

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
DO RIO GRANDE DO NORTE
CAMPUS CAICÓ

JOSERI PEDRO DE LIMA

**A EVOLUÇÃO ESTELAR E SEUS ASPECTOS FÍSICOS: UMA ABORDAGEM PARA
A EDUCAÇÃO BÁSICA**

CAICÓ/RN
2023

JOSERI PEDRO DE LIMA

**A EVOLUÇÃO ESTELAR E SEUS ASPECTOS FÍSICOS: UMA ABORDAGEM PARA
A EDUCAÇÃO BÁSICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Licenciatura em Física.

Orientador: Prof. M. Ricardo Rodrigues da Silva

CAICÓ/RN
2023

Lima, Joseri Pedro de.

L732e A evolução estelar e seus aspectos físicos: uma abordagem para a educação básica. – 2023.
73 fl: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em física) –
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do
Norte. Caicó, 2023.

Orientador: M. Ricardo Rodrigues da Silva.

1. Educação. 2. Ensino de Física. Estelar. 3. Educação Básica. I. Silva,
Ricardo Rodrigues. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Rio Grande do Norte. IV. Título.

CDU 37:53

JOSERI PEDRO DE LIMA

**A EVOLUÇÃO ESTELAR E SEUS ASPECTOS FÍSICOS: UMA ABORDAGEM PARA
A EDUCAÇÃO BÁSICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Física do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Licenciatura em Física.

Aprovado em: 15/02/2023

Banca Examinadora

M. Ricardo Rodrigues da Silva - Orientador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

M. Cicero Elias dos Santos - Examinador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

M. Rhodriggo Mendes Virginio - Examinador
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte

Eu dedico este trabalho a todas as entidades que me cercam... e que eu não perca o equilíbrio, mesmo sabendo que inúmeras forças querem que eu caia.

AGRADECIMENTOS

A todos os meus professores, principalmente, os da educação básica, que colaboraram e construíram bases sólidas no meu desenvolvimento e aprendizagem para o crescimento profissional. Seus nomes são inesquecíveis e, por isso, dedico-lhes minha profunda admiração e respeito.

RESUMO

O estudo da evolução estelar é fundamental para o processo de compressão do nosso universo, são os estudos sobre os processos ou etapas da vida das estrelas que nos permite fazer inúmeras descobertas sobre o cosmos. Ondas gravitacionais, a origem dos elementos químicos, entre outras descobertas fundamentais para o avanço da tecnologia e da humanidade. É possível abordar essa temática na educação básica, em especial no ensino médio, no ensino de Física, através dos aspectos físicos presentes no processo de evolução das estrelas. O processo pelo qual as estrelas nascem, evoluem e morrem é rico em fenômenos físicos que estão presentes nos conteúdos da educação básica, especificamente, no ensino de Física. Neste trabalho é discutido a possibilidade da inserção dessa temática na educação básica, já que é cobrada pelos órgãos que coordenam a Educação Básica, em particular no ensino médio. Para a realização deste trabalho nos apoiamos nos documentos oficiais reguladores da Educação Básica. A pesquisa se propôs buscar identificar as atividades desenvolvidas com relação a essa temática por parte dos docentes das escolas da região através de um questionário com perguntas discursivas. O objetivo final é propor um material de apoio para esse tema, a fim de auxiliar os docentes.

Palavras-chave: Evolução estelar na educação básica; Evolução estelar no ensino médio; Evolução estelar no ensino de Física; Ensino de evolução estelar.

ABSTRACT

The study of stellar evolution is fundamental for the process of comprehension of our universe, it is the studies on the processes or stages of the life of stars that allow us to make countless discoveries about the cosmos. Gravitational waves, the origin of chemical elements, among other key discoveries for the advancement of technology and humanity. It is possible to address this theme in basic education, especially in high school, in the teaching of Physics, through the physical aspects present in the process of evolution of stars. The process by which stars are born, evolve and die is rich in physical phenomena that are present in the contents of basic education, specifically in the teaching of Physics. Using stellar evolution as a kind of background to approach Physics topics in high school can bring enormous benefits to students, as in addition to being a theme present in the bodies that regulate Brazilian education, it is a theme rich in aspects that are linked to the development of current technologies. In addition, studying the stars is, in a way, studying our origin and evolution, since several chemical elements that are present in our body, such as nitrogen, iron, carbon, among others, are forged or formed inside the stars and exposed or released to the cosmic medium through great supernova explosions.

Keywords: Stellar evolution in basic education; Stellar evolution in high school; Stellar evolution in physics teaching; Teaching of stellar evolution.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 01 – Nuvem interestelar	21
FIGURA 02 – Protoestrela	22
FIGURA 03 – Diagrama HR	24
FIGURA 04 – Estrutura básica de uma anã branca	26
FIGURA 05 – Nebulosa planetária	27
FIGURA 06 – Estrela de nêutrons	28
FIGURA 07 – Buraco Negro	29

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 01 – Formação acadêmica/titulação	35
GRÁFICO 02 – Cursos de pós-graduação/extensão na área	35
GRÁFICO 03 – PCN/BNCC propõem o estudo desta temática. Você trabalha alguns destes temas no ensino médio?	36
GRÁFICO 04 – Astronomia e seu potencial interdisciplinar, você considera esse tema relevante para a educação básica?	38
GRÁFICO 05 – Se houvesse material adequado para essa temática, você trabalharia no ensino médio?	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABP Associação Brasileira de Psiquiatria

BNCC Base Nacional Comum Curricular

ENEM Exame Nacional do Ensino Médio

PCN Parâmetros Curriculares Nacionais

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Contextualização e justificativa	13
1.2 Objetivos.....	15
1.3 Método de pesquisa	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	20
2.1. Evolução estelar (uma visão geral).....	20
2.2 Evolução estelar e Astronomia na educação básica	30
3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	34
4. ANÁLISE DO MATERIAL.....	41
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
REFERÊNCIAS.....	43
APÊNDICE A – MATERIAL DE APOIO	46

1. INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização e justificativa

Existe um certo encanto nas estrelas, sendo elas os objetos que mais se destacam na Astronomia. Sua evolução é fundamental para o estudo e entendimento do universo como um todo. O estudo dos aspectos da evolução estelar é uma das tarefas da Astrofísica, ainda, os elementos químicos, a formação e evolução das galáxias. Isso tudo remete às estrelas, a sua evolução, desde o nascimento até a fase final.

Diante da imensidão que é o universo, nosso planeta é muito pequeno se comparado a uma estrela, como, por exemplo, o sol. Estrelas como o sol são responsáveis por gerar sistemas planetários. No caso do sol, sua luz sustenta a maior parte da vida na terra, principalmente, das plantas.

Os átomos do qual somos feitos foram formados há muito tempo no interior das estrelas, conhecidas como supernovas, responsáveis pela construção ou formação da vida. Ou seja, somos feitos de poeira estelar, do meio interestelar, de restos de estrelas, enfim, somos filhos das estrelas. Por isso, estudar as estrelas significa ampliar nosso conhecimento sobre a origem e a diversidade dos elementos da natureza e da nossa existência (ARANY-PRADO, 2017).

A astronomia é uma das ciências mais antigas que o homem conhece. Desde os tempos mais remotos o homem observa o céu à procura de respostas, tais como: de onde veio? para onde vai? o que há além? - entre outras questões. Com o passar do tempo e o avanço das ciências, algumas dessas questões foram respondidas. Atualmente, devido ao estudo do cosmos é possível coletar ou obter informações do universo como um todo.

Com isso, o estudo da Astronomia se torna muito importante, pois permite compreender como essa ciência funciona e entende a importância dela para o desenvolvimento de novas formas de estudar e compreender o universo.

Segundo os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN), o ensino deste conteúdo é de extrema importância para finalizar o ciclo da Educação Básica, pois possui ligação direta com a história da ciência, além de ter colaborado, consideravelmente, para o aperfeiçoamento e o desenvolvimento científico no decorrer do tempo (BRASIL, 2000).

Mesmo com essa relevante importância, é possível notar um déficit com relação ao ensino dessa ciência na Educação Básica.

Em algumas vezes, o estudo da Astronomia necessita de instrumentos que as escolas não disponibilizam. Isso também distancia ou dificulta o interesse do aluno, além de induzi-lo a aceitar uma série de afirmações e resultados prontos que estão fora da sua percepção experimental. Outrossim, os desafios da profissão e a falta de incentivo ao professor também dificultam o ensino desta temática. Muitas vezes os alunos concluem a educação básica sem saber que o sol é uma estrela (BAZETTO; BRETONES, 2011).

Segundo Caniato (2011), isso é preocupante pois existem teorias físicas que provêm do estudo de fenômenos astronômicos, como, por exemplo, as leis da radiação, da gravitação, da relatividade, as leis da termodinâmica, entre outros conteúdos da Física. Dessa forma, o autor ressalta que é notória a importância de se estudar e compreender astronomia, pois, além de contribuir de forma significativa e aprimorar o conhecimento sobre o universo, também fomenta o desenvolvimento e crescimento de outras áreas de uma nação, como, por exemplo, a economia e diversos recursos tecnológicos.

O fascínio pelos segredos do cosmos faz parte da natureza humana e isso proporciona uma certa curiosidade nas pessoas, possibilitando questionamentos sobre o universo. Sendo assim, conforme já mencionado, estudar o universo e sua origem é também estudar a origem humana.

Essa curiosidade possibilita uma abordagem educativa com relação ao ensino de astronomia, tendo em vista que a curiosidade é um fator que move as pessoas e as motiva, ou seja, ela é o combustível para o aprendizado. É a existência dessa curiosidade que possibilita o pensamento crítico dos alunos, construindo seu próprio conhecimento com a mediação do professor (FREIRE, 1996).

Isso incentiva uma aproximação educativa, de forma que essa temática possa ser inserida na Educação Básica, utilizando dessa curiosidade e de temas que circulam no meio midiático, como, por exemplo, galáxias e estrelas.

Durante o período ou o tempo na graduação, foi possível notar uma falta de material sobre o tema. O que mais se aproximava, eram livros muito básicos, a nível de divulgação científica ou livros complexos, a nível de ensino superior. Com essa informação, surgiu o interesse pelo tema e conseqüentemente a busca por materiais desse tipo. Em seguida, surgiu o interesse de produzir algo ligado a esse tema. Algum produto ou material que pudesse contribuir de alguma forma para o ensino de Física e Astronomia.

1.2 Objetivos

Objetivo geral

Com isso, o objetivo geral deste trabalho é propor um material bibliográfico que sirva de apoio para professores e estudantes da educação básica, utilizando a evolução estelar para relacionar o ensino de astronomia com o ensino de Física. Para isso, foram elencados os seguintes objetivos específicos.

Objetivos específicos

- Identificar materiais sobre o ensino de astronomia, em particular sobre evolução estelar.
- Analisar as atividades desenvolvidas pelos docentes de Física nas escolas de Caicó e região com base na Astronomia, sobretudo na evolução estelar.

1.3 Método de pesquisa

A pesquisa científica é um método ou procedimento que tem como objetivo a aquisição de novos conhecimentos, além de buscar apurar informações. O pesquisador faz o uso da observação e da reflexão sobre os problemas, intencionando a busca por novas direções para solucionar esses casos (VILAÇA, 2010).

A pesquisa científica na qual esse trabalho se baseia é uma pesquisa bibliográfica, com a finalidade de aprimoramento a atualização do conhecimento, através de uma investigação científica de obras já publicadas.

A pesquisa bibliográfica consiste em uma revisão de literatura sobre a teoria que orienta o trabalho científico, podendo ser realizada em livros, artigos, periódicos entre outras fontes.

Segundo Boccato (2006, p. 266)

A pesquisa bibliográfica busca a resolução de um problema (hipótese) por meio de referenciais teóricos publicados, analisando e discutindo as várias contribuições científicas. Esse tipo de pesquisa trará subsídios para o conhecimento sobre o que foi pesquisado, como e sob que enfoque e/ou perspectivas foi tratado o assunto apresentado na literatura científica. Para tanto, é de suma importância que o pesquisador realize um planejamento sistemático do processo de pesquisa, compreendendo desde a definição temática, passando pela construção lógica do trabalho até a decisão da sua forma de comunicação e divulgação.

Ou seja, possibilitar um estudo e aprendizado sobre uma determinada área do conhecimento, contribuir com métodos que podem ser usados pelo pesquisador, entre outros, são alguns dos objetivos da pesquisa bibliográfica.

Ainda, para Andrade:

A pesquisa bibliográfica é habilidade fundamental nos cursos de graduação, uma vez que constitui o primeiro passo para todas as atividades acadêmicas. Uma pesquisa de laboratório ou de campo implica, necessariamente, a pesquisa bibliográfica preliminar. Seminários, painéis, debates, resumos críticos, monográficas não dispensam a pesquisa bibliográfica. Ela é obrigatória nas pesquisas exploratórias, na delimitação do tema de um trabalho ou pesquisa, no desenvolvimento do assunto, nas citações, na apresentação das conclusões. Portanto, se é verdade que nem todos os alunos realizarão pesquisas de laboratório ou de campo, não é menos verdadeiro que todos, sem exceção, para elaborar os diversos trabalhos solicitados, deverão empreender pesquisas bibliográficas (ANDRADE, 2010, p. 25).

Em outras palavras, a pesquisa bibliográfica está introduzida especialmente no meio acadêmico, com o objetivo de aperfeiçoamento do conhecimento por meio de uma busca ou investigação científica se baseando e estudando obras que já foram publicadas.

Ou seja.

[...] a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e eletrônicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. Qualquer trabalho científico inicia-se com uma pesquisa bibliográfica, que permite ao pesquisador conhecer o que já se estudou sobre o assunto. Existem, porém, pesquisas científicas que se baseiam unicamente na pesquisa bibliográfica, procurando referências teóricas publicadas com o objetivo de recolher informações ou conhecimentos prévios sobre o problema a respeito do qual se procura a resposta (FONSECA, 2002, p. 32).

A pesquisa bibliográfica, a qual esse trabalho se propôs realizar, teve início com a escolha do tema, o qual carrega ou leva o título do próprio. O tema é o ponto inicial de uma pesquisa científica sobre o assunto, no qual o pesquisador irá desenvolver seu trabalho de pesquisa, “[...] o tema de uma pesquisa é qualquer assunto que necessite de melhores definições, melhor precisão e clareza do que já existe sobre o mesmo” (CERVO; BERVIAN, 2002, p. 81).

Foi usado a plataforma *Scielo* como ferramenta para buscar trabalhos com essa temática, a fim de encontrar obras relevantes sobre o tema. Verificou-se também a existência de trabalhos com essa temática na revista brasileira de ensino de Física. Além do tema do presente trabalho, foram usadas as seguintes palavras-chaves: evolução estelar na educação básica, evolução estelar no ensino de Física, evolução estelar no ensino médio e ensino de evolução estelar, para o levantamento bibliográfico, ou seja, encontrar obras publicadas como estabelece Ruiz (2009).

Segundo Ruiz (2009), qualquer tipo de pesquisa, em qualquer área, supõe e exige pesquisa bibliográfica prévia. Para justificar os objetivos e contribuições da

própria pesquisa, o pesquisador pode realizar o levantamento bibliográfico e encontrar as obras já publicadas na da internet (google acadêmico, google livros, biblioteca virtual, bibliotecas, site das bibliotecas de universidades, revistas, CAPES e outros).

