

## Análise Química de Estrelas Gêmeas do Sol

**Autor:** Baravelli, Douglas G., **Orientador:** Pompeia, L.

<sup>1</sup>Instituição: Univap/Departamento: IP&D, Endereço, e-mail: douglas\_gotti@yahoo.com.br, pompéia@univap.br

**Resumo** - As estrelas gêmeas solares apresentam parâmetros físicos, isto é, temperatura, massa, abundância de ferro e velocidade atmosférica de microturbulência não muito distintos dos parâmetros solares. No entanto, não sabemos ainda se as abundâncias químicas dessas estrelas são também similares às do Sol. No presente trabalho apresentamos os primeiros passos para a análise química de uma amostra de oito estrelas gêmeas solares que ficam nas proximidades do Sol.

**Palavras-chave:** estrelas: abundâncias, estrelas: Sol, estrelas: vizinhança solar.

**Área do Conhecimento:** astrofísica estelar

### Introdução

O estudo espectroscópico de estrelas próximas nos revelou que nem todas as estrelas são iguais. Aliás, notamos uma forte diferença entre elas, como cor (o que denota a temperatura de sua atmosfera), tamanho (raio estelar), luminosidade (brilho), e características espectroscópicas. Notamos que nem mesmo estrelas que apresentam massas, temperaturas e luminosidades quase idênticas possuem espectros similares. Isto se deve à composição química de cada estrela, o que depende das gerações anteriores na região onde a estrela se formou, e do modo em que ocorreu a própria formação da nossa galáxia.

Pudemos já constatar que as estrelas similares ao Sol são inúmeras, mas pelos estudos que já foram realizados, há uma diferença significativa em seus espectros e, por conseguinte, em suas composições químicas. É de nosso interesse, portanto, saber se o Sol é ou não uma estrela típica de nossa galáxia, pois assim podemos determinar a probabilidade de ocorrência de vida em outros sistemas planetários (Gaidos & Gonzalez, 2002).

No presente trabalho apresentamos os resultados preliminares para a obtenção de abundâncias químicas de oito estrelas gêmeas solares, a fim de sabermos se o Sol possui uma composição química que pode ser considerada normal ou representativa de estrelas similares a ele ou não (ex. Porto de Mello, 2003). Para tanto, iremos descrever aqui os primeiros passos na análise química de estrelas de uma forma geral. Relacionaremos também os dados astrofísicos já obtidos para essas estrelas.

### Metodologia

A análise química que será realizada neste trabalho é a análise de linhas espectrais. Mas, para sabermos a composição química de uma estrela, precisamos primeiramente conhecer as características físicas dessa estrela, ou seja, sua temperatura, gravidade superficial (que depende da massa), metalicidade (abundância de ferro), e velocidade de microturbulência (que depende da turbulência atmosférica estelar). Para isso, alguns passos devem ser seguidos.

O primeiro passo na análise química estelar é a procura na literatura de dados para a obtenção dos parâmetros físicos das estrelas. Os dados necessários são: (i) distância da estrela, que é obtida a partir da paralaxe estelar (medida angular que permite a obtenção das distâncias das estrelas); (ii) coordenadas da estrela (posição da estrela no céu); e (iii) fotometrias (fluxo integrado de luz em comprimentos de onda específicos).

Tabela 1 - Estrelas estudadas com suas respectivas coordenadas equatoriais:  $\alpha$  - ascensão reta, e  $\delta$  - declinação.

Estrela	$\alpha$	$\delta$
HD 32147	05 00 49,0001	-05 45 13,231*
HD 34721	05 18 50,4722	-18 07 48,182*
HD 39091	05 37 09,8917	-80 28 08,839*
HD 43587	06 17 16,1377	+05 06 00,403*
HD 65907	07 57 46,9149	-60 18 11,058*
HD 76151	08 54 17,9475	-05 26 04,054*
HD 100623	11 34 29,4871	-32 49 52,823*
HD 140538	15 44 01,8197	+02 30 54,624*

\* (Perryman et al, 1997).

