



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE FEIRA DE SANTANA**

Autorizada pelo Decreto Federal nº 77.496 de 27/04/76  
Recredenciamento pelo Decreto nº 17.228 de 25/11/2016



**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**COORDENAÇÃO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA**

## **XXVIII SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UEFS** **SEMANA NACIONAL DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA - 2024**

### **As primeiras estrelas e a evolução da metalicidade do universo**

**Lucas Patrick de Jesus Costa<sup>1</sup>; Rainer Karl Madejsky<sup>2</sup>**

1. Bolsista – Modalidade Bolsa/PVIC, Graduando em Bacharelado em Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: [lucaspatrik.contato@gmail.com](mailto:lucaspatrik.contato@gmail.com)
2. Orientador, Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana, e-mail: [madejsky@uefs.br](mailto:madejsky@uefs.br)

**PALAVRAS-CHAVE:** primeiras estrelas; nucleossíntese; metalicidade.

### **INTRODUÇÃO**

O momento de formação das primeiras estrelas, a chamada população III, marca a transição do universo primitivo de um estado quase homogêneo, contendo átomos de hidrogênio e hélio, neutrinos, partículas elementares ainda não conhecidas e fótons, para um universo com estruturas hierárquicas contendo astros como estrelas com planetas, aglomerados de estrelas e galáxias. A metalicidade do universo antes da formação das primeiras estrelas é da ordem de bilionésimo e os quasares mais distantes que emitiram a luz quando o universo tinha uma idade de apenas 500 milhões de anos possuem grandes quantidades de metais.

As primeiras estrelas começam a se formar depois da Idade Cósmica das Trevas, e tem uma metalicidade da ordem  $Z=10^{-9}$ , a nível de comparação, o nosso Sol tem uma metalicidade de  $Z=0,02$ . Esse período termina aproximadamente 100 milhões de anos depois do Big Bang, sendo assim, a metalicidade observada nos quasares mais distantes deve ser produzida pelas primeiras estrelas neste intervalo curto. A massa das primeiras estrelas deve ser alta para garantir uma evolução rápida e um rendimento alto em metais, podendo ser estimada pelo critério de Jeans.

As primeiras estrelas formaram-se  $10^8$  anos após a criação do universo, a massa das primeiras estrelas pode chegar a ordem de 1000 massas solares, maior que a massa das estrelas de hoje que são estrelas de população I e II. Em consequência da suposta massa alta das primeiras estrelas e da ausência de metais no início da sua formação, a evolução destas estrelas ocorre de maneira bem diferente que nas estrelas de hoje. A existência das primeiras estrelas explica como a metalicidade do universo cresce em um curto período de tempo.

O universo sai de uma metalicidade de  $Z = 10^{-9}$  para uma metalicidade de  $Z = 10^{-6}$ , como identificado nas estrelas mais antigas observadas em telescópios. Quanto maior o nível da metalicidade, mais elementos além de hidrogênio e hélio existem, o que proporciona um universo com riqueza de elementos químicos, eventualmente proporcionando até mesmo a formação da vida com esses elementos.

## MATERIAL E MÉTODOS OU METODOLOGIA (ou equivalente)

Esta pesquisa utilizou como metodologia a revisão bibliográfica, que buscou analisar livros e artigos sobre o tema, além de cálculos analíticos para verificar os dados propostos nas simulações revisadas. O cronograma de estudos contou com dois encontros semanais onde o primeiro encontro foi destinado a revisão dos artigos, livros e conceitos lidos, já o segundo encontro foi destinado a realização e revisão dos cálculos para obtenção dos dados relevantes ao tema. O trabalho dividiu-se no período de 11 meses que esteve organizado da seguinte forma, evidenciado na tabela (1)

1º	2º	3º	4º	5º	6º-7º	8º	9º-10º	11º
Leitura de livros-texto e artigos originais	Cálculo do tempo de colapso gravitacional	Cálculo da massa de Jeans	Estimativa da massa de uma primeira estrela	Estimativa de raio e temperatura da estrela atingindo o equilíbrio hidrostático	Estudo das reações nucleares	Estimativa do rendimento de metais	Estudo da fase final da estrela com ajuda de simulações	Estimativa do aumento de metalicidade no universo

Tabela (1)

## RESULTADOS E/OU DISCUSSÃO (ou Análise e discussão dos resultados)

Com os dados obtidos através dos cálculos analíticos realizados a partir das simulações e referências analisadas, é possível compreendermos a forma com a qual a estrutura do universo evolui. O grande aumento de metalicidade identificado entre a nucleossíntese primordial e as estrelas mais antigas observadas por telescópios, pertencentes à população II de estrelas, só se torna possível caso uma geração anterior de estrelas, com deficiência de metais, porém com uma grande taxa de rendimento e formação de metais, tenha existido.

Também concluímos que para que ocorra o processo de resfriamento, as primeiras estrelas dependem das moléculas de  $H_2$ . Em comparação ao átomo de hidrogênio que tem apenas 3 graus de liberdade, as moléculas de  $H_2$  tem 5 graus de liberdade, o que faz com que “queimem” uma maior energia tanto no processo de dissociação quanto com as energias vibracionais e rotacionais.

Os momentos finais da vida das primeiras estrelas também são cruciais para explicar a evolução da metalicidade do universo. Supernovas do tipo PISN (Pair Instability Supernova) tem um alto rendimento na distribuição de material quimicamente enriquecido, porém não são condizentes com os níveis de metalicidade da Via Láctea já que todo o material das primeiras estrelas teria sido distribuído completamente. Já

supernovas do tipo Core-Collapse ajudam a explicar como surgiram os primeiros buracos negros estelares, entretanto não são condizentes com a metalicidade da Via Láctea, já que parte do material sintetizado estaria perdido para sempre no interior do buraco negro.

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)**

Concluimos então que a metalicidade do universo sofre mudanças a depender da quantidade de primeiras estrelas que se formaram. Caso muitas estrelas tenham se formado, não haveria a possibilidade de que todas tenham explodido em supernovas do tipo PISN, pois isso resultaria em uma metalicidade ainda maior para o universo. Do contrário, caso poucas estrelas tenham se formado, as supernovas do tipo Core-Collapse também apresentam um problema, já que o material quimicamente enriquecido formado através da nucleossíntese estelar ficaria eternamente preso no centro do buraco negro. Além disso, vale ressaltar também que a nucleossíntese das primeiras estrelas ocorre de forma diferente se comparadas a estrelas atuais, já que as primeiras estrelas já tem a presença de hélio em sua formação, sendo possível de realizar desde o início da sua vida o processo triplo alfa, que é a queima de hélio para a produção de metais como o carbono, o oxigênio, o sódio, entre outros.

### **REFERÊNCIAS**

- Arnett, D., 1996, *Supernovae and Nucleosynthesis*, Princeton University Press
- Carroll, B.W., Ostlie, D.A., 2007, *An introduction to modern astrophysics*, Addison-Wesley
- Madejsky, R.K., 2014, *Curso básico de astrofísica e cosmologia: o sistema solar, as estrelas e Via Láctea*, UEFS Editora.
- Hirano, S., et al., *One hundred firststars: protostellar evolution and the final masses*, The astrophysical journal, v. 781, n. 2, fevereiro, 2014. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0004-637X/781/2/60>
- Bromm, V., *Formation of the First Stars*, Reports on progress in Physics, v. 76, n. 11, dezembro, 2013. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1305.5178>