Nas configurações de filtragem dos trabalhos foi marcado Brasil para coleção, todos para periódicos, português para idiomas, todos para ano de publicação e todos também para áreas temáticas. O resultado mostrou apenas 4 trabalhos relacionados com esses temas ou palavras-chaves, um número muito pequeno se comparado com outras temáticas. Mas, por que existem tão poucos trabalhos sobre essa temática?, já que segundo Dias (2008), o ensino de Astronomia é importante, principalmente, para criar uma relação entre o aluno e a dinâmica do universo, conhecimentos fundamentais como modelos de evolução cósmica, movimentos da Terra e de outros astros, como a estrutura e evolução das estrelas, a comparação entre os planetas do sistema solar, as características das galáxias, além de outros assuntos.

Ainda sobre os trabalhos encontrados será exposto aqui uma breve síntese de cada um, a fim de fomentar ou incentivar a produção de mais matérias desse tipo. O primeiro trabalho se intitula de: *Levantamento de recursos e uma avaliação atual do ensino de astrofísica estelar*. Nesse trabalho, o autor faz uma busca em livros didáticos, sites e plataformas a fim de encontrar textos, plataformas entre outros recursos que possibilitem o ensino de astrofísica estelar na educação básica. Ainda, o trabalho cita a importância dessa temática perante os órgãos que gerenciam a educação brasileira, como por exemplo a BNCC e o PCN+. Uma conclusão do mesmo é que os materiais são escassos e os livros didáticos abordam pouquíssimas coisas sobre essa temática.

O segundo trabalho se intitula: *Dedução do limite de Chandrasekhar, uma abordagem didática dos trabalhos originais do autor*. Neste trabalho o autor aborda e descreve trabalhos sobre uma das fases finais da morte de uma estrela, as anãs brancas, onde ele aborda o início do surgimento dos trabalhos feitos com essa parte da evolução estelar. A conclusão deste trabalho é a dedução de uma equação já existente do limite de Chandrasekhar para estrelas se tornarem anãs brancas no final da sua evolução.

O terceiro trabalho intitulado de: *A utilização do software máxima no ensino por investigação da evolução estelar utilizando simulação gráfica da fusão estelar*. Nesse trabalho, o autor se apoia nas competências da BNCC no que se refere ao ensino de astronomia para criar uma imagem animada (gif) sobre a fusão nuclear nas estrelas.

A conclusão, segundo o autor, é que o uso de imagens animadas GIF, propõe situações que promovem a apropriação de novos conhecimentos.

O quarto trabalho intitulado de: *A velocidade de rotação dos braços espirais da via láctea*. Nesse trabalho, o autor determina a velocidade de rotação do padrão espiral da galáxia através da observação dos locais de nascimento de aglomerados abertos de estrelas no disco galáctico em função da sua idade, uma vez que medida não depende de qualquer modelo da estrutura espiral, como a existência de um certo número de braços, ou a presença da barra na região central. A conclusão dele é uma nova forma de medir a velocidade de rotação dos braços espirais da via láctea.

Ainda, além desses trabalhos citados, outros dois materiais foram usados como base para construir o referencial teórico, fora eles os livros: *Introdução a estrutura e evolução estelar* do autor Walter.J.Maciel e o *Astronomia & Astrofísica* dos autores Kepler de Souza Oliveira Filho e Maria de Fatima Oliveira Saraiva.

Isso posto, foi realizado uma pesquisa qualitativa-quantitativa com os professores das escolas públicas locais, a fim de conhecer a relação deles no ensino médio referente à astronomia com ênfase em evolução estelar, também foi verificado o conhecimento dos professores sobre essa temática, tais como: se tiveram formação adequada enquanto estavam na graduação, o que acham do ensino desse tema, se ensinam ou inserem esse assunto de alguma forma em suas aulas.

Para Godoy:

Em linhas gerais, num estudo quantitativo, o pesquisador conduz seu trabalho a partir de um plano estabelecido a priori (...). Preocupa-se com a medição objetiva e a quantificação dos resultados (...) a pesquisa qualitativa não procura enumerar e/ou medir os eventos estudados, nem emprega instrumental estatístico na análise dos dados. Parte de questões ou focos de interesses amplos, que vão se definindo à medida que o estudo se desenvolve. Envolve a obtenção de dados descritivos sobre pessoas, lugares e processos interativos pelo contato direto do pesquisador com a situação estudada, procurando compreender segundo a perspectiva dos sujeitos, ou seja, dos participantes da situação em estudo. (GODOY, 1995, p. 58).

Logo, ambos os métodos de pesquisa são fundamentais para o desenvolvimento de um bom trabalho acadêmico, pois se sustentam no estabelecimento de metas e coleta de dados.

Os métodos qualitativos e quantitativos não se excluem. Embora difiram quanto à forma e à ênfase, os métodos qualitativos trazem como contribuição ao trabalho de pesquisa uma mistura de procedimentos de cunho racional e intuitivo capazes de contribuir para a melhor compreensão dos fenômenos. Pode-se distinguir o enfoque

qualitativo do quantitativo, mas não seria correto afirmar que guardam relação de oposição (POPE; MAYS, 1995, p.42).

GODOY (1995) relata que há pelo menos a existência de três tipos distintos ou diferentes formas oferecidas com relação ao uso da abordagem qualitativa: a pesquisa documental, o estudo de caso e a etnografia.

Com relação à pesquisa quantitativa, é um método que traz um aspecto muito importante que é a questão da definição do objeto de conhecimento, ou seja, o foco da pesquisa.

A pesquisa quantitativa se dá ou se propõe quando há uma questão bem delimitada e específica que se deseja estudar, possuindo informação e teoria a respeito do objeto de conhecimento. Para (SILVA; SIMON, 2005), a pesquisa quantitativa se faz necessária quando ocorre a identificação de um problema. Esse problema deve ser bem definido com teoria a respeito do que se quer pesquisar. A pesquisa qualitativa é proposta no momento em que há qualidades conhecidas e há um controle do que se vai pesquisar.

No presente trabalho foi utilizado um questionário como ferramenta investigativa para a coleta e análise de dados como relata Proetti (2015), a utilização das pesquisas qualitativa e quantitativa permite a escolha das ferramentas de coletas e análise de dados e informações de modo correto, produtivo e eficaz, pois o conhecimento se constrói com estudos de forma planejada, pensada de modo racional.

O presente questionário que se encontra no anexo foi feito pelo próprio autor, como diz Manzato (2012, p. 10). A importância da identificação do questionário. A primeira parte do questionário exige a identificação de quem faz a pesquisa: nome da empresa, entrevistador, crítico, supervisor, para compor o controle de dados, bem como o seu número (em geral questionários são numerados).

O questionário foi disponibilizado no formato de formulário através do google sala de aula. Participaram da pesquisa um total de 10 professores da educação básica de Caicó e região com a finalidade de obter respostas e opiniões sobre o tema. Como relata Manzato (2012), as pesquisas qualitativas e quantitativas são utilizadas quando se deseja medir opiniões, reações, sensações e atitudes, através de entrevistas ou gravações de um determinado grupo selecionado para a pesquisa.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

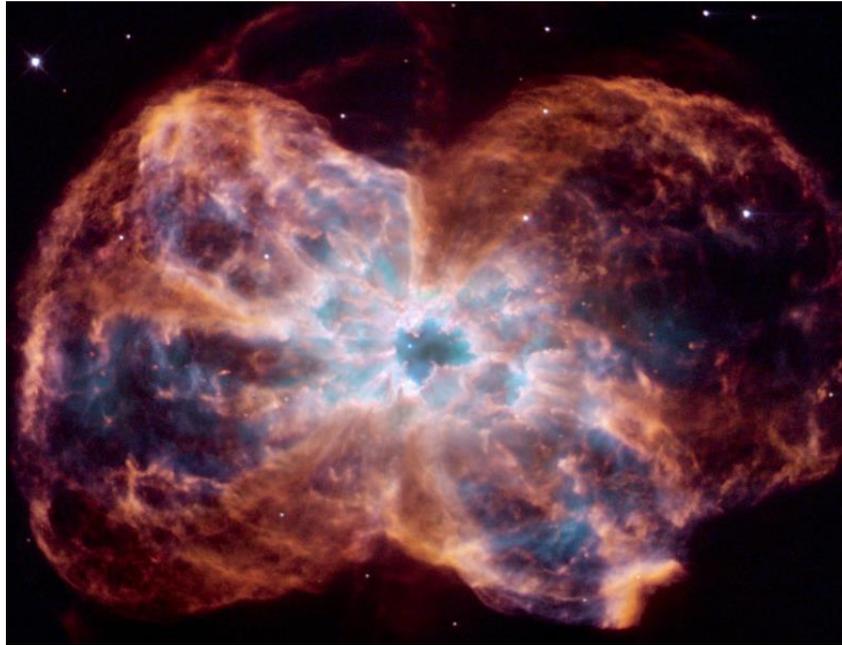
2.1. Evolução estelar (uma visão geral)

O estudo das estrelas corresponde basicamente a estudar os processos físicos que são responsáveis pela sua evolução, desde a formação até a morte. Esse estudo se dá através da luz, devido às longas ou astronômicas distâncias que a maioria se encontra do planeta Terra só é possível o estudo através de observações da luz e algumas poucas imagens geradas por *softwares* ou sondas espaciais.

O estudo da estrutura e evolução estelar é muito complexo e requer um conhecimento e estudo específico nas áreas da física em termodinâmica, física nuclear e gravitação, entre outras áreas de disciplinas como a química, por exemplo, esse saber é necessário para que se possa entender e desenvolver resultados sobre esse assunto (MACIEL, 2018).

Maciel (2018, p. 251) relata que “O estudo da evolução estelar consiste essencialmente em compreender as variações da luminosidade e da temperatura superficial ao longo da vida das estrelas. Essa evolução é basicamente definida por sua massa, sendo a composição química um segundo parâmetro.”

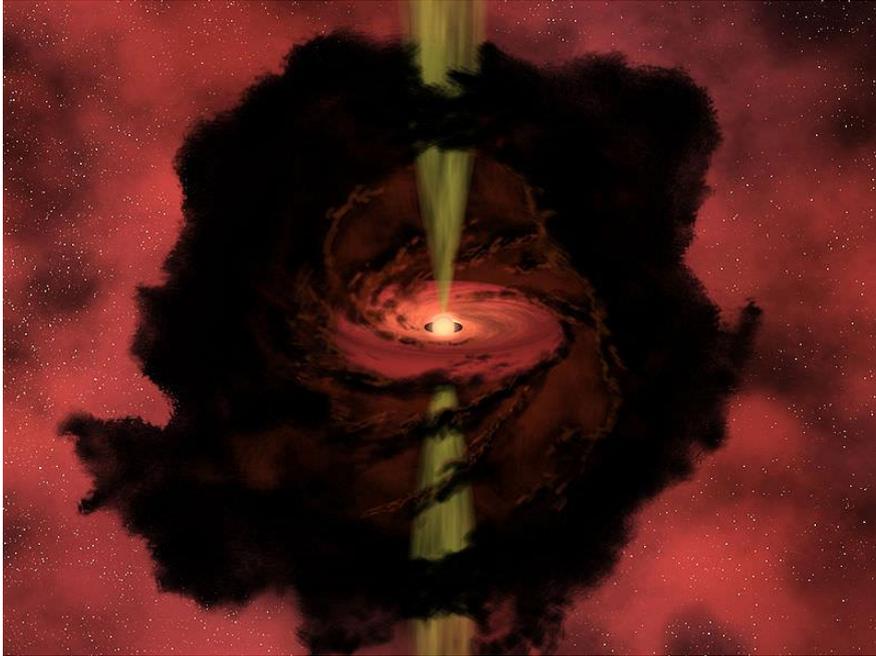
O início da evolução estelar passa primeiro pelo nascimento de uma estrela, que ocorre dentro de nuvens interestelares através de contrações densas de poeira e gás interestelar que frequentemente estão associadas à instabilidade de Jeans (efeito que provoca o colapso na nuvem de gás). Numa nuvem de formato esférico, onde acontece uma inconsciência gravitacional causando assim uma contração na nuvem, essa contração persiste até as partes centrais atingirem densidades e temperaturas suficientes para ser possível a geração das reações nucleares. No decorrer do colapso, o material no centro é aquecido gerando uma espécie de caroço central, denominado de protoestrela, o qual é o núcleo da futura estrela que está se formando (HORVATH, 2011).

FIGURA 01: Nuvem Interestelar

Fonte: Yirka, (2014).

Em outras palavras, as grandes nuvens moleculares geram estrelas em seu interior. Isso ocorre devido à variação do equilíbrio gravitacional. Suponhamos que uma estrela tendo o peso de suas camadas em equilíbrio pela diferença de pressões nos lados da camada, se o peso da camada superar a diferença de pressão ocasiona uma contração. Esse movimento se transforma em um colapso, ou seja, todas as camadas vão em direção a um único centro ao mesmo tempo.

Com isso, forma-se um coágulo de gás muito denso e com uma temperatura muito alta no interior da nuvem interestelar, isso é a protoestrela. Devido ao aumento da contração a temperatura do coágulo aumenta, logo em seguida. Depois de algum tempo a densidade e a temperatura tornam um ambiente favorável para iniciar o processo de fusão de hélio, levando assim a produção de energia nuc

FIGURA 02: Protoestrela

Fonte: Universo Hoje¹

Nesta fase inicial a protoestrela emite sua energia na região espectral do infravermelho com temperatura superficial de 10^3 K, com isso, a emissão infravermelha por grãos de poeira são absorvidos na protoestrela. Isso contribui para que a dissipação ocorra em forma de energia cinética. Logo que a protoestrela possui densidade bastante alta a nuvem torna-se opaca, antes de chegar até a sequência principal a massa da protoestrela é fundamental para a sua evolução, podendo assim alcançar temperaturas muito altas para queima de hidrogênio, tornando assim uma estrela propriamente dita (MACIEL, 2018).

Isto é, a protoestrela se torna de fato uma estrela no momento que começa a fusão nuclear em seu centro, essa energia provocada pela queima nuclear vai produzir uma pressão que fará parar o processo de contração gravitacional. Isso nas fases estáveis da vida da estrela, a pressão que é exercida para fora que ocorre justamente pela queima nuclear se equilibra com a pressão interna, causada pela auto-gravidade.

A energia térmica total de uma determinada estrela pode ser dada por $E_t \simeq UM$, onde U é a energia térmica média por grama (erg/g) de matéria estelar e M é a massa da estrela. Para um gás perfeito, $U = 3kT/2\mu mH$ (HORVATH, 2011).

¹ <https://www.universetoday.com/24663/protostar/>

Outra forma de energia importante é a energia potencial gravitacional, onde a estrela passa por um processo de contração, quando ocorre uma conversão de energia térmica.

No processo de contração gravitacional pelo qual passam as estrelas, a energia potencial gravitacional é perdida, convertendo-se, pelo menos parcialmente, em energia térmica. (2018, p. 54).