## Resultados: Dados Fotométricos e Dados Espectroscópicos

As estrelas escolhidas já são conhecidas por serem similares ao Sol. As coordenadas dessas estrelas estão listadas na Tabela 1, e na Tabela 2 listamos as paralaxes e as distâncias em parsecs (1 parsec = 3,26 anos-luz).

Tabela 2 - Paralaxes (em milissegundos de arco) e distâncias das estrelas (em parsecs).

Estrela	Paralaxe	Distâncias
HD 32147	113,46*	8,81
HD 34721	40,11*	24,93
HD 39091	54,92*	18,21
HD 43587	51,76*	19,32
HD 65907	61,76*	16,19
HD 76151	58,50*	17,09
HD 100623	104,84*	9,54
HD 140538	68,16*	14,67

\* (Perryman et al, 1997).

Tabela 3 - Estrelas estudadas com suas respectivas magnitudes, e as referências das mesmas.

Estrela	B	V	J	H	K	Ref.
HD 32147	7,28	6,22	-	3,71	-	(1)
HD 34721	6,54	5,96	5,18	4,75	4,56	(2)
HD 39091	6,25	5,67	-	-	-	-
HD 43587	6,32	5,71	4,69	4,43	4,20	(2)
HD 65907	6,17	5,60	4,79	4,36	4,24	(2)
HD 76151	6,67	6,00	4,87	4,62	4,46	(2)
HD 100623	6,79	5,98	-	-	-	-
HD 140538	6,52	5,88	4,59	4,05	4,30	-

(1) – De Silva et al., 2007;

(2) – 2MASS (Cutri et al., 2003).

Na Tabela 3 listamos os dados fotométricos coletados de fontes da literatura. As referências das fontes estão dadas na última coluna desta tabela. Com esses dados em mãos e utilizando calibrações fotométricas adequadas, serão obtidos, em um segundo momento, os parâmetros estelares de cada estrela. Esse passo é fundamental e os erros envolvidos nesse processo podem afetar as abundâncias finais inferidas. Portanto este é o estágio do trabalho mais importante. Na Tabela 3 listamos as fotometrias BVJHK, que são definidas nos seguintes comprimentos de onda:

B	4550 – 4920 Å
V	5770 – 5970 Å
J	12000 Å
H	16000 Å
K	22000 Å

Toda a análise química é feita sobre o trabalho de linhas espectrais. Os espectros do presente projeto foram obtidos no telescópio de 2.2m do ESO (European Southern Observatory), em La Silla, Chile, em 2007. O espectrógrafo utilizado foi o FEROS (Fiber Fed Extended Range Optical Spectrograph).

Após a obtenção dos espectros, há o procedimento de redução espectral, no caso em questão, de espectros do FEROS, que consiste em corte dos espectros, retirada dos raios cósmicos, retirada das linhas atmosféricas da Terra, definição do contínuo, obtenção da velocidades radiais das estrelas (velocidade de afastamento ou aproximação) e correção em *redshift*. Todos esses processos são realizados utilizando o programa de redução espectral IRAF.

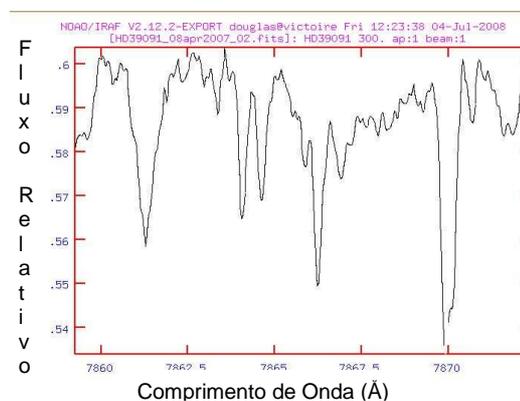


Figura 1- Espectro da estrela HD 39091, ampliado nos comprimentos de onda entre 7860 Å e 7875 Å.

