



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 - 2025**

As primeiras supernovas e a metalicidade do universo.

Lucas Patrick de Jesus Costa¹; Rainer Karl Madejsky²

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

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

INTRODUÇÃO

O estudo da origem e evolução da metalicidade no universo constitui uma das questões centrais da cosmologia moderna. Após a nucleossíntese primordial, o universo apresentava uma composição extremamente simples, com abundância quase exclusiva de hidrogênio e hélio, além de traços de lítio e berílio, resultando em uma metalicidade inicial da ordem de 10^{-9} . A compreensão de como esse cenário evoluiu até os valores atuais, significativamente mais elevados ($Z \sim 0,01 - 0,03$), exige a investigação do papel das primeiras estrelas (População III) e de suas explosões como supernovas. Essas estrelas, formadas em halos de matéria escura em redshifts elevados ($z \approx 20$), possuíam massas extremamente elevadas, da ordem de 140 a $260 M_{\odot}$, favorecendo temperaturas internas capazes de sustentar reações nucleares intensas. Ao atingirem o fim de suas vidas, suas explosões — seja por colapso do núcleo (core-collapse) ou por instabilidade de pares (PISN) — teriam sido responsáveis pela produção e dispersão de elementos químicos mais pesados que o ferro, enriquecendo o meio interestelar e possibilitando a formação de estruturas mais complexas no universo.

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 mês	Leitura de livros e da literatura original
2º mês	Leitura de livros e da literatura original
3º mês	Estudar o colapso gravitacional e estimar a massa da primeira estrela
4º mês	Calcular as grandezas principais das primeiras estrelas: massa, raio, temperatura em comparação com as estrelas de segunda geração
5º mês	Estudar o equilíbrio hidrostático de uma primeira estrela em comparação com estrelas de segunda geração
6º mês	Estudar as reações nucleares em função da temperatura central da estrela
7º mês	Descrever a síntese de metais em uma primeira estrela
8º mês	Estimar a quantidade de metais sintetizados
9º mês	Estudar a fase final da estrela
10º mês	Estudar os tipos de supernova e o espalhamento de metais na vizinhança da estrela
11º mês	Estimar o aumento da metalicidade no universo

Tabela (1)

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

A pesquisa evidenciou que as primeiras estrelas, devido à ausência de metais, evoluíram em condições físicas particulares, alcançando massas elevadas e temperaturas centrais capazes de sustentar nucleossíntese de hidrogênio (cadeia pp), hélio (triplo alfa) e, em etapas posteriores, elementos até o ferro. As simulações indicam que as supernovas de instabilidade de pares (PISN) e de colapso do núcleo desempenharam papel crucial na dispersão de metais.

Os cálculos realizados apontaram que a energia liberada durante as primeiras supernovas atingiu valores da ordem de 10^{52} erg, suficientes para elevar temperaturas a 10^9 – 10^{10} K, desencadeando nucleossíntese explosiva e processos de captura de nêutrons (processos-s e r). Estimou-se que estrelas entre 140 e 260 $M_{\odot}$, ao explodirem, poderiam enriquecer nuvens de gás de $10^4 M_{\odot}$ até valores de metalicidade próximos a $Z \approx 4 \times 10^{-3}$. Esse resultado sugere que a contribuição das primeiras gerações estelares foi determinante para o enriquecimento químico inicial do universo e para a diversidade de elementos observada em galáxias primitivas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS (ou Conclusão)

O trabalho conclui que as primeiras estrelas foram decisivas para a transição de um universo quimicamente simples para um ambiente enriquecido por elementos pesados. Sua elevada massa favoreceu tanto a produção de metais durante a evolução estelar quanto sua dispersão por meio de supernovas. As simulações mostraram que a metalicidade inicial, da ordem de 10^{-9} , poderia ter sido elevada para valores de até 10^{-3} em determinadas regiões, a depender do tipo de supernova predominante. Enquanto explosões PISN resultariam em enriquecimento mais intenso e homogêneo, supernovas core-collapse tenderiam a reter parte significativa do material no remanescente estelar (buraco negro).

Esses resultados reforçam a hipótese de que a População III foi responsável pelo início da complexificação química do cosmos, fornecendo as condições necessárias para a formação de estrelas de gerações posteriores, galáxias e, em última instância, para a própria vida.

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
- ZEMANSKY, M. W.; DITTMAN, R. H. *Heat and Thermodynamics*. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 1997
- CLAYTON, D. D. *Principles of Stellar Evolution and Nucleosynthesis*. Chicago: University of Chicago Press, 1983
- 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>
- BROMM, V.; YOSHIDA, N. *The First Galaxies*. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, v. 49, p. 373-407, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-081710-102608>
- HEGER, A.; WOOSLEY, S. E. The nucleosynthetic signature of Population III. The Astrophysical Journal, v. 567, n. 1, p. 532-543, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1086/338487>

KARLSSON, T.; BROMM, V.; BLAND-HAWTHORN, J. *The first stars: a critical review*. Reviews of Modern Physics, v. 85, n. 2, p. 809-848, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1103/RevModPhys.85.809>

WISE, J. H.; ABEL, T. *Enrichment of the primordial interstellar medium by the first stars*. The Astrophysical Journal, v. 685, n. 1, p. 40-56, 2008. DOI: <https://doi.org/10.1086/590417>

NOMOTO, K.; KOBAYASHI, C.; TOMINAGA, N. *Nucleosynthesis in stars and the chemical enrichment of galaxies*. Annual Review of Astronomy and Astrophysics, v. 51, p. 457-509, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-astro-082812-140956>