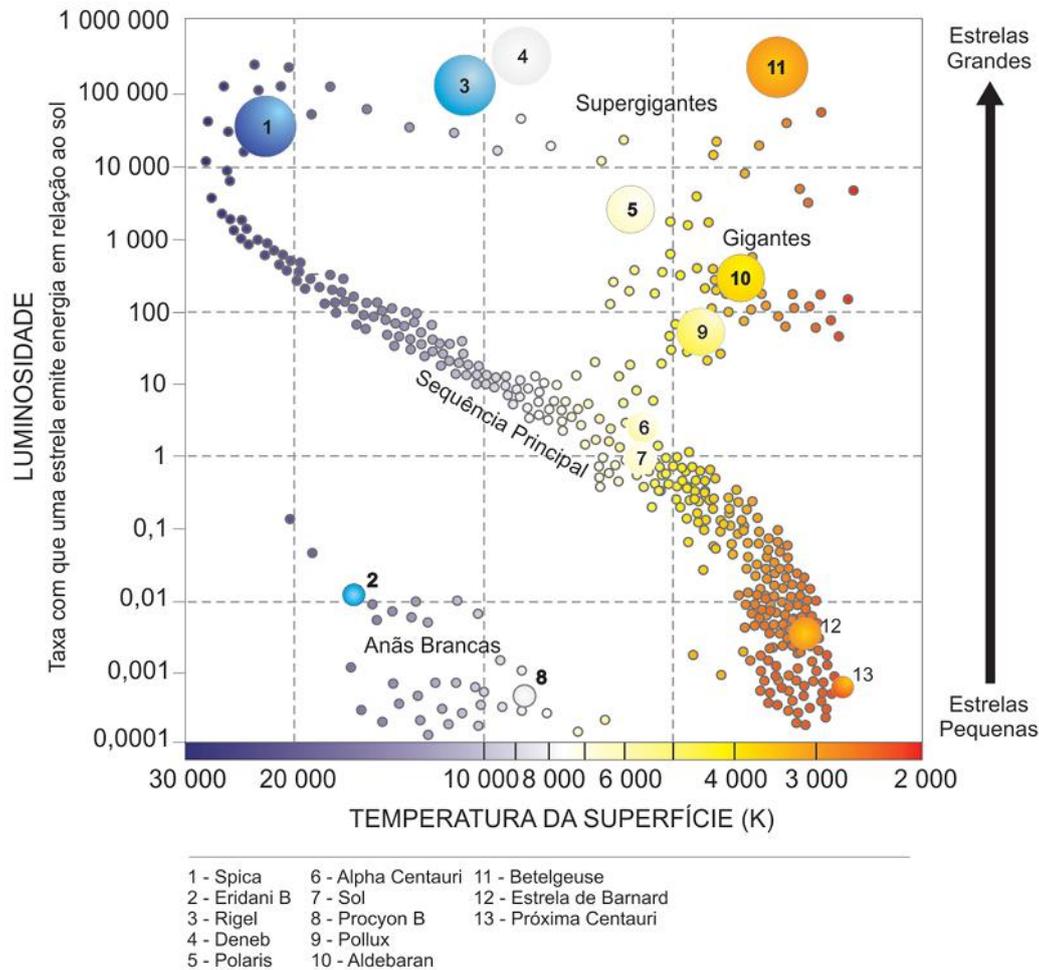
De forma geral, estrelas são esferas de auto-gravidade feitas basicamente de gás ionizado (plasma), e tem como sua fonte de energia a conversão de elementos por meio de reações termonucleares, ou seja, fusão de hidrogênio em hélio e, em seguida, em elementos mais pesados. As estrelas possuem massas no intervalo entre 0,08 e 100 vezes a massa do sol ($M_{\odot} = 1,9891 \times 10^{30} \text{kg}$), estrelas consideradas normais possuem temperaturas entre 2500K e 30000K (KEPLER, 2014).

Uma tentativa proposta para se medir ou comparar os parâmetros das estrelas e sua evolução é o chamado diagrama HR. Através desse diagrama é possível observar uma determinada ordenação em um gráfico de luminosidade *versus* cor ou temperatura.

Segundo Kepler (2014, p. 267)

O diagrama de Hertzsprung Russell, conhecido como diagrama HR, foi descoberto independentemente pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967), em 1911, e pelo americano Henry Norris Russell (1877-1957), em 1913, como uma relação existente entre a luminosidade de uma estrela e sua temperatura superficial. Hertzsprung descobriu que estrelas da mesma cor podiam ser divididas entre luminosas, que ele chamou de gigantes, e estrelas de baixa luminosidade, que ele chamou de anãs. Dessa forma, o sol e a estrela Capela têm a mesma classe espectral, isto é, a mesma cor, mas Capela, uma gigante, é cerca de 100 vezes mais luminosa que o sol.

FIGURA 03: Diagrama HR



Fonte: Kepler (2014, p. 267)

A figura denominada de diagrama HR mostra os dados de algumas estrelas conhecidas. Uma das coisas mais importantes vistas em um diagrama HR é com relação à distribuição das estrelas na qual não estão distribuídas de forma igualitária. Porém, existe de fato uma aglomeração ou agrupamento de estrelas em determinadas partes do diagrama. Isso ocorre devido a evolução de cada estrela.

É possível observar um número relativamente grande de estrelas ordenadas ao longo de uma pequena faixa na diagonal que segue do extremo superior esquerdo, onde estão as estrelas mais quentes e luminosas, até o extremo inferior direito, onde estão as estrelas frias e menos luminosas. É nesta faixa que se encontra a sequência principal, onde o fator determinante e responsável para que uma estrela se encontre na sequência principal é a sua massa. Estrelas que possuem uma massa relativamente grande são mais quentes e luminosas. As estrelas que estão ou ocupam

a sequência principal possuem por definição a classe de luminosidade V e são chamadas de anãs (KEPLER, 2014).

Uma das propriedades fundamentais para o estudo da evolução estelar é sua magnitude aparente. A magnitude aparente é uma certa medida do brilho de uma estrela ou de outro objeto que se deseja estudar, a qual é feita da terra. Com isso, a magnitude aparente de um determinado objeto depende do seu brilho ou luminosidade intrínseca.

A magnitude absoluta M é outra propriedade importante no estudo da evolução estelar. Consiste basicamente na magnitude de um determinado objeto se ele estivesse a uma certa distância da terra e também na ausência de quaisquer fontes que possam interferir em seu brilho.

“A magnitude absoluta M de uma estrela em um dado sistema é definida como a magnitude aparente que a estrela teria se estivesse a uma distância padrão de 10 pc, (pc = parsec = $3,09 \times 10^{18} \text{ cm}$).” (MACIEL, 2018, p. 16).

Também existe uma relação entre a massa da estrela e a sua luminosidade. A luminosidade de uma é uma medida da quantidade de energia emitida por ela mesma. A massa das estrelas são fundamentais para entender sua evolução. Elas variam de 0,08 até 100 massas solares.

Segundo Kepler (2014, p. 275). Pode-se, portanto, estabelecer uma relação massa-luminosidade, que por sua vez permite estimar as massas das estrelas baseadas em seu tipo espectral. Para estrelas com massas superiores a 3 massas solares a luminosidade é proporcional ao cubo da massa, já para massas pequenas, menores que 0,5 massas solares a luminosidade é proporcional a 2,5.

$$M \geq 3M \rightarrow L \sim M^3$$

$$3M \geq M \geq 0,5M \rightarrow L \sim M^4$$

$$M \leq 0,5M \rightarrow L \sim M^{2,5}$$

A maioria das estrelas possui sua composição química bem parecida umas com as outras, como exemplo vejamos o sol. O sol tem aproximadamente 71% da sua composição de hidrogênio (H) por massa ($X=0,71$), e também 27% de hélio (H), ($Y=0,27$), e o restante da composição abrange outros elementos ($Z=0,02$) que são considerados como metais (MACIEL, 2018).

As estrelas nascem, evoluem e morrem. De forma geral, a fase final da evolução de uma estrela depende da sua massa, tendo em vista que existem pelo

menos três estágios finais, ou seja, três fins para uma estrela que são as anãs brancas, as estrelas de nêutrons e os buracos negros.

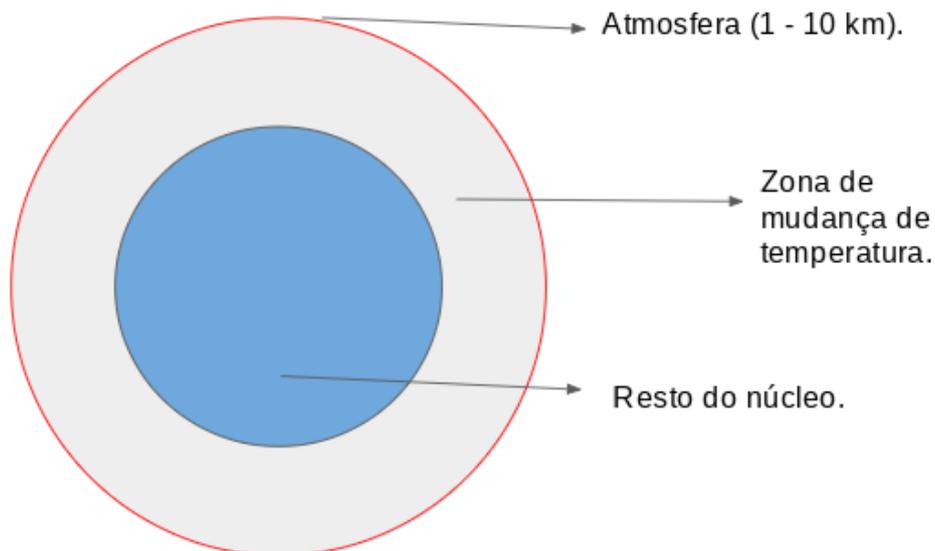
O tempo de vida de uma estrela depende de dois fatores, o primeiro é a energia que ela tem disponível, ou seja, sua luminosidade e segundo, a taxa ou velocidade com que ela gasta essa energia. Já que a luminosidade da estrela é proporcional ao seu tamanho, logo seu tempo de vida é controlado pela massa, e assim, quanto mais massiva a estrela é, mais rápido gasta sua energia.

Segundo Horvath (2011, p. 60)

As anãs brancas são o produto final da evolução de estrelas de massas intermediárias ($M < 8M$) até oito massas solares e constituem uma classe de objetos “frios” no sentido de não gerar energia e tão somente radiar o conteúdo térmico residual e energia liberada durante sua (pequena) contração.

Ou seja, uma anã branca é o resto ou o que sobrou de um núcleo de uma estrela, composta principalmente de matéria gerada por elétrons. Uma anã branca possui uma densidade muito grande, pode-se até comparar o seu volume ao da Terra, mas sua luminosidade é fraca já que nenhuma fusão de elementos químicos corre ali.

FIGURA 04: Estrutura básica de uma anã branca.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Em outros termos, estrelas com massa bem próximas ou igual a massa do sol expõem nebulosas planetárias, abandonando uma estrela central extremamente quente. A energia dessa estrela será consumida em aproximadamente 10^4 anos, em

seguida ocorre um processo de resfriamento onde a luminosidade da estrela será drasticamente reduzida, logo depois atingirá a região das anãs brancas no diagrama HR. Em tese, estrelas que possuem massa no intervalo de $1 < M$ (massa solar) < 8 na sequência principal ocasiona uma formação de anãs brancas e nebulosas planetárias (MACIEL, 2018).

Existem estrelas no centro dessas nebulosas planetárias, que possuem uma temperatura altíssima, algumas chegando até a 200 mil Kelvins. As anãs brancas, por sua vez, possuem massa de aproximadamente 0,6 massas solares e raio da mesma ordem de grandeza do raio da terra.

FIGURA 05: Nebulosa planetária.



Fonte: Nasa ²

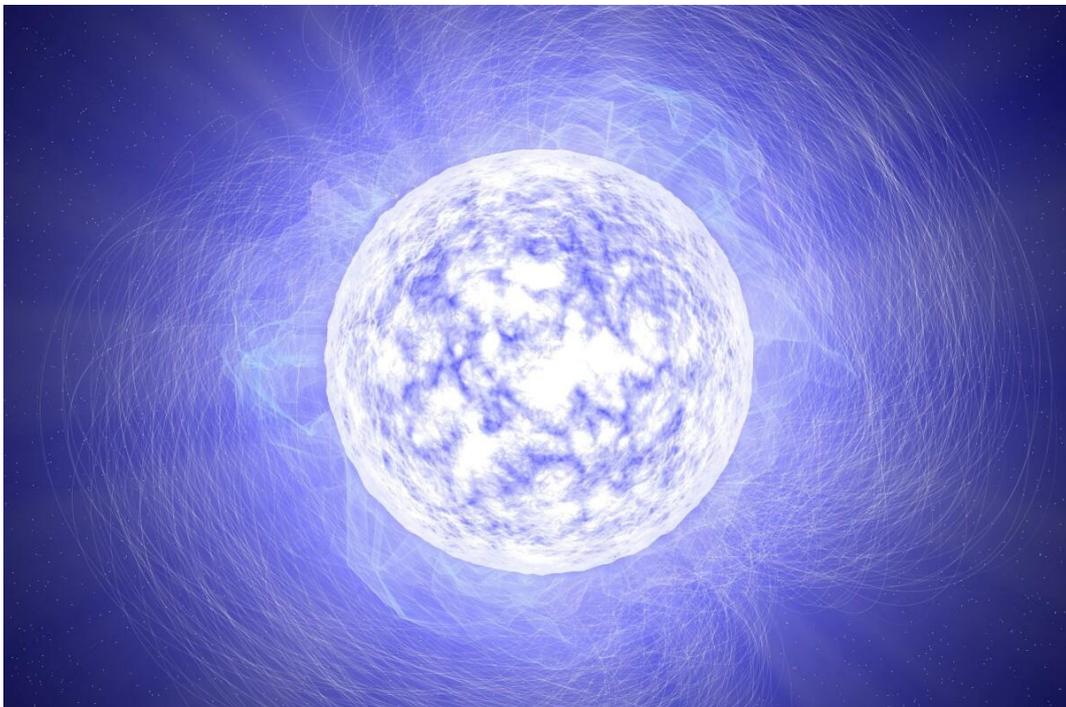
Outro estágio de evolução das estrelas é o que se conhece por estrelas de nêutrons, agora a tarefa é entender como a matéria densa se comporta nas regiões centrais das anãs brancas, se a estrela iniciar sua vida com massa entre $8M$ e $20M$

² https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_77.html.

(massas solares), terá a maior parte de sua massa ejetada em uma explosão de supernova e terminará como uma estrela de nêutrons.

As estrelas de nêutron possuem raio da ordem de 20 km, existe uma região interna que se comporta como um fluido denso, enquanto na região interna ocorre uma mistura de outra espécie de fluido e estruturas cristalinas ricas em nêutrons, ocasionando uma tênue região atmosférica com íons e elétrons. As estrelas de nêutron equivalem aos pulsares, que tiveram seu aparecimento pela primeira vez em 1967 através de detecção de comprimento de ondas de rádio. (MACIEL, 2018).

FIGURA 06: Estrela de nêutrons.



Fonte: New atlas.³

As explosões de supernovas são responsáveis por dar origem às estrelas de nêutrons, isso acontece quando sua região central colapsa de uma forma brutal. Os combustíveis nucleares chegam ao fim e suas camadas são ejetadas, restando assim uma espécie de objeto colapsado.