Nas Figuras 1 e 2 mostramos os espectros das estrelas HD 39091 e HD 100623. As estruturas com forma de sino invertida são as linhas espectrais, formadas devido a transições de elétrons ligados a um átomo na atmosfera da estrela. Cada elemento como, por exemplo, o Ferro e o Cobalto, possuem centenas de transições eletrônicas, e assim, de linhas espectrais. O tratamento das linhas espectrais para a obtenção das abundâncias dos referidos elementos requer primeiramente o conhecimento dos dados atômicos de cada linha. Nas Tabelas 4 e 5, seguem exemplos da lista de linhas do Cromo 2 (Cromo ionizado uma vez) e do Titânio 2 (Titânio ionizado uma vez).

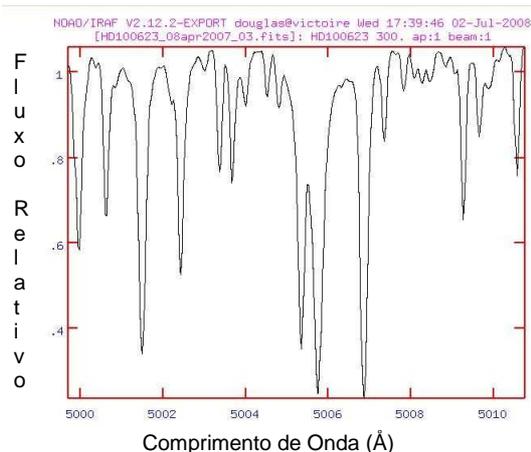


Figura 2- Espectro da estrela HD 100623, ampliado nos comprimentos de onda entre 5000 Å e 5010 Å.

Tabela 4- Linhas de Cromo 2.

Lambda (Å)	El.	$\chi_{exc}$ (eV)	Log. gf
4588,203	CR2	4,07	-0,64
4592,049	CR2	4,07	-1,22
5305,855	CR2	3,83	-2,10
5308,377	CR2	4,07	-2,10
5313,526	CR2	4,07	-2,27
5502,025	CR2	4,17	-1,99

Tabela 5- Linhas de Titânio 2.

Lambda (Å)	El.	$\chi_{exc}$ (eV)	Log. gf
4568,345	Ti2	1,22	-2,650
4583,415	Ti2	1,16	-2,720
4657,209	Ti2	1,24	-2,15
4798,539	Ti2	1,08	-2,43
5336,783	Ti2	1,58	-1,70
5381,020	Ti2	1,57	-2,08

A lista de linhas compreende o comprimento de onda central de cada linha (1ª coluna), o potencial de excitação da linha ( $\chi_{exc}$  - energia do nível inferior da transição em eV), e o logaritmo da força de oscilador (Log. gf), que corresponde à probabilidade de ocorrência da transição em questão. Obtivemos os dados de Log gf a partir da análise invertida do espectro solar, ou seja, ajustando as forças de oscilador a fim de que elas nos retornassem os valores já conhecidos de abundância do Sol para cada elemento.

A lista de linhas deve relacionar, para todas as transições que se deseja trabalhar, os dados de cada transição. Estes dados são utilizados posteriormente nos cálculos das abundâncias dos elementos. Com os dados físicos estelares e os dados das linhas, utilizamos um programa especial para a obtenção das abundâncias. Este programa foi feito originalmente por Monique Spite e alterado ao longo do tempo para incorporar processos que melhoram a determinação das abundâncias e a atualização dos modelos de atmosferas (Spite et al, 1989). A abundância final de um elemento corresponde à mediana obtida do

conjunto de todas as linhas do átomo ou íon em questão.

## Discussão

Para análise química de estrelas precisamos primeiro obter dados específicos para caracterização de cada estrela, isto é, sua temperatura, abundância de ferro, luminosidade e massa. Isto é feito a partir da coleta de dados sobre a posição no céu de cada estrela, e sua distância até a Terra. São necessários também dados fotométricos que são coletados da literatura.

