

# V Seminário de Iniciação Científica

Talentos da Ciência e Tecnologia em ação

☰ Dias 26 e 27 de setembro de 2019

📍 Auditório e Pátio - Unidade II



## A IMPORTÂNCIA DAS EQUAÇÕES DA ESTRUTURA ESTELAR NO ESTUDO DA ROTAÇÃO DIFERENCIAL

José Victor Leite Xavier<sup>1</sup> – Unifesspa  
[victormilk@gmail.com](mailto:victormilk@gmail.com)

Maria Liduína das Chagas<sup>2</sup> - Unifesspa  
[liduinafisica@hotmail.com](mailto:liduinafisica@hotmail.com)

**Agência Financiadora:** CNPq

**Eixo Temático/Área de Conhecimento:** 10402004 ASTROFÍSICA ESTELAR

### 1. INTRODUÇÃO

Ao estudarmos as equações vamos compreender a forma como as estrelas evoluem, uma vez que as equações regem essa evolução. Esse estudo possibilita a compreensão da rotação diferencial das estrelas, o que proporciona a análise de fenômenos estelar, logo percebemos que a compreensão dessas equações se faz imprescindível para entendermos melhor o Sol e seu ciclo de atividades, que afetam a vida aqui na Terra, como percebemos nas drásticas mudanças climáticas. As equações que foram estudadas são:

- *Equação de continuidade*

$$\frac{dM_r}{dr} = 4 \pi r^2 \rho \quad (1.1)$$

- *Equação de equilíbrio hidrostático*

$$\frac{dP}{dr} = - \rho \frac{GM_r}{r^2} \quad (1.2)$$

- *Equação de equilíbrio térmico*

$$\frac{dL}{dr} = 4 \pi r^2 \rho \left[ \varepsilon - \frac{3}{2} \rho^{\frac{2}{3}} \frac{d}{dt} \left( \frac{P}{\rho^{\frac{5}{3}}} \right) \right] \quad (1.3)$$

---

1 Graduando em Física - Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

2 Doutora em Astrofísica - Professora Titular Adjunta da Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará (FAFIS/ICE/Unifesspa). Coordenadora do Projeto de Pesquisa, Estudo da Rotação Diferencial de Estrelas Anãs M.

# V Seminário de Iniciação Científica

## Talentos da Ciência e Tecnologia em ação

📅 Dias 26 e 27 de setembro de 2019

📍 Auditório e Pátio - Unidade II



### ➤ *Equação de equilíbrio radioativo e convectivo (transporte de energia)*

- *por radiação*

$$\frac{dT}{dr} = - \frac{3}{16 \pi a c r^2} \frac{K \rho}{T^3} L \quad (1.4)$$

- *por convecção*

$$\frac{T}{T} \frac{dP}{dr} < \frac{\gamma}{\gamma - 1} \frac{dT}{dr} \quad (1.5)$$

Através deste, demonstramos a importância das equações, desenvolvendo-as e correlacionando com a rotação diferencial, com isso buscamos compreender como funciona o interior das estrelas através de uma visão Física e Matemática, ampliando assim, o conhecimento a respeito do tema.

## 2. MATÉRIAS E MÉTODOS

Iniciamos as atividades de pesquisa com uma vasta revisão bibliográfica, pois era necessário a compreensão de vários conceitos físicos e matemáticos para desenvolver as equações, que apesar de haver na literatura, não é fácil de demonstrar! Os livros que usamos como base para o desenvolvimento foram o “Introdução à Estrutura e Evolução Estelar” do Walter J. Maciel, e o “Astronomia e Astrofísica” do Kepler de Souza e Maria de Fátima. Após o desenvolvimento das equações, foram realizados ciclos de seminários para discutirmos os avanços dos estudos, em seguida foi desenvolvido uma rotina computacional na linguagem *Java*, para simular a evolução estelar baseada nas equações que a regem.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido o grau de dificuldade, foram desenvolvidas apenas três, das quatro equações que foram propostas ( a equação da continuidade, do equilíbrio hidrostático e equilíbrio térmico ), entretanto, apesar desse pequeno empecilho, obtivemos exito nos resultados do projeto.

Ao realizarmos o desenvolvimento destas equações, conseguimos comprovar a importância desse estudo, que nos possibilita ir a além da compreensão da visão física, abrindo caminho para o entendimento da evolução. Através de estudos baseados nas equações, surgem simulações computacionais e matemáticas que descrevem o comportamento das estrelas, evidenciando seu tempo de vida, estágios evolutivos e possíveis finais no ciclo evolutivo.

Correlacionando as equações com a rotação diferencial, evidenciamos que cada parte da estrela apresenta uma taxa de rotação diferente, que variam de acordo com a latitude, devido as mesmas serem compostas de gases e plasma, responsáveis por um comportamento diferente de um corpo rígido, que possui uma ligação mais forte entre as partículas. Esse fenômeno é estudado por meio de observações das manchas estelares (uma área escura encontrada na superfície das estrelas), ocasionadas pelo campo magnético que atrapalha o transporte de energia por convecção, o que nos remete a conservação de energia, já que toda energia gerada no núcleo tende a ser liberada na superfície (Das Chagas (2014)).