Agora vamos abordar o estágio final de estrelas com massas superiores a 20M massas solares. Nesse processo ocorre um colapso total, que dá origem a um buraco

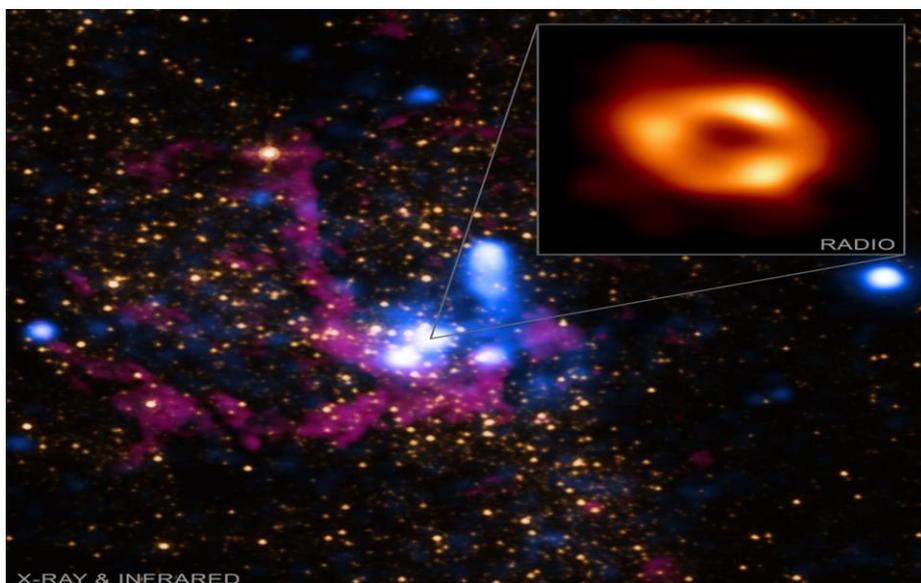
³ <https://newatlas.com/physics/neutron-stars-dark-matter-axion/>.

negro, nesse caso ocorre um colapso total na estrela gerando assim um buraco negro. Não é o propósito deste trabalho realizar um aprofundamento do ponto de vista teórico sobre buracos e sim, uma abordagem mais sucinta.

Ainda, a densidade de um buraco negro se torna infinita no centro, dando origem a uma singularidade que é possível estimar suas dimensões, pressupondo a velocidade de escape, nem mesmo a luz consegue escapar do buraco negro, logo sua detecção depende de objetos existentes nas suas proximidades (MACIEL, 2018).

Em 12 de maio de 2022. A NASA revela a primeira imagem do buraco negro supermassivo no centro de nossa própria Via Láctea. Segundo a própria NASA, A imagem foi produzida por uma equipe de pesquisa global chamada Event Horizon Telescope (EHT) Collaboration, usando observações de uma rede mundial de radiotelescópios. Os cientistas já haviam notado estrelas orbitando em torno de algo invisível, compacto e massivo no centro da Via Láctea. A imagem revelada fornece a primeira evidência visual direta disso.

FIGURA 07: Buraco Negro



Fonte: Nasa⁴

⁴ <https://newatlas.com/physics/neutron-stars-dark-matter-axion/>.

2.2 Evolução estelar e Astronomia na educação básica

Segundo Horvath (2008), os fenômenos físicos que são responsáveis pelo processo de evolução estelar são muito relevantes, pois são esses fenômenos que nos permitem calcular temperaturas extremamente altas no universo, temperaturas próximas ao início da expansão do universo, as quais são detectadas principalmente em explosões de supernova.

Além disso, as estrelas são responsáveis pela origem dos elementos químicos, exatamente todo o hidrogênio que existe no universo hoje formou-se logo em seguida ao início da expansão do universo, contudo, a temperatura e a própria expansão não tornaram possível a produção de diversos elementos, com exceção do deutério, do hélio e do lítio. A fonte principal de criação desses elementos são as estrelas. A fusão nuclear é responsável por esse processo que ocorre no interior delas (Horvath, 2013).

Dessa forma, a evolução estelar é um dos principais assuntos dentro da astronomia e evolução do universo, possuindo uma grande relevância na exploração espacial, o estudo das estrelas contribui muito para o avanço da tecnologia, para a busca de vida fora do planeta Terra e é uma temática de muita importância na educação básica.

Ainda, buscar respostas sobre a vida e o universo faz parte das ocupações dos seres humanos, assim é importante situar na educação uma visão cosmológica sobre as ciências, nesse caso a astronomia. Novas descobertas, mundos habitáveis, evolução estelar e também as condições para a existência da vida como a conhecemos no planeta Terra (Brasil, 2002).

Ainda que o aprendizado da astronomia seja bastante antigo, nas escolas públicas brasileiras é possível perceber um *déficit* com relação a essa temática. Ainda que seja possível notar uma pequena explanação desse conteúdo, a abordagem é muito superficial e por vezes equivocada. No que diz respeito à formação de professores, apenas alguns cursos de graduação de ciências no geral possuem alguma disciplina relacionada à Astronomia (AROCA; SILVA, 2011).

É, portanto, necessário que essa temática ou conteúdo esteja presente na educação básica, devido a sua importância no eixo educacional brasileiro pois a base nacional comum curricular (BNCC) em suas competências de ciências da natureza e suas tecnologias para o ensino médio na unidade temática **Vida, Terra e Cosmos** cita que.

propõe-se que os estudantes analisem a complexidade dos processos relativos à origem e evolução da Vida (em particular dos seres humanos), do planeta, das estrelas e do Cosmos, bem como a dinâmica das suas interações, e a diversidade dos seres vivos e sua relação com o ambiente (BNCC, 2018, p. 551).

Com isso, percebe-se que é um assunto muito relevante para a educação básica e torna-se necessário na grade comum curricular.

Ainda, referente às atividades de pesquisa sobre a temática de Astronomia com ênfase em evolução estelar, é possível notar uma grande deficiência, pois a grande maioria dos trabalhos estão relacionados ou tratam de assuntos ou problemas envolvendo apenas o sol, Terra e lua. Algumas vezes abordam as estações do ano (LANGHI; NARDI, 2014).

Ou seja, apesar da presença dessa temática e de sua importância nos currículos educacionais, é visível e notório a ausência desses assuntos. Isso causa uma deficiência na formação científica dos alunos, pois geralmente as escolas estão mais preocupadas em ensinar de forma mecânica, um ensino tradicional focando apenas em provas de vestibulares como, por exemplo, o ENEM.

Essa abordagem tradicional, que foca na aprovação de exames ou provas de vestibular, não desenvolve no estudante o pensamento crítico e nem desenvolve habilidades que possam ser necessárias para resolver problemas na sociedade (SEGURA; KALHIL, 2015).

Ainda o PCN+ do ensino médio discorre.

Finalmente, será indispensável uma compreensão de natureza cosmológica, permitindo ao jovem refletir sobre sua presença e seu “lugar” na história do Universo, tanto no tempo como no espaço, do ponto de vista da ciência (PCN+, 2006, p. 70).

Com isso, temas como estrelas, buracos negros, galáxias entre outros estão cada vez mais presentes no dia a dia e nos meios de comunicação. Como mostra os parâmetros curriculares nacionais (PCN), o aprendizado dessa área é fundamental para a conclusão da educação básica, tendo em vista que possui ligação direta com a história da ciência, cooperando com o aprimoramento e evolução científica no decorrer do tempo (BRASIL, 2000).

Ainda, seguindo o tema proposto para o ensino de astronomia na educação básica, temos:

Confrontar-se e especular sobre os enigmas da vida e do universo é parte das preocupações frequentemente presentes entre jovens nessa faixa etária. Respondendo a esse interesse, é importante propiciar-lhes uma visão cosmológica das ciências que lhes permita situarem-se na escala de tempo

do Universo, apresentando-lhes os instrumentos para acompanhar e admirar, por exemplo, as conquistas espaciais, as notícias sobre as novas descobertas do telescópio espacial Hubble, indagar sobre a origem do Universo ou o mundo fascinante das estrelas e as condições para a existência da vida como a entendemos no planeta Terra. (BRASIL, 2002, p. 78).

Também, os parâmetros curriculares nacionais (PCN) discorrem que o ensino dessa área é dotado de um saber importante para a conclusão da educação básica, pois se relaciona de forma direta com o ensino de ciências, especificamente, com o ensino de física, além de contribuir de forma significativa com o aprimoramento e desenvolvimento do conhecimento científico ao longo de tempo (BRASIL, 2000).

A astronomia apresenta um conteúdo enriquecedor e bastante motivador, estudar os seus tópicos como, por exemplo, evolução estelar proporciona no indivíduo o prazer de entender e compreender um pouco sobre o universo, ainda pode desmistificar algumas ideias do senso comum sobre os fenômenos astronômicos (CANIATO, 2011).

Segundo Nardi (2014), o ensino de astronomia pode contribuir de forma significativa para o desenvolvimento da alfabetização científica, da cultura científica, além de desmistificar pseudociências, contribuindo para um melhor desenvolvimento de temas científicos e tecnológicos que podem contribuir para o avanço da ciência e tecnologia no país.

Dessa forma, o estudo da astronomia ou temas específicos dessa área é de suma importância para a educação básica, tendo em vista o valor desses conteúdos, principalmente, nos dias atuais, quando presenciamos cada vez mais descobertas nesta área da ciência.

O estudo da astronomia ou temas relacionados à astronomia tem potencial para proporcionar no estudante aspectos importantes em seu desenvolvimento cognitivo, além de ser muito eficaz para com relação ao aprimoramento do conhecimento científico (AGAN, 2004).

A evolução estelar é um tema bastante recorrente no meio da ciência, descobertas de estrelas habitáveis, estrelas binárias, entre outras, que contribuem para o desenvolvimento da ciência que chamamos de astronomia. Ainda, estudar as estrelas é estudar o nosso sol, nossa fonte de energia.

Vale destacar que as estrelas estão entre os principais temas que constituem o estudo da astronomia e também das ciências espaciais, dada a importância do

assunto para a ciência e a tecnologia e conseqüentemente para a humanidade. Esse tema se faz importante também na educação básica (MATEUS, 2003).

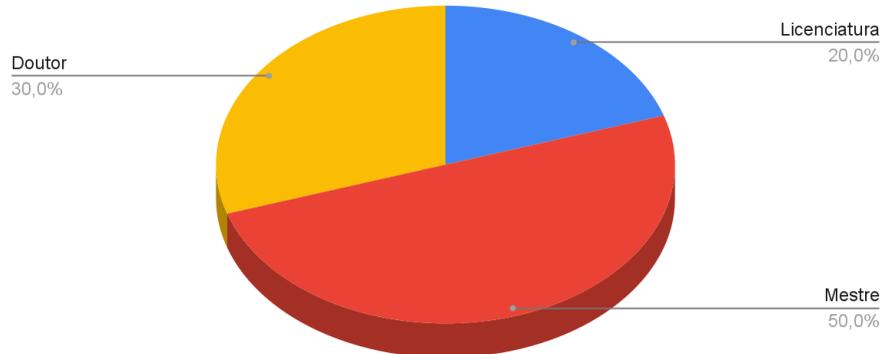
Horvath (2008) relata a importância do estudo do ciclo de vida das estrelas na educação básica, além da abundância dos elementos químicos. Os processos físicos que estão presentes durante a formação estelar são fundamentais para entender o processo da vida e morte das estrelas, temas recorrentes na ciência atualmente.

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta parte serão apresentados os resultados do questionário aplicado com os professores, para fins de privacidade os nomes dos professores, nem as escolas/instituições serão expostas. O método proposto para a presente análise, foi um questionário com perguntas discursivas e objetivas, o qual foi disponibilizado através do google forms aos professores com a finalidade de manifestar contatos com possíveis pontos de Astronomia, com ênfase em evolução estelar, durante a graduação e pós-graduação e se ministram ou utilizam o tema evolução estelar em suas aulas.

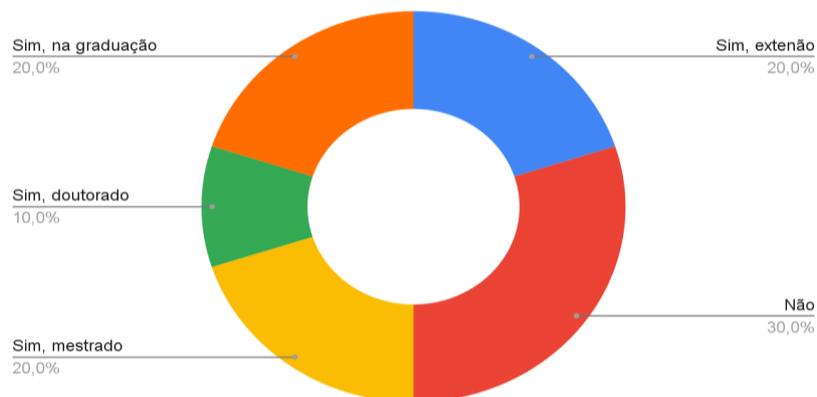
O questionário teve a intenção de investigar o nível do conhecimento de cada professor com relação a essa temática. Através de algumas discussões, apoiadas na BNCC e no PCN+ o questionário foi escolhido e usado como técnica de investigação. Como relata o Gil (1999, p.128), o questionário pode ser definido “como a técnica de investigação composta por um número mais ou menos elevado de questões apresentadas por escrito às pessoas, tendo por objetivo o conhecimento de opiniões, crenças, sentimentos, interesses, expectativas, situações vivenciadas etc.”.

Também foram analisadas as dificuldades que os discentes encontram para inserir Astronomia com ênfase em evolução estelar nas suas aulas. Logo após a coleta dos dados, demos início a análise dos resultados obtidos e começamos a discussão a fim de atender o problema proposto. O público-alvo desta pesquisa foram professores de Física da educação básica de escolas da região do Seridó do Rio Grande do Norte. Ao todo foram entrevistados 10 professores de 5 escolas distintas. Os dados serão expostos aqui em forma de tabelas e gráficos produzidos pelo próprio autor.

GRÁFICO 01: Formação acadêmica/titulação

Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse primeiro gráfico, foram levantados os dados da formação acadêmica dos professores, os quais é possível observar em porcentagem. Esse foi o ponto de partida. Sobre, a primeira pergunta do questionário, podemos dizer que é em relação ao que é importante saber a respeito da formação acadêmica de cada professor, pois dependendo da pós-graduação o docente pode ter tido mais contato com essa temática.

GRÁFICO 02: Cursos de pós-graduação/extensão na área.

Fonte: Elaborado pelo autor.

