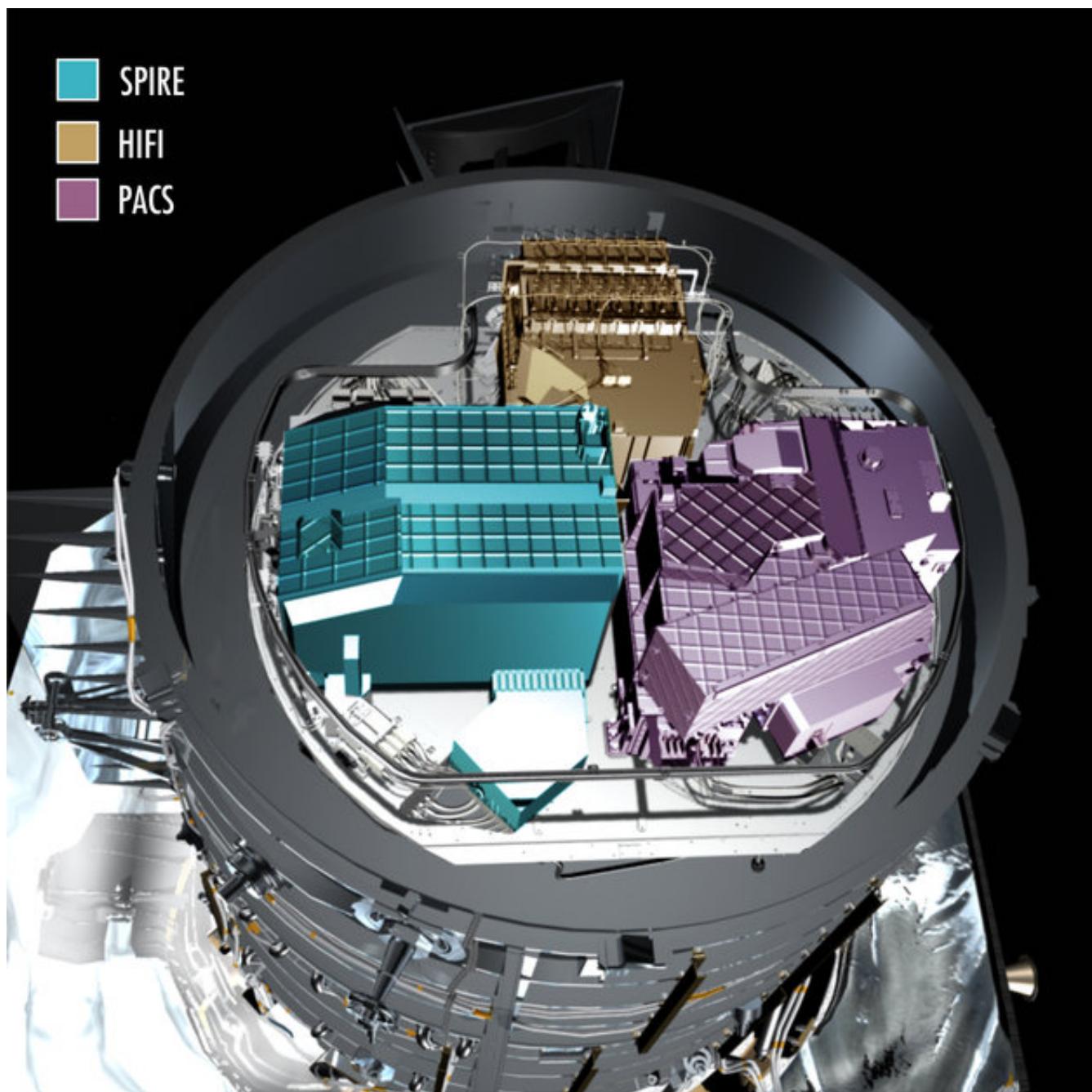


Figura 3: Instrumentos do Herschel, posicionados abaixo do espelho. Fonte: <http://www.esa.int/>

Desde que foi lançado, o Herschel ajudou os cientistas a estudar várias estruturas do Universo, desde galáxias, suas formações e evoluções, até as estruturas de sistemas planetários. O Telescópio possui também seu papel importante no estudo de estrelas em formação.

3.1 Acesso às observações e análise de dados

A Agência Espacial Europeia, *European Space Agency* ou ESA, responsável pelo Herschel, disponibiliza uma vasta quantidade de observações realizadas por este Telescópio através do *Herschel Science Archive* (HSA), por meio do qual podemos obter esses dados. Este *software* pode ser acessado por meio do site² da ESA.