Outro passo para a determinação de abundâncias estelares é a confecção e coleta de dados de linhas espectrais dos elementos para os quais se deseja obter as abundâncias. Isto foi feito de duas formas: A primeira obtenção foi feita através de dados da literatura. Em um segundo momento esses dados foram obtidos a partir da análise invertida do espectro solar. Para tanto foram obtidas as larguras equivalentes das linhas que correspondem ao tamanho de cada linha espectral com o pacote de análise SPLOT-IRAF.

## Conclusão

Obtivemos dados astrofísicos, fotométricos e espectrais de oito estrelas classificadas anteriormente como gêmeas solares. O trabalho de análise dessas estrelas está em andamento e descrevemos aqui tanto o procedimento de coleta como de análise desses dados. A coleta de dados foi realizada a partir da base de dados SIMBAD, que é atualizada continuamente. Além disso, obtivemos fotometrias 2MASS de ótima qualidade para a determinação das temperaturas efetivas das estrelas.

Em seguida daremos início à determinação das abundâncias químicas de diversos elementos químicos nessas estrelas. Com esses resultados em mãos objetivamos ajudar a esclarecer as seguintes questões: (1) qual é a distribuição química de estrelas similares ao Sol? (2) o Sol, em termos químicos, é uma estrela típica? (3) dados os resultados obtidos dessa análise e outras similares, o que podemos inferir sobre a probabilidade de ocorrência de vida em outros sistemas estelares, baseado na composição química? Alguns autores já obtiveram abundâncias para estrelas de tipo solar (Porto de Mello, 2003, Gaidos & Gonzales, 2002). No entanto, para melhor conhecimento dessas estrelas e para que elas possam ser utilizadas como calibradores para outras populações estelares, uma maior base de dados torna-se necessária.

## Referências

- CUTRI R.M.; SKRUTSKIE M.F.; VAN DYK S.; BEICHMAN C.A.; CARPENTER J.M.; CHESTER T.; CAMBRESY L.; EVANS T.; FOWLER J.; GIZIS J.; HOWARD E.; HUCHRA J.; JARRETT T.; KOPAN E.L.; KIRKPATRICK J.D.; LIGHT R.M.; MARSH K.A.; McCALLON H.; SCHNEIDER S.; STIENING R.; SYKES M.; WEINBERG M.; WHEATON W.A.; WHEELOCK S.; ZACARIAS N. "The IRSA 2MASS All-Sky Point Source Catalog", University of Massachusetts and Infrared Processing and Analysis Center (IPAC)/ California Institute of Technology. 20 Junho 2003
  
- De SILVA, G. M; FREEMAN, K. C; BLAND-HAWTHORN, J; ASPLUND, M; BESSELL, M. S. "Chemically Tagging the HR 1614 Moving Group", The Astronomical Journal, Volume 133, 2ª Edição, p. 694-704, Fevereiro 2007.
  
- GAIDOS, E.J. & GONZALEZ, G. 2002, NewA 7, 211
  
- PERRYMAN, M. A. C.; LINDEGREN, L.; KOVALEVSKY, J.; HOEG, E.; BASTIAN, U.; BERNACCA, P. L.; CRÉZÉ, M.; DONATI, F.; GRENON, M.; van LEEUWEN, F.; van der MAREL, H.; MIGNARD, F.; MURRAY, C. A.; Le POOLE, R. S.; SCHRIIVER, H.; TURON, C.; ARENOU, F.; FROESCHLÉ, M.; PETERSEN, C. S. "The HIPPARCOS Catalogue" Astron. Astrophys., nº 323, p. 49-52, Julho 1997.
  
- PORTO DE MELLO, G. Proc. IAU Symp. "Modelling of Stellar Atmospheres", N. PISKUNOV, W.W. WEISS, AND D.F. GRAY (Eds.), Astronomical Society of the Pacific, p. 38, Junho 2002.
  
- SPITE, M., BARBUY, B., SPITE, F. A&A 222, 35, Setembro 1989