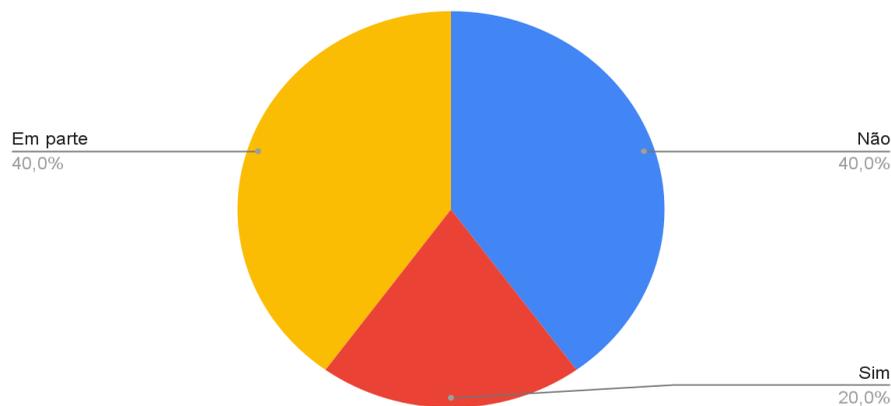
Nesse segundo gráfico, foi levantada a formação acadêmica dos professores com relação à área específica da temática, se em algum momento durante a sua formação cursaram disciplinas ou fizeram cursos, seja de pós-graduação ou cursos de extensão, relacionados à Astronomia com ênfase em evolução estelar. É

interessante ressaltar que uma parte bem considerável, ou seja, 30% dos professores não tiveram contato com Astronomia no decorrer da sua formação até o momento.

Isso se torna uma preocupação devido às competências descritas, tanto na BNCC quanto também no PCN+, já que ambos deixam claro a inserção desse tópico na educação básica, é interessante lembrar que são professores de Física e deviam ter essa formação em seus cursos de graduação. Porém, 20% dos entrevistados citaram que tiveram contato com essa temática na própria graduação, isso pode ter ocorrido devido às grades curriculares de cada curso, em suas respectivas instituições, serem diferentes.

20% dos entrevistados responderam que em cursos de extensão, essa informação é importante, pois de certa forma revela a importância que o docente vê no tema, já que é proposto pelos órgãos que regulam a educação básica. 20% responderam que seria importante no mestrado e 10% no doutorado, ou seja, apenas em áreas específicas de uma pós-graduação.

GRÁFICO 03: PCN+/BNCC propõem o estudo desta temática. Você trabalha alguns destes temas no ensino médio?



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse gráfico, foi levantada uma informação de suma importância, não só os PCN+ como também a BNCC cobram ou justificam o ensino de Astronomia e evolução estelar na educação básica. Com isso, foi perguntado aos professores se eles utilizam essa temática em suas aulas, se sim, como, de que forma; se não, por quê.

Antes de prosseguir é interessante esclarecer a legenda do gráfico, na cor amarela (em parte), são os professores que utilizam ou utilizaram astronomia com ênfase em evolução estelar em um assunto ou outro no ensino de Física, de forma bastante limitada. Na cor vermelha (sim), são os professores que além de utilizar em um assunto ou outro no ensino de Física, ainda, abordam ou abordaram por meio de feiras de ciência, aulas específicas entre outras iniciativas vindas do próprio docente. Por fim, a parte azul (não), são os professores que nunca utilizaram essa temática em suas aulas de Física.

Uma observação importante sobre as respostas é que 40% relataram que não utilizam essa temática em suas aulas. Esse dado é importante pois como citado antes, os órgãos que regem a educação brasileira propõem essa temática na educação básica. No gráfico anterior foi exposta a formação acadêmica dos professores, vimos que a maioria não teve contato com esse tema na graduação, e isso poderia refletir na abordagem dessa temática no ensino. Vejamos agora algumas das principais respostas dos docentes entrevistados.

Com relação à cor amarela representada no gráfico, as respostas mais comuns foram:

- *Apenas a parte relacionada aos planetas quando trabalhamos os conceitos da gravitação universal.*
- *Sim, em conteúdos sobre gravitação na primeira série do médio. A abordagem concentra-se no sistema solar em suas dimensões e o básico de sua formação.*

Com relação à cor vermelha representada no gráfico, as respostas mais comuns foram:

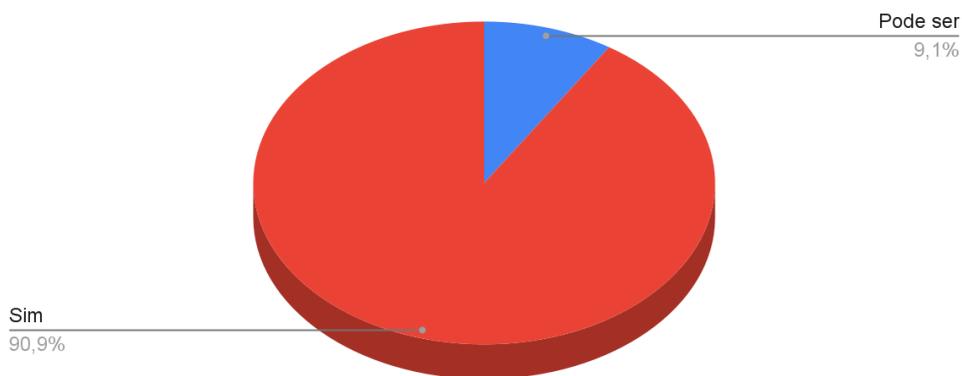
- *Sim. Ano passado iniciei uma eletiva chamada: Céu: uma viagem no fascinante mundo da Astronomia. Além disso, quando ministro aulas sobre terminologia, calor e refração sempre abordo temas sobre.*
- *Sim, na 1ª série, durante a discussão do capítulo que aborda o conteúdo de Gravitação Universal (com base na matriz do ENEM - C6 H20), convidei o astrônomo José Roberto (presidente da ABP) para participar ao vivo da aula e responder às perguntas dos alunos sobre o tema de exploração espacial.*

Com relação à cor azul representada no gráfico, as respostas mais comuns foram:

- *Não, por que não vem nos materiais*
- *Não. A carga horária minguada da disciplina de Física exige a priorização de algumas competências em detrimento de outras, a competência em questão não é priorizada em meus planejamentos.*

Algumas respostas merecem destaque, apesar da utilização por parte de alguns professores, principalmente, no conteúdo de gravitação, mas duas respostas bem interessantes são a falta de material adequado e a carga horária da disciplina. Esses pontos são preocupantes, pois apesar das orientações sugeridas pelos órgãos da educação, a estrutura curricular e o tempo de hora-aula proposta por eles parece não ajudar a inserção dessa temática segundo os próprios professores.

GRÁFICO 04: Astronomia e seu potencial interdisciplinar, você considera esse tema relevante para a educação básica?



Fonte: Elaborado pelo autor.

Nesse gráfico, foi explorado o potencial interdisciplinar que a astronomia possui, pois na educação básica, abrange distintas áreas do conhecimento: Física, Química, Biologia, História, entre outras. Com isso, foi perguntado aos professores se eles achavam relevante essa temática.

As respostas mais comuns para a parte azul representada no gráfico foram:

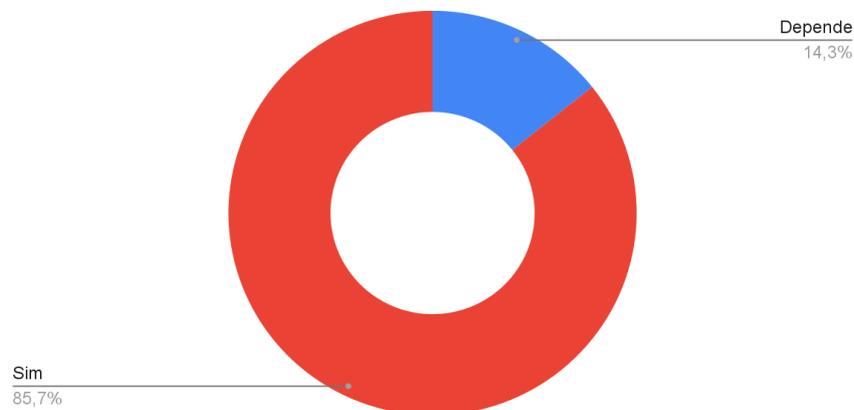
- *É uma temática bastante interessante e que pode sim ser trabalhada devido seu grande potencial significativo e interdisciplinar.*

As respostas mais comuns para a parte vermelha representada no gráfico foram:

- *Sim, é relevante e temas como a cosmogênese são muito interessantes.*
- *Com certeza*
- *O Ensino de Astronomia é extremamente importante para a educação básica, a Astronomia é a área da Ciência que se dedica a compreender a origem e evolução dos objetos e fenômenos celestes. Muitos povos e civilizações se debruçaram sobre os estudos astronômicos, que antigamente se confundiam com estudos teológicos e astrológicos. A observação do céu inspirou, por milênios não apenas cientistas e filósofos, mas também religiosos, poetas, músicos, viajantes e, de modo geral, qualquer pessoa que, olhando para cima percebesse o espetáculo diário oferecido pelo Universo. Portanto, essa temática é rica e abre espaço para muita curiosidade, uma vez que o ser humano só conheceu uma área muito pequena diante da infinitude espacial.*

Na análise desse gráfico é possível notar que a grande maioria concorda com o potencial interdisciplinar dessa temática até mesmo docentes que não tiveram contato com o tema na graduação. Esse dado é relevante, pois mostra o real interesse dos professores por esse tema e incentiva aos demais professores a propor algo no meio acadêmico sobre essa temática.

GRÁFICO 05: Se houvesse material adequado para essa temática, você trabalharia no ensino médio?



Fonte: Elaborado pelo autor.

Neste gráfico foi explorada a importância dos aspectos da astronomia com ênfase em evolução estelar e perguntado aos professores se existisse uma espécie de material que pudesse apoiar essa temática seria possível trabalhar com ela no ensino médio.

As respostas mais comuns para a parte azul representada no gráfico foram:

- *Depende muito da qualidade do material. Um bom material tem o potencial de cativar uma posição no planejamento de qualquer professor.*

As respostas mais comuns para a parte vermelha representada no gráfico foram:

- *Sim, com certeza.*
- *Sim, utilizaria o material nas minhas aulas, considerando a importância e grau de interesse dos alunos em relação à temática.*
- *Com toda a certeza.*

Nessa parte do questionário, a maioria dos professores responderam que sim, que usariam em suas aulas ou melhor, abordariam esse tema se houvesse um material específico. De uma forma geral os grandes obstáculos dos docentes são, a falta de material e o tempo que é muito curto, e isso realmente preocupa devido aos próprios Órgãos educacionais sugerirem esse tema, mas não darem as condições necessárias para os professores o aplicarem em sala de aula.

4. ANÁLISE DO MATERIAL

A proposta desse material é uma tentativa de vincular o ensino de Astronomia ao ensino de Física, além de apresentar uma temática pouco estudada na educação básica, muitas vezes devido a sua complexidade ou pela própria carga horária da disciplina de Física ser insuficiente. Entretanto, é um tema cobrado pelos órgãos que coordenam a Educação Básica, por isso, a importância de inserir esse assunto.

O uso desse material pode ocorrer de diversas formas. O professor pode usar a criatividade ou fazer testes e aplicações em turmas a fim de obter resultados, mas aqui será deixado uma sugestão de uso para os docentes. A ideia de uso para esse material é simplesmente abordar os aspectos físicos, usando a evolução estelar como plano de fundo.

Vamos usar como exemplo o assunto de carga elétrica e força elétrica. O meio interestelar é composto por 90% hidrogênio, o átomo de hidrogênio é composto por um próton que possui carga positiva e um elétron que possui carga elétrica negativa. Utilizando esse contexto podemos definir o conceito de carga elétrica, ainda, a lei de coulomb ou força eletrostática, já que a carga elétrica é responsável por essa força que existe entre os corpos.

Durante a fragmentação da nuvem interestelar acontece um colapso, à medida que esse colapso vai acontecendo há um aumento na velocidade de rotação. Nesse contexto é possível abordar a conservação do momento angular, e nesse processo a rotação não pode desaparecer. À medida que a nuvem vai colapsando, o seu volume vai diminuindo, logo, a velocidade de rotação aumenta, justamente para compensar essa diminuição do volume.

Esses e outros aspectos físicos estão contidos no material durante o decorrer do processo de evolução estelar, desde o nascimento de uma estrela até a sua morte. Então, como utilizamos um carro ou um móvel para explicar conceitos como deslocamento, aceleração, lei de Newtons etc. A ideia é utilizar a evolução estelar para explicar determinados conceitos físicos.

No decorrer do texto, há pequenas caixinhas informativas, desenvolvidas pelo próprio autor que apontam os aspectos físicos durante o processo de evolução estelar. Isso vai facilitar para o leitor, pois poderá visualizar os aspectos físicos em destaque entre o texto que descreva o desenvolvimento da vida das estrelas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

É possível notar de acordo com os dados ou respostas da pesquisa que a maioria dos professores participantes apesar de não utilizarem essa temática em suas aulas, acham muito relevante e alegam a falta de um material específico e a pouca carga horária da disciplina de Física. Isso é um obstáculo que impede a utilização dessa temática. Com relação à falta de material específico, é justamente isso que este trabalho propõe, ou seja, elaborar um material/texto que possa servir não só para auxiliar na utilização dessa temática, mas também para quem quer conhecer um pouco sobre o assunto.

Ao todo participaram e receberam o convite 13 professores, porém segundo as respostas obtidas no formulário, 3 desses professores não responderam ou não quiseram participar, mesmo mostrando interesse na hora do contato formal. Isso é uma dificuldade atualmente com relação à pesquisa, alguns professores se mostram interessados e não respondem. Contudo, um número significativo participou, o que foi de extrema importância para a realização deste trabalho.

Ainda, com relação à curta carga horária da disciplina de Física, é interessante uma pesquisa com relação a isso. Porque os órgãos que regem ou coordenam a Educação Básica priorizam tantos conteúdos numa ementa que possui uma carga horária relativamente baixa se comparada a outras disciplinas. Além disso, uma pesquisa também com relação à formação dos professores seria interessante, porque eles não possuem uma formação específica para determinado tópico que é considerado bastante relevante na sua área.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, M. M. **Introdução à metodologia do trabalho científico**: elaboração de trabalhos na graduação. São Paulo: Atlas, 2010.

AROCA, S. C.; SILVA, C. C. Ensino de astronomia em um espaço não formal: observação do Sol e de manchas solares. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 01-11, mar. 2011.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PESQUISA, DESENVOLVIMENTO DE ENGENHARIA DAS EMPRESAS INOVADORAS - ANPEI. **Indicadores empresariais de inovação tecnológica**: instrumento de coleta de dados. 1993. Disponível em: <http://portaldeperiodicos.eci.ufmg.br/index.php/pci/article/viewFile/594/363>. Acesso em: 9 fev. 2022.

BAZETTO, Maria Cecília Queiroga; BRETONES, Paulo Sergio. A Cosmologia em teses e dissertações sobre ensino de Astronomia no Brasil. In: Simpósio Nacional de Educação em Astronomia, 1, 2011, Rio de Janeiro. **Anais eletrônicos...** Rio de Janeiro: 2011. Disponível em: http://snea2011.vitis.uspnet.usp.br/sites/default/files/SNEA2011_TCP30.pdf . Acesso em: 03 de fev. 2022.

BOCCATO, V. R. C. Metodologia da pesquisa bibliográfica na área odontológica e o artigo científico como forma de comunicação. **Rev. Odontol. Univ. Cidade São Paulo**, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 265-274, 2006.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. (2000). **Parâmetros curriculares nacionais ensino médio**: parte III Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias. SEMTEC. Brasília, DF: MEC/SEF.

BRASIL. Ministério da Educação e do Desporto. (2000). **Parâmetros curriculares nacionais ensino médio: parte III Ciências da natureza, Matemática e suas tecnologias**. SEMTEC. Brasília, DF: MEC/SEF.

