

**Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE**  
**EVOLUÇÃO ESTELAR I**  
**2º Trimestre - 2021**  
**Prof. Carlos Alexandre Wuensche**  
**Série de exercícios - Programa ZAMS: entregar em 01/07/2021**

**MODELAGEM ESTELAR**

1. Esta série de exercícios será baseada no programa ZAMS. Baixe o programa da página do curso ([http://www.das.inpe.br/~alex/Ensino/cursos/evolucaoII/evestelar\\_II.html](http://www.das.inpe.br/~alex/Ensino/cursos/evolucaoII/evestelar_II.html)), no link  
“Programa ZAMS (Kawaler e Hansen): código para estudo da estrutura estelar”
2. Leia a descrição do código na seção 2.2 do livro *Stellar Interiors* (Hansen e Kawaler). Que aproximações foram feitas e o que seria necessário para obter modelos mais realistas? Qual é o intervalo de aplicabilidade dos modelos, isto é, em que intervalos os modelos correspondem razoavelmente à realidade e quando você deve suspeitar dos resultados do modelo?
3. Para compilar o programa e gerar um executável:
  - 3.1. crie um diretório em uma máquina rodando o sistema operacional Linux. Ela deve ter o driver da linguagem Fortran instalado (*gfortran*). Se o *gfortran* não estiver instalado e você não conseguir instala-lo em alguma máquina, me procure.
  - 3.2. Digite “*gfortran -c zams.for -o zams*”. O arquivo *zams* é um programa executável
  - 3.3. Para rodá-lo, digite “*./zams*” e siga as instruções do código.
4. Gere quatro modelos com composição solar e diferentes massas, sendo uma igual à massa do Sol. Depois, faça o mesmo para quatro modelos com composição mais rica e quatro modelos com composição mais pobre que a composição solar, para comparar os efeitos da composição química. Isso ajudará você a determinar valores razoáveis para a metalicidade *Z*. A Tabela 1, no final da série, ajudará a organizar os modelos.
5. Para que os modelos convirjam, experimente fazer estimativas iniciais que são suficientemente próximas dos dados da tabela do livro *Stellar Interiors*. Descreva os métodos e suposições usadas, que dificuldades foram encontradas e o que você fez para encontrar estimativas iniciais adequadas. Detalhe os cálculos e aproximações utilizadas.
6. Para uma dada composição química, analise as quantidades *massa*, *raio*, *densidade*, *pressão* e *temperatura* em função do raio para os quatro modelos gerados no item 4. Faça um gráfico dessas grandezas de modo que a diferença estrutural entre as estrelas possa ser vista facilmente desses gráficos.

7. Para uma dada composição química, examine os diferentes gradientes de temperatura e explique como identificar as zonas convectivas em seus modelos. Use gráficos para obter uma visão mais geral das diferentes extensões das zonas convectivas para as quatro massas escolhidas e discuta as razões dessas diferenças.
8. Olhando modelos com a mesma composição química, compare como as seguintes quantidades variam em função da massa da estrela: temperatura central, densidade central, taxa de geração de energia central e temperatura efetiva. Interprete esses resultados.
9. Use ajustes numéricos para estimar as relações massa-raio e massa-luminosidade. Uma regressão linear ou ajuste polinomial/exponencial é suficiente?
10. Estude os efeitos da composição química comparando os modelos com diferentes composições. Para uma dada massa, quem possui a maior temperatura central? A maior densidade central? A maior taxa de geração de energia. Explique o porquê dessa diferença.
11. Use seus dados para fazer um gráfico da Sequência Principal de Idade Zero (do inglês “Zero Age Main Sequence” – ZAMS) no diagrama HR ( $\log(L_{\text{solar}} \times T_{\text{efetiva}})$ ). Como a SPIZ difere para estrelas de diferentes composições químicas? Como você explica as diferenças em temperatura efetiva e luminosidade entre dois modelos de mesma massa e diferente composição?
12. Escreva um relatório que descreva as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos. Inclua as tabelas e figuras necessárias para esclarecer o texto. Avalie qual é a melhor forma de plotar as quantidades importantes em um número limitado de diagramas.

**TABELA 1 – Grade de modelos**

Massa ( $M_{\text{Sol}}$ )	M1	M2	M3	M4
$Z = Z_{\text{Sol}}$	M1; $Z_{\text{Sol}}$	M2; $Z_{\text{Sol}}$	M3; $Z_{\text{Sol}}$	M4; $Z_{\text{Sol}}$
$Z > Z_{\text{Sol}}$	M1; $Z_{1+}$	M2; $Z_{2+}$	M3; $Z_{3+}$	M4; $Z_{4+}$
$Z < Z_{\text{Sol}}$	M1; $Z_{1-}$	M2; $Z_{1-}$	M3; $Z_{1-}$	M4; $Z_{1-}$