# V Seminário de Iniciação Científica

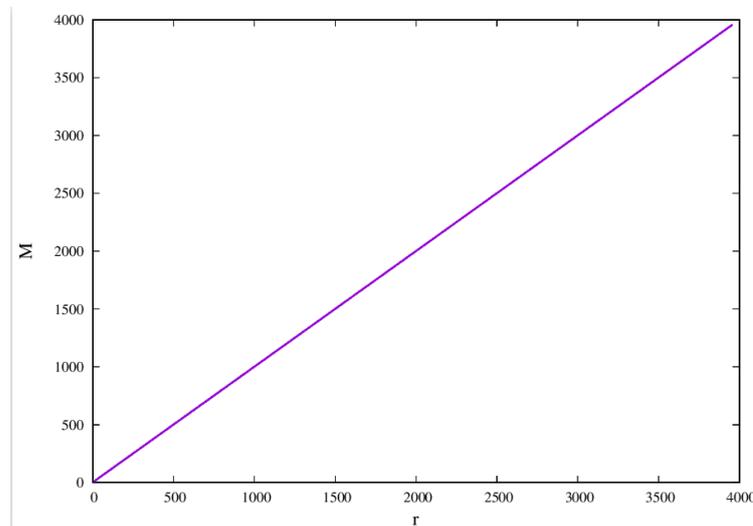
## Talentos da Ciência e Tecnologia em ação

📅 Dias 26 e 27 de setembro de 2019  
📍 Auditório e Pátio - Unidade II



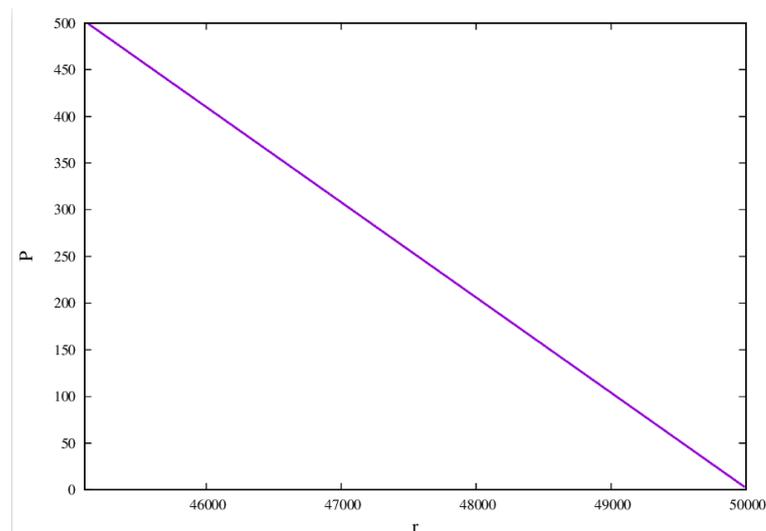
As simulações também foram realizadas com sucesso, as quais nos proporcionaram gráficos que demonstram a linearidade das equações estudadas, observe nas imagens a seguir.

Fig. 1: Gráfico da equação da continuidade na forma euleriano



Fonte: próprio autor

Fig. 2: Gráfico da equação de equilíbrio hidrostático



Fonte: próprio autor

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por tanto, evidenciamos a importância das aplicações e estudos das equações que regem a evolução estelar, compreendendo o interior das estrelas de uma forma física e matemática, e a partir da rotina computacional demonstramos a linearidade das mesmas, estudos a cerca das equações estelares possibilitam a compreensão de fenômenos que influenciam a vida, compreender melhor as estrelas passou de mera curiosidade para real necessidade, pesquisas como essa criam estímulos e subsídios para essa compreensão.

# V Seminário de Iniciação Científica

Talentos da Ciência e Tecnologia em ação

📅 Dias 26 e 27 de setembro de 2019

📍 Auditório e Pátio - Unidade II



A partir deste estudo, ampliamos o campo de pesquisa futura para a equação que dita a taxa de perda de massa:  $dM_r v dt = 4 \pi r^2 \rho$ , dada a equação da continuidade. Algumas estrelas perdem massa de forma contínua, logo estudos a cerca deste campo podem nos auxiliar a determinar se haverá – se sim, quais – ou não mudanças na rotação diferencial.

## REFERÊNCIAS

MACIEL, Walter J. **Introdução à estrutura e evolução estelar**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 1999.

Oliveira, Kepler de Souza; Saraiva, Maria de Fátima Oliveira, **Astronomia & Astrofísica**. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

Chagas, Maria Liduína das, **Rotação diferencial em estrelas do tipo solar**. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2014.