BRASIL. Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **PCN+ Ensino Médio—orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

CANIATO, Rodolpho. **O Céu**. Campinas: Átomo, 2011.

DIAS, C. A. C.M; SANTA RITA, J. R. Inserção da astronomia como disciplina curricular do ensino médio. **Revista Latino-americana de educação em astronomia**, n. 6, p. 55-65, 2008.

FAZENDA, I. C. A. **Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia**. Coleção realidade educacional, v. IV, São Paulo: Loyola, 2002.

FERRARO, Nicolau Gilberto. Física, volume único / Nicolau Gilberto Ferraro, Carlos Magno A. Torres, Paulo César M. Penteado. 1. ed. São Paulo: Moderna, 2012. (Vereda digital)

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica**. Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia: saberes necessários à prática educativa**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.

GODOY, A. S. Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. **Revista de Administração de Empresas**, São Paulo, v. 35, n. 3, p. 20-29, maio/jun, 1995.

HORVATH, J. E. **O ABCD da Astronomia e Astrofísica**. São Paulo: Livraria Da física, 2008.

HORVATH, J. E. **Uma proposta para o ensino da astronomia e astrofísica estelares no ensino médio**. São Paulo: Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 35, n. 4, p. 1-8, 2013.

HORVATH, Jorge. **Fundamentos da evolução estelar, supernovas e objetos compactos**. São Paulo: Livraria da Física, 2011. 392 p. v. 1.

JUNG, C. F. **Metodologia Científica: ênfase em Pesquisa Tecnológica**. 2004. Disponível em: <http://www.geologia.ufpr.br/graduacao/metodologia/metodologia/jung.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2022.

KEPLER DE SOUZA OLIVEIRA FILHO; DE, M. **Astronomia e astrofísica**. São Paulo: Livraria Da Física, 2014.

LANGHI, R.; NARDI, R. Justificativa para o ensino de astronomia: o que dizem os pesquisadores brasileiros? **Revista brasileira de pesquisa em educação em Ciências**, v. 14, n. 3, p. 41-59, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4292>. Acesso em 25 fev. 2022.

ARANY-PRADO, LILIA IRMELI. **À luz das estrelas**. Rio De Janeiro: Dp & A Editora Ltda, 2017.

MACIEL, Walter. **Introdução à estrutura e evolução estelar**. São Paulo: USP, 2018. 280 p. v. 1.

MORIN, E. A cabeça bem feita. **Repensar a reforma repensar o pensamento**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

POPE, Catherine; MAYS, Nick, **Reaching the parts other methods cannot reach: an introduction to qualitative methods in health and health service research**, In *British Medical Journal*, n. 311, 1995, pp.42-45.

SEGURA, E.; KALHIL, J. B. A METODOLOGIA ATIVA COMO PROPOSTA PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS. **REAMEC - Rede Amazônica de Educação em Ciências e Matemática**, v. 3, n. 1, p. 87–98, 30 dez. 2015.

SEVERINO, Antônio Joaquim. Ensino e pesquisa na docência universitária: caminhos para a integração. 3 Universidade de São Paulo Faculdade de Educação **FEUSP** Cadernos de Pedagogia Universitária n.3 p.1-40 2008. Disponível em: http://www.prpg.usp.br/attachments/article/640/Caderno_3_PAE.pdf. Acesso em: 17 fev. 2022.

SILVA, D. da; SIMON, F. O. 2005. **Abordagem quantitativa de análise de dados de pesquisa**: construção e validação de escala de atitude. *Cadernos CERU*, 16, 11-27.

SONODA, A. V. **Pesquisa básica e aplicada**. 2008. Disponível em: <http://sonodapesquisas.blogspot.com/2008/05/pesquisa-bsica-e-plicada.html>. Acesso em: 12 fev. 2022.

VILAÇA, M. L. C. **Pesquisas em estratégias de aprendizagem**: um panorama. *Revista E-escrita*. v. 1, n. 1, jan.-abr. 2010.

YIRKA, Bob. **Pesquisadores usam novo método para calcular a idade do núcleo da nuvem interestelar**. 2014. Disponível em: <https://phys.org/news/2014-11-method-interstellar-cloud-core-age.html>. Acesso em: 31 de jan. 2023.

YUN, João L. *Astronomia e astrofísica, a ciência do universo*. **O Observatório**, Lisboa, 2004, n. 7, v.10, 2004. Disponível em: <http://www.oal.ul.pt/oobservatorio/vol10/n7/pagina4.html>. Acesso em: 28 fev. 2022.

APÊNDICE A - MATERIAL DE APOIO

A vertical photograph of a starry night sky. The Milky Way galaxy is visible as a bright, hazy band of light stretching from the bottom center towards the top. The sky is filled with numerous individual stars of varying brightness. In the bottom center, the silhouette of a person stands with their arms raised, looking up at the stars. The bottom edge of the image shows the dark silhouettes of trees and foliage.

**A EVOLUÇÃO ESTELAR E SEUS ASPECTOS FÍSICOS:
UMA ABORDAGEM PARA A EDUCAÇÃO BÁSICA.**

SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO	49
2. NUVEM INTERESTELAR (BERÇÁRIO DAS ESTRELAS)	50
3. NASCIMENTO E VIDA DAS ESTRELAS	57
3.1 Sequência principal.....	59
4. ESTÁGIOS FINAIS DA EVOLUÇÃO ESTRELAS	65
4.1 Anãs brancas	67
4.2 Estrelas de nêutrons	69
4.3 Buracos negros.....	71
REFERÊNCIAS.....	74

1. APRESENTAÇÃO

Nessa parte consta o material proposto no decorrer do trabalho. É interessante ressaltar que para um estudo profundo da evolução estelar é preciso ter um domínio de diversos campos da Física a nível de ensino superior, como também conhecimentos de cálculo diferencial integral, ou seja, conhecimentos físicos e matemáticos de nível superior que não são abordados na educação básica, e não é esse o propósito deste trabalho.

O objetivo deste trabalho não é uma análise profunda, e sim, tentar mostrar um pouco desse tema de uma forma diferente para o público da educação básica, de uma forma que possam entender sem precisar desses conhecimentos avançados nas áreas da Física e da Matemática.

De uma forma geral, este trabalho ou produto foi inspirado e baseado nos livros *Introdução a estrutura e evolução estelar*. Do autor Walter J. Maciel e *Astronomia & Astrofísica*. Dos autores Kepler de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva. Ou seja, é uma tentativa de mostrar ou expor um conteúdo a nível de ensino superior para um público da educação básica. É possível que nem todos os aspectos físicos possam ser mostrados nessa abordagem, já que como citado acima, é preciso um aprofundamento maior, num nível superior dos pontos de vista físico e matemático.

O processo pelo qual as estrelas evoluem é rico em aspetos físicos, aspectos esses que são fundamentais para a Educação Básica. O conteúdo de evolução estelar também é relevante para o ensino de Física, logo é possível juntar os conteúdos a fim de colaborar para o processo de ensino e aprendizagem, tendo em vista que é uma forma de abordagem diferente que pode contribuir para o ensino de Física e também para o ensino de Astronomia.

2. NUVEM INTERESTELAR (BERÇÁRIO DAS ESTRELAS)

A composição do meio interestelar, ou seja, onde ocorre o nascimento das estrelas consiste em aproximadamente 90% hidrogênio (H_2), 9% hélio (He) e 1% de outros elementos mais pesados. Nesse meio onde as estrelas se desenvolvem existe uma concentração de moléculas provenientes de gases e poeira cósmica em forma de nuvens que variam de tamanho e massa.

Uma das imagens mais icônicas, reveladoras e interessantes da astronomia é a nebulosa da águia que também é conhecida como os “pilares da criação”. Essas colunas de gás e poeira são os famosos berçários estelares.

FIGURA 08: Nuvem interestelar

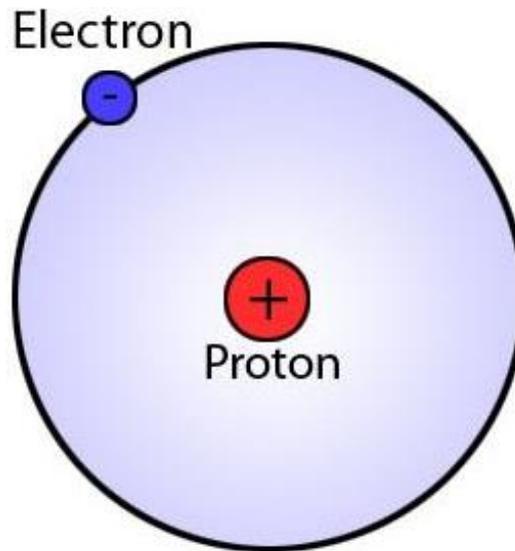


Fonte: Nasa⁵

O hidrogênio é o elemento mais abundante e leve no universo, ainda, é o principal componente das nuvens de poeira e gás que constituem as nuvens interestelares. O átomo de hidrogênio é o mais simples que existe, pois possui constituição de apenas um próton e um elétron.

⁵ <https://www.nasa.gov/content/goddard/hubble-goes-high-definition-to-revisit-iconic-pillars-of-creation>

FIGURA 09: Átomo de hidrogênio



Fonte: Pinterest⁶

Prótons e elétrons são partículas que possuem cargas elétricas positivas e negativas respectivamente. A carga elétrica é uma propriedade intrínseca da matéria, ou seja, o quanto um corpo está eletrizado. A interação entre essas partículas eletrizadas gera um **campo elétrico** e em

Aspectos Físicos.

Campo elétrico:

Campo elétrico pode ser definido como, uma propriedade da Física estabelecida nos pontos do espaço que estão sujeitos a influência de uma carga elétrica. De forma geral:

$$E = \frac{F_e}{Q}$$

E = Campo elétrico;
 F_e = Força eletrostática;
 Q = Carga elétrica.

seguida uma **força elétrica**,

essa força elétrica depende de uma constante K , que por sua vez depende da

permissividade elétrica. No vácuo esse valor é de $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$, A unidade de medida da força elétrica é o Coulomb (C), já a unidade de medida mais usada no campo elétrico é o Newton por Coulomb (N/C), corpos que possuem cargas de

Aspectos Físicos.

Lei de Coulomb:

A intensidade da força eletrostática entre duas partículas carregadas é diretamente proporcional ao produto dos módulos das cargas das partículas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. De forma geral:

$$F_e = \frac{K \cdot |Q_1| \cdot |Q_2|}{d^2}$$

F_e = Força eletrostática;
 K = Constante eletrostática;
 Q_1 e Q_2 = As cargas das partículas;
 d = Distância entre elas.

⁶ <https://br.pinterest.com/pin/144678206755850918/>

mesmo sinal se repelem enquanto corpos que possuem sinais diferentes se atraem. Ou seja, nesse caso, no átomo de hidrogênio existe uma força elétrica de atração devido às cargas das partículas que o constituem.

A formação estelar propriamente dita ocorre devido à fragmentação e

Aspectos Físicos.
Densidade:
 Densidade pode ser definida como, a quantidade de massa em um determinado volume. De forma geral:

$$d = \frac{m}{v}$$

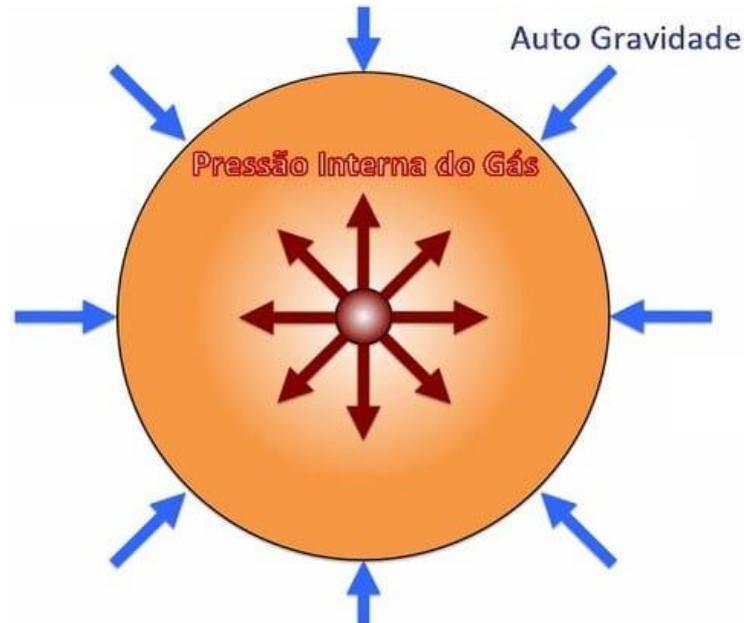
d = Densidade;
 m = Massa;
 v = Volume.

contração de uma dessas nuvens interestelares ou nuvens de gás densa e fria. Essa nuvem começa a colapsar de forma gravitacional, a **densidade** da nuvem é tão grande que a pressão interna do gás impede a junção gravitacional, ou seja, não existe acúmulos de partículas que atraem outras partículas para gerar uma aglomeração. Isso se dá justamente pela grande densidade, deixando assim as partículas dispersas nesse espaço. Porém estão sujeitas a perturbações no meio interestelar que podem ser ocasionadas pela passagem de uma onda de choque causada pela explosão de uma

supernova e colisões entre nuvens.

O equilíbrio hidrostático é fundamental para que essa nuvem colapse gravitacionalmente.

FIGURA 10: Nuvem de gás.



Fonte: WIKIWAND.⁷

Na figura acima no ponto de vista físico, temos um gás, ou seja, um fluido com

Aspectos Físicos.

Energia cinética:

Energia cinética pode ser definida como, uma forma de energia associada ao movimento dos corpos, quanto maior for a velocidade do corpo, maior será sua energia cinética. De forma geral:

$$E_c = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

E_c = Energia cinética;
 m = Massa;
 v = Velocidade.

partículas a uma determinada temperatura que, por sua vez, está diretamente relacionada ao movimento dessas partículas, quanto maior for a temperatura, maior será a movimentação dessas partículas devido ao aumento de **energia cinética**, e conseqüentemente há um aumento na variação da energia interna. A uma determinada temperatura esse gás exerce uma pressão.

Entre as moléculas, já no seu estado gasoso, o fluido não possui forma e nem volume definidos, com um espaçamento muito maior entre as moléculas.

Além disso, devido ao aumento da energia cinética há conseqüentemente uma variação na temperatura, causando uma variação da energia interna.

⁷ https://www.wikiwand.com/pt/Equil%C3%ADbrio_hidrost%C3%A1tico

A variação da temperatura é de extrema importância nessa etapa da evolução estelar, pois só ocorre **variação da energia interna**

Aspectos Físicos.

Variação da energia interna:

Energia interna pode ser definida como, a soma de todos os tipos de energias presentes em um determinado sistema. De forma geral:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot \Delta T$$

ΔU = Variação da energia interna;

n = Número de mols;

R = Constante dos gases, $\approx 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$;

ΔT = Variação da temperatura.

se ocorrer variação de temperatura. Se a temperatura aumenta a energia interna também aumenta.

No momento em que a força gravitacional se iguala com a pressão exercida pelo gás, essa nuvem encontra-se em equilíbrio.

Se houver qualquer perturbação como, por exemplo, colisões de outras nuvens interestelares que modifiquem esse equilíbrio isso acarretará o início do colapso. O processo de fragmentação da nuvem interestelar pode formar centenas de

milhares de fragmentos, cada um pode colapsar para formar uma estrela.

Depois da fragmentação de uma nuvem gigante, teremos uma nuvem menor que vai colapsar, ou seja, um fragmento destinado a formar uma estrela, por exemplo, como o sol.

À medida que o fragmento da nuvem vai colapsando, há um aumento na velocidade de rotação, conservando assim o momento angular.

Em seguida ocorre o aquecimento, em um determinado momento o núcleo desse fragmento que estava colapsando atinge uma determinada temperatura, o fragmento que agora é uma nuvem sofre um novo colapso e mais uma vez ocorre a **conservação do momento angular**. Em seguida forma-se uma protoestrela, que é quase uma estrela.

Aspectos Físicos.

Conservação do momento angular:

Momento angular pode ser definido como, uma grandeza Física, responsável por medir a quantidade de movimento de um determinado corpo em rotação. De forma geral:

$$L = r \cdot m \cdot v$$

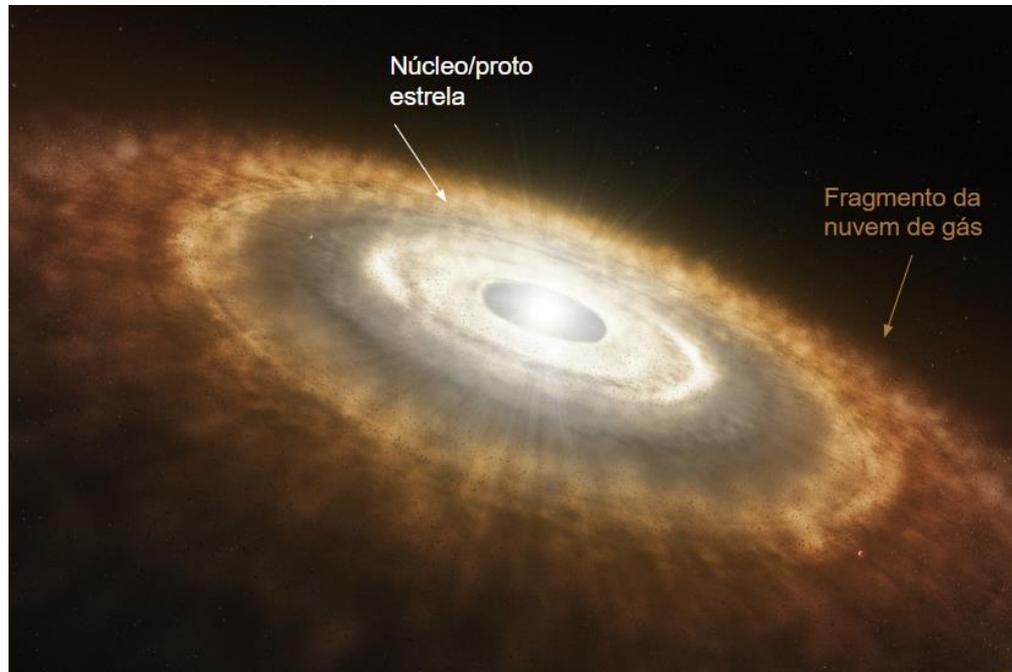
L = Momento angular;

r = Raio entre o objeto e o eixo de rotação;

m = Massa do objeto;

v = Velocidade linear do objeto.

Figura 11: Protoestrela



Fonte: The life cycle of stars.⁸

No decorrer deste processo, em que agora temos uma protoestrela, há uma

Aspectos Físicos.

Temperatura e calor:

Temperatura pode ser definida como, a medida da intensidade da agitação térmica das partículas que constituem um determinado corpo.

Calor pode ser definido como a transferência de energia térmica entre corpos que possuem temperaturas distintas.

constante transformação de energia potencial gravitacional armazenada na nuvem molecular em energia cinética que é dissipada devido ao **calor**, ou seja, processo de transferência de energia devido à diferença de **temperatura**.

⁸ <https://lifecycleofstarsscience.weebly.com/protostar.html>

Esse processo causa um aumento na temperatura da protoestrela, gerando uma **variação na energia interna**.

A energia interna é a soma das energias de todas as partículas do sistema, o trabalho é a capacidade da energia de gerar movimento, nesse caso da protoestrela, serão expansões e contrações. Durante esse processo o sistema está sujeito à perda ou ganho de calor (Q) e a realizar trabalho (W). Ao realizar trabalho temos ($-W$) e ao receber trabalho de um agente externo temos (W).

Ainda, considerando a protoestrela como uma esfera e o hidrogênio que a

Aspectos Físicos.

Lei dos gases ideais:

É possível definir essa lei como, a pressão exercida por um gás é proporcional a sua densidade e temperatura absoluta. De forma geral:

$$P = \frac{n \cdot R \cdot T}{v}$$

P = Pressão exercida pelo gás;

n = Número de mols;

R = Constante universal dos gases ideais, cujo valor é $\approx 8,31 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$;

T = Temperatura absoluta;

v = Volume ocupado pelo gás.

Aspectos Físicos.

1ª lei da termodinâmica:

1ª lei da termodinâmica pode ser definida como, a variação da energia interna de um sistema termodinâmico é igual a diferença entre a quantidade de calor absorvido pelo sistema e o trabalho por ele realizado. De forma geral:

$$\Delta U = Q - W$$

ΔU = Variação da energia interna do sistema;

Q = Calor trocado pelo sistema;

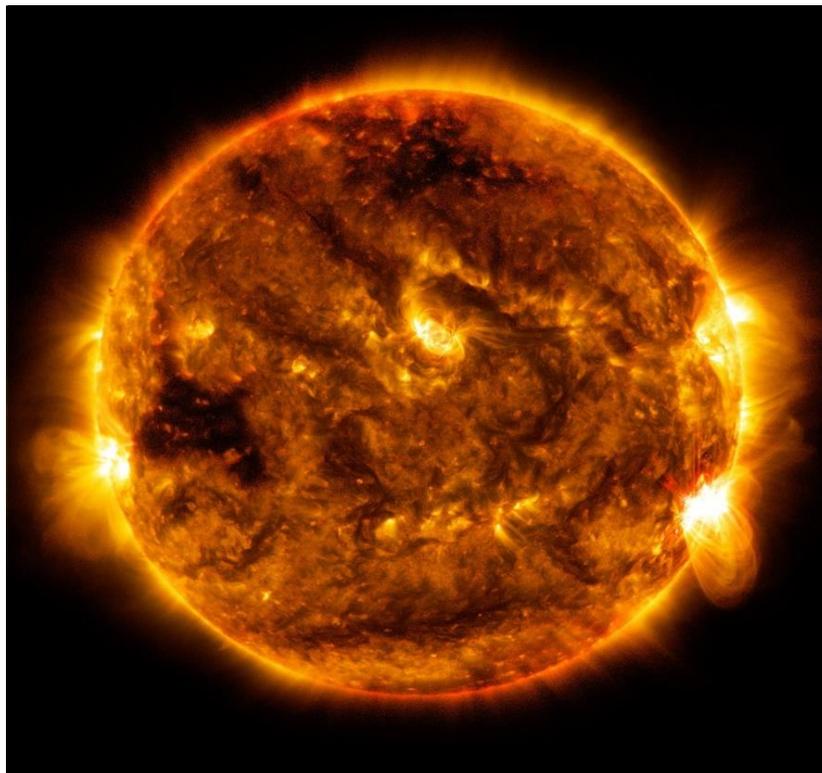
W = Trabalho realizado pelo sistema.

compõe como um gás ideal, dessa forma, temos um sistema físico ou uma esfera de **gás ideal**. Assim, existe uma pressão térmica gerada pelo gás nas paredes do recipiente, nesse caso na esfera.

3. NASCIMENTO E VIDA DAS ESTRELAS

Durante esse processo a temperatura da protoestrela vai diminuindo, devido à irradiação de energia térmica, ou seja, processo esse de transferência de calor que ocorre por meio de emissão de ondas eletromagnéticas. Isso causa uma redução na pressão interna e colabora para que ocorra uma nova contração gravitacional, dando origem a uma estrela propriamente dita, uma estrela recém-nascida.

FIGURA 12: Sol



Fonte: Nasa⁹

⁹ <https://www.nasa.gov/feature/goddard/nasas-sdo-sees-sun-emit-mid-level-flare-oct-1>

Agora, temos de fato uma estrela, nessa fase da evolução estelar existe um

Aspectos Físicos.

1ª lei de Newton:

É possível definir essa lei como, se a força resultante que atua em um corpo é nula, este corpo permanece em seu estado natural, em repouso ou em movimento retilíneo uniforme. De forma geral:

$$F_r = 0$$

F_r = Força resultante.

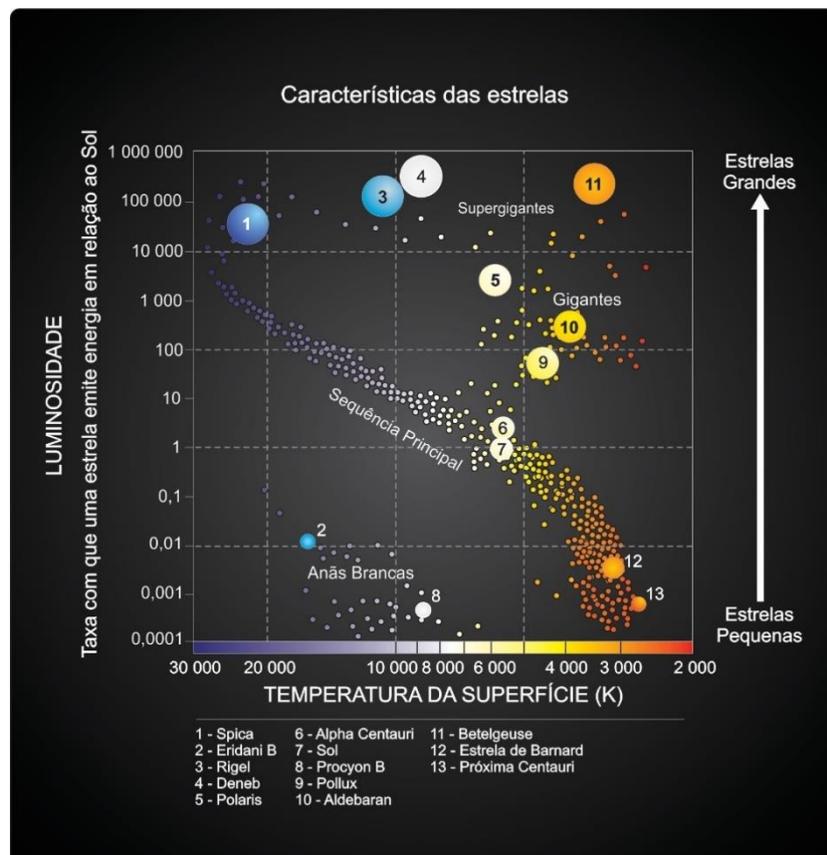
Quando a força resultante que atua em um corpo é nula, o corpo está em equilíbrio mecânico.

equilíbrio mecânico,

ou seja, a somatória das forças aplicadas no sistema é igual a zero, nessa parte praticamente não existe mais trabalho do meio externo comprimindo o gás. Agora, a estrela usa a sua energia para manter a temperatura interna e pressão adequadas, permanecendo em equilíbrio por bilhões de anos.

Agora com a estrela já formada, ela entra na sequência principal do diagrama HR, onde começa de fato sua vida, um exemplo, é o sol que atualmente se encontra na sequência principal.

FIGURA 13: Diagrama HR



Fonte: Astro

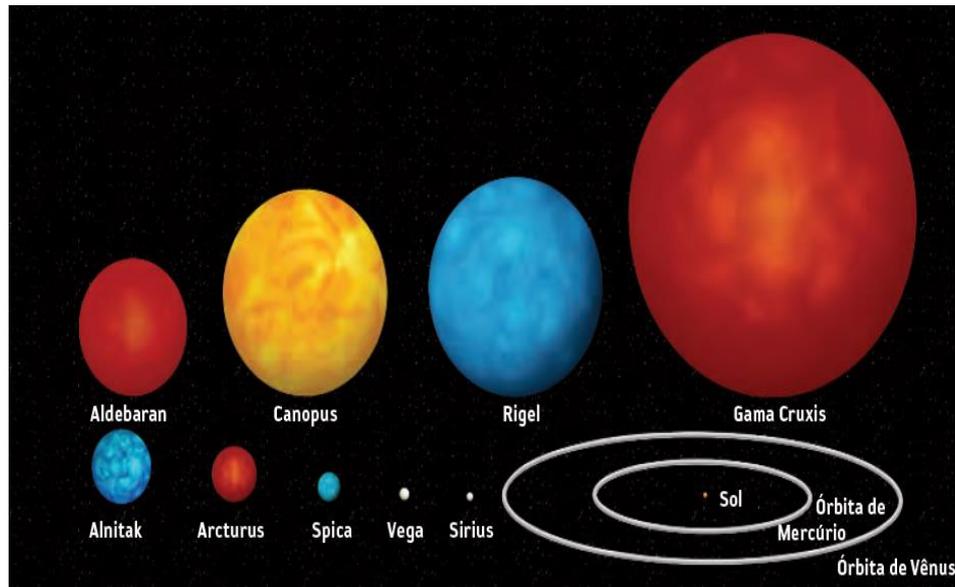
O diagrama de Hertzsprung-Russell, conhecido como diagrama HR. Estabelece uma relação entre a luminosidade e a temperatura superficial das estrelas, de forma básica, a quantidade de pontos, nos locais do diagrama HR, permite uma classificação estelar, ou seja, uma classificação das estrelas em grupos distintos. Esses diferentes grupos representam estágios da evolução das estrelas, usando o sol como exemplo, é possível notar que ele possui o número 7 no diagrama HR. É possível notar através dos pontos que identificam a temperatura e luminosidade que a posição do sol está localizada numa região chamada de sequência principal, nessa fase evolutiva das estrelas ocorre a fusão nuclear.

Na fusão nuclear, os átomos são acelerados por um aumento de temperatura, ganhando assim uma energia cinética muito grande, logo, eles se chocam ou entram em colisão e produzem um átomo maior, nesse caso o hélio liberando energia e nêutrons.

3.1 Sequência principal

A sequência principal é o estágio inicial de uma estrela recém-nascida, olhando para a imagem a sequência principal está localizada onde existe uma grande aglomeração de pontos, ainda, existem mais concentrações de pontos que representam outros estágios da evolução das estrelas. Em uma determinada faixa temos estrelas bastante luminosas com temperaturas variáveis, que são as estrelas gigantes, sendo que as mais frias são vermelhas e as mais quentes são amarelas. Um exemplo de gigante é a estrela aldebaran a qual possui o número 10 no diagrama HR. Para fins de comparação dos tamanhos das estrelas veja a imagem abaixo.

FIGURA 14: Representação esquemática de estrelas.