Das observações disponíveis, podemos obtê-las com variados níveis de processamento, desde imagens brutas, sem nenhum tipo de processamento após terminada a observação, até imagens que se encontram mais nítidas, podendo ser utilizadas para pesquisa científica. Essas últimas são classificadas como produtos de nível 2 ou 2.5.

Os arquivos das observações encontram-se no formato *.fits*, comumente usado para armazenamento de dados astronômicos, em grande parte imagens. O *Flexible Image Transport System* (FITS) pode ser aberto com programas específicos, como também pode ser lido utilizando-se várias linguagens de programação.

O ambiente desenvolvido pela ESA para se trabalhar com as observações do Herschel chama-se *Herschel Interactive Processing Environment* (HIPE). Com ele, podemos acessar os dados obtidos pelo HSA, visualizá-los e manipulá-los, além de fazer análises científicas. Este programa também pode ser encontrado no site³ da ESA referente ao Herschel.

4 Algumas funcionalidades para análise de imagens de objetos estelares

São inúmeras as funcionalidades que podem ser aplicadas na análise de imagens e, em particular, das astronômicas. O HIPE, por si só, já embute funcionalidades como, por exemplo, soma de imagens, potenciação dos valores de uma imagem por um número, e várias operações de aritmética com imagens [3]. Apesar disso, o usuário possui ainda a possibilidade de criar seus próprios algoritmos. Na análise de uma imagem astronômica, o HIPE fornece dados como *Jy/pixel*, *Jy/sr* ou *Jy/beam*, que são unidades relacionadas com o fluxo de uma fonte de radiação. Ao, por exemplo, somar duas imagens, o resultado será uma terceira imagem, cujos pixels terão como valores de fluxo a soma dos respectivos valores de fluxo dos pixels das duas primeiras imagens. A aritmética com imagens tem como finalidades, por exemplo, a remoção de ruídos, comparação de qualidade entre imagens, verificação de movimento de objetos na imagem, realce de formas, alteração de contraste, etc.

O indicador de fluxo por pixel na imagem permite calcular a luminosidade monocromática de uma fonte por meio da relação:

$$F_V(r) = \frac{L_V}{4\pi r^2} \quad (2)$$

na qual F_V é o fluxo medido, L_V é a luminosidade monocromática e r a distância da fonte ao observador. Para estimar o fluxo, faz-se a média do correspondente para todos os pixels da imagem e, em seguida, conforme (2), multiplique o resultado por $4\pi r^2$.

²Acesso ao HSA: <http://archives.esac.esa.int/hsa/whsa/>

³Informações e download do HIPE: <https://www.cosmos.esa.int/web/herschel/hipe-download>

As coordenadas de um objeto em uma imagem astronômica, dada a proporcionalidade, são identificadas por pixels. Comumente, utilizam-se a ascensão reta e declinação para localizar esses objetos, como também é o caso do HIPE. Por meio dessas coordenadas, conhecendo-se a distância até o objeto astronômico e as propriedades do telescópio, podem-se calcular tamanhos em uma imagem. O próprio programa em questão fornece uma ferramenta para se calcular distância angular e, a partir daí, obter meios para medir estruturas na imagem.

5 Conclusão

Apesar de termos a ideia de que são necessários supercomputadores para processamento de imagens astronômicas, é possível analisar e fazer processamentos mais básicos em um computador mais simples. Além disso, são disponibilizadas ferramentas com as mais variadas funcionalidades que o permite, de casa, por exemplo, executar estudos sobre objetos astronômicos. Elucidamos o estudo de corpos celestes a partir de imagens feitas por telescópios espaciais, que são livremente distribuídas, o que contribui para que mais pesquisadores tenham acesso a dados científicos e, consequentemente, melhor aproveitados sejam esses dados observacionais.

Este *paper* teve como objetivo introduzir o leitor sobre processamento de imagens astronômicas e sobre alguns aspectos que regem a dinâmica da vida de uma estrela. Uma pesquisa mais aprofundada, com maior correlacionamento entre estes tópicos e suas aplicações, está sendo realizada junto ao LaCOSA como projeto de iniciação científica, cujos resultados serão apresentados no Congresso de Iniciação Científica da UnB de 2017.

Referências

- [1] W. J. Maciel, **Introdução à Estrutura e Evolução Estelar**. Editora da Universidade de São Paulo, 1999.
- [2] G. L. Pilbratt et al, **Herschel Space Observatory: An ESA facility for far-infrared and submillimetre astronomy**. A&A, 518 L1, 2010.
- [3] D. N. Müller, E. L. Daronco, **Operações aritméticas em imagens**. UFRGS, 2000.