Fonte: Livro classificação estelar: as estrelas não são iguais. ¹⁰

Ainda, temos o estágio das supergigantes que na sua maioria são estrelas azuis com alta temperatura. Um exemplo de uma supergigante é Rigel que possui número 3 no diagrama HR. Nesse estágio da evolução estelar, as estrelas realizam fusão nuclear com elementos mais pesados do que o hidrogênio. Ainda é possível notar no diagrama HR, na parte inferior outro estágio da evolução estelar, as chamadas anãs brancas, nessa fase ou estágio as estrelas não realizam mais fusão nuclear, uma vez que já estão no fim da vida.

¹⁰ https://midia.atp.usp.br/impressos/lic/modulo01/estrelas_PLC0006/Estrelas_top02.pdf

As estrelas passam a maioria da sua vida na sequência principal. Estima-se

Aspectos Físicos.

Conceito físico de massa:

É possível definir massa como, uma grandeza Física que mede a inércia de um corpo, a quantidade de matéria e a influência gravitacional.

que 90% do tempo da vida de uma estrela é na sequência principal. Do ponto de vista físico, a **massa** é uma grandeza extremamente importante nas estrelas da sequência principal, pois ela é responsável por determinar algumas de suas características, como a luminosidade, o raio e a temperatura superficial. Consequentemente esses detalhes são responsáveis pela posição na estrela na sequência principal.

Existem estrelas que orbitam entre si, formando um sistema que

recebe o nome de binário, basicamente um sistema binário consiste em duas estrelas, uma orbitando a outra. As massas dessas estrelas crescem no mesmo sentido da luminosidade, além disso, um sistema de estrelas binárias obedecem às leis do movimento planetário de Kepler. A primeira lei, a **lei**

Aspectos Físicos.

1ª lei de Kepler:

É possível definir essa lei como, cada estrela se movimenta ao longo de uma órbita elíptica, com o centro de massa do sistema em um dos focos dessa elipse. Centro de massa é um ponto hipotético, onde toda a massa do sistema está concentrada.

Aspectos Físicos.

2ª lei de Kepler:

É possível definir essa lei como, uma linha imaginária que liga uma estrela a outra percorre áreas iguais em intervalos de tempos iguais. Essa lei expressa que os astros se movimentam mais rápidos quando estão mais próximos do centro de massa e mais devagar quando estão mais afastados. De forma geral:

$$\frac{A_1}{\Delta t} = \frac{A_2}{\Delta t}$$

A = Área;

Δt = Intervalo de tempo.

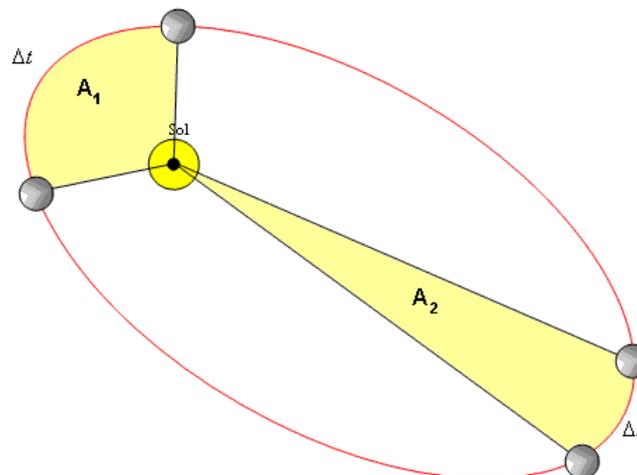
das órbitas, a segunda lei, a **lei das áreas** e a terceira lei, a lei dos períodos.

FIGURA 15: Sistema binário



Fonte: Estrelas Binárias¹¹

FIGURA 16: Lei das áreas



Fonte: Só Física¹²

¹¹ http://www.if.ufrgs.br/oei/stars/binary_st/binaries.htm

¹² <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Mecanica/GravitacaoUniversal/lk.php>.

Aspectos Físicos.

3ª lei de Kepler:

É possível definir essa lei como, o quadrado do período orbital das estrelas é proporcional ao cubo de sua distância média uma da outra. De forma geral:

$$\frac{T^2}{R^3} = \text{constante}$$

T = Período de translação;

R = Raio médio da órbita.

Com a 3ª lei de Kepler, a **lei dos períodos**, é possível descobrir a massa de um sistema binário. Newton verificou que a terceira lei de Kepler podia ser modificada, de forma que é possível aplicar para dois corpos que estão em órbita um em relação ao outro, por exemplo, um sistema estelar binário. Segundo Newton, quando um corpo de massa m gira em torno de um outro corpo de massa M , e ambos seguem uma trajetória elíptica é possível expressar a terceira lei de Kepler da seguinte forma:

$$m + M = \frac{a^3}{p^2}$$

Onde, m e M são as massas das estrelas;

a é o semi-eixo maior da órbita das estrelas e

p é o período orbital (anos terrestres).

Toda estrela possui uma fonte de energia, que a consomem até o fim de suas vidas, usando o sol como exemplo. Devido à grande massa que uma estrela possui, suas temperaturas são bastante elevadas. Essa massa faz uma pressão devido à força gravitacional para dentro das camadas estelares, essas camadas vão ficando cada vez mais quentes. A temperatura no núcleo solar é da ordem de 15 milhões de kelvin. Essa temperatura é suficiente para produzir reações nucleares, nesse caso a fusão nuclear e conseqüentemente, usando o mecanismo de conversão da **equivalência massa-energia**, é possível gerar energia utilizando a massa como uma espécie de combustível.

Aspectos Físicos.

Equivalência massa-energia:

É possível definir esse conceito como, qualquer massa possui uma energia associada e vice-versa. De forma geral:

$$E = m \cdot c^2$$

E = Energia;

m = Massa convertida;

c = Velocidade da luz no vácuo, cujo valor é $\approx 3 \cdot 10^8$ m/s.

As estrelas precisam liberar energia para o universo. Os três mecanismos ou

Aspectos Físicos.

Formas de propagação de energia:

Radiação: É a forma de propagação que não precisa de um meio material para acontecer;

Convecção: É a forma de propagação que ocorre por deslocamento de meio líquido ou gasoso;

Condução: É a forma de propagação que ocorre entre partículas próximas que apresentam diferença de temperatura, meio sólido.

formas de transmissão de energia, utilizados por elas são: **radiação, convecção e condução.**

As estrelas possuem uma grande quantidade de matéria que conseqüentemente, pela equivalência massa-energia produz muita energia em seu núcleo. Elas liberam essa energia através dos processos de transmissão.

Por radiação: quando a temperatura é muito alta, todo o material contido nessa estrela se encontra ionizado (partículas eletricamente carregadas), logo, não há absorção e nem emissão de energia, mas existe espalhamento de fótons

(radiação eletromagnética). Por convecção: quando o material mais frio se sustenta sobre o material mais quente, o material mais quente que, nesse caso, está no núcleo estelar se desloca para cima e o mais frio para baixo. Esse é o mesmo fenômeno que se observa ao ferver água, a parte mais baixa está recebendo uma grande quantidade de energia, as partículas de baixo estão aquecendo e conseqüentemente movem-se para a parte de cima do recipiente. Esse é o processo mais eficiente de se transportar energia, já que leva uma grande quantidade de material.

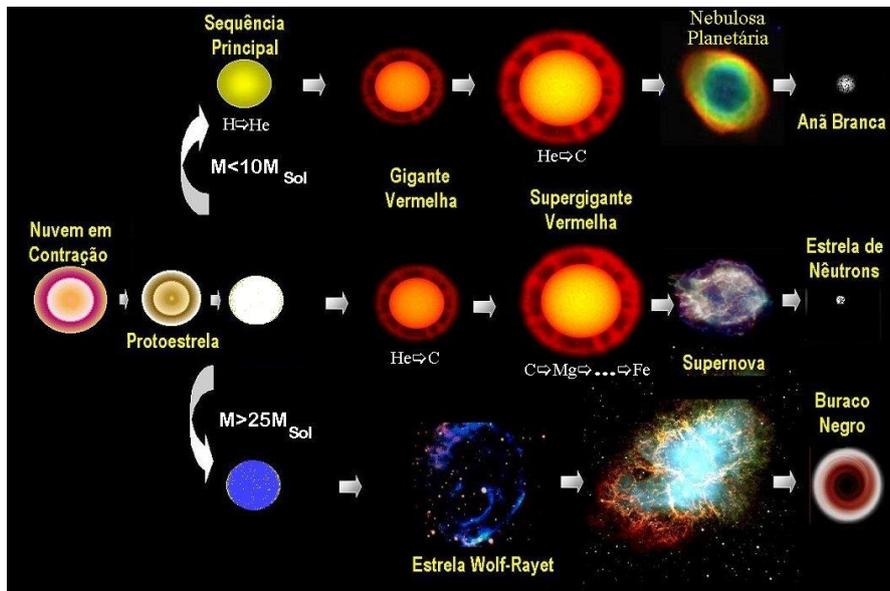
Por condução: transporte de energia através de colisões de partículas. De forma geral, esse processo não é tão eficiente nas estrelas, mas existe, da forma que as partículas no núcleo colidem umas com as outras e carregam essa energia até a superfície. A massa de uma estrela é o principal parâmetro para definir sua evolução e sua morte, ou seja, seu tempo na sequência principal, basicamente quanto maior a massa da estrela menor será seu tempo de vida na sequência principal.

4. ESTÁGIOS FINAIS DA EVOLUÇÃO ESTRELAS

Quando uma estrela cessa ou acaba sua produção de energia, ela sai da sequência principal e seus possíveis estágios finais são, uma anã branca, uma estrela de nêutrons ou um buraco negro. Para estrelas com massas finais menores do que $1,4 M_{\odot}$ (massas solares), essas massas não correspondem às massas das estrelas na sequência principal, e sim as massas remanescentes, ou seja, o que sobrou após saírem da sequência principal. A estrela se transforma em uma estrela de tipo anã, mais conhecida como anã branca. Para estrelas que apresentem massas finais acima de $1,4 M_{\odot}$ até $3 M_{\odot}$ massas solares, apresentam seu estágio final como uma estrela de nêutrons. E por fim, estrelas que terminam ou encerram sua produção de energia com massas acima de $3 M_{\odot}$ se tornam buracos negros.

As massas iniciais das estrelas também influenciam na sua evolução. Estrelas com massas iniciais menores que $10 M_{\odot}$ se tornam anãs brancas; estrelas com massas iniciais iguais a $10 M_{\odot}$ até $25 M_{\odot}$ se tornam estrelas de nêutrons e estrelas com massas maiores que $25 M_{\odot}$ se tornam buracos negros. A imagem a seguir mostra um panorama sobre o processo de evolução estelar.

FIGURA 17: Evolução estelar, esquema fora de escala



Fonte: Astro.¹³

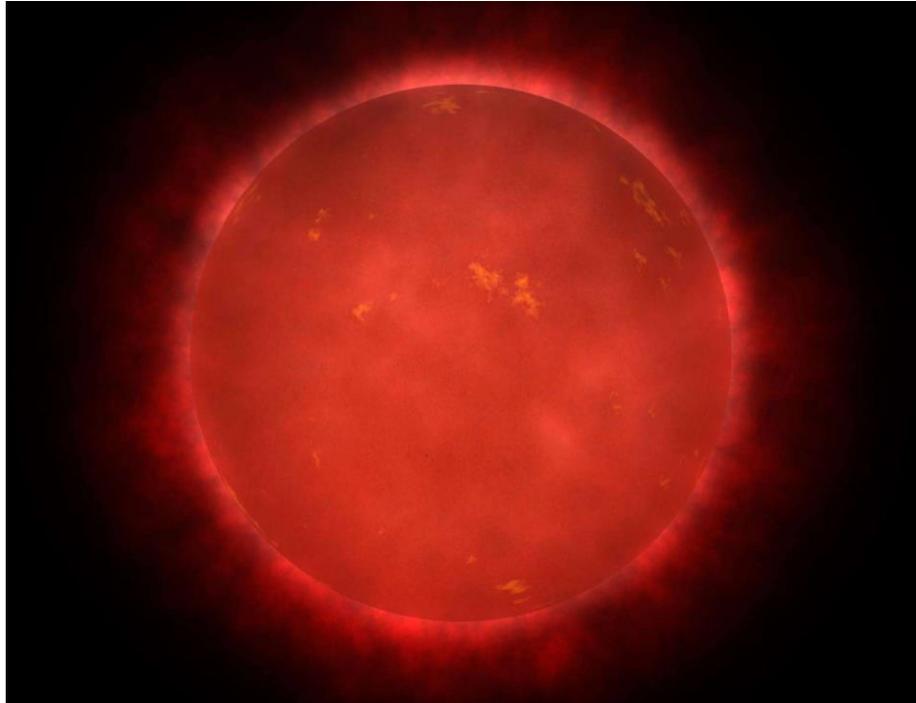
¹³ <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/escola.htm>

Além da massa, a temperatura é outro conceito importante. Quanto maior for a temperatura superficial ou efetiva menor será o tempo de vida dessa estrela na sequência principal. O sol possui temperatura superficial de 5800 Kelvins (K), seu tempo de vida na sequência principal é de aproximadamente $1 \cdot 10^{10}$ anos. Já uma estrela de 3 massas solares, por exemplo, possuirá uma temperatura de 14000 K, logo, seu tempo de vida na sequência principal será de $2 \cdot 10^8$ anos.

Isso relaciona duas grandezas físicas superimportantes, a massa e a temperatura. Em uma estrela quanto maior for a massa, maior será sua temperatura e conseqüentemente com essa temperatura alta, a queima de substâncias químicas será maior, logo o tempo de vida dessa estrela na sequência principal será menor. Isso vale para a temperatura no centro da estrela. Quanto maior a massa maior será a temperatura, ou seja, são grandezas diretamente proporcionais.

No momento em que a estrela sai da sequência principal, se dá início ao seu fim, sua morte ou seu último estágio. Nesse momento não existe mais recursos para a estrela continuar sua produção de energia pela fusão de hidrogênio, com isso, há um aumento de pressão que ocasiona uma expansão das suas camadas externas. Isso causa uma diminuição na temperatura superficial da estrela e assim, ela se torna uma gigante vermelha.

FIGURA 18: Gigante vermelha



Fonte: The nine planets. ¹⁴

4.1 Anãs brancas

Na gigante vermelha temos um núcleo não mais de hidrogênio e sim de hélio, a pressão gerada por esse núcleo não é suficiente para conter a gravidade, logo após a energia proveniente da contração ocorre um aumento na temperatura e agora é possível iniciar um novo processo de fusão, hélio em carbono. Com o núcleo agora de carbono, acontece uma compressão do núcleo por parte das camadas externas até que os elétrons fiquem próximos o bastante para surgir uma força eletromagnética de repulsão entre eles.

Com a contração da estrela, a temperatura tende a aumentar, pois a pressão, isto é, a medida da força com que as partículas se chocam no recipiente, nesse caso supondo a estrela como uma esfera também aumenta, tendo em vista que o volume da estrela diminui.

¹⁴ <https://nineplanets.org/red-giant-star/>

Ainda, considerando o núcleo da gigante vermelha como uma esfera de um determinado gás, as partículas constituintes desse gás não conseguem exercer pressão suficiente para conter a gravidade, ou seja, para manter o equilíbrio mecânico. A gravidade então exerce pressão de forma a comprimir as partículas que constituem o núcleo da gigante vermelha, conseqüentemente, gera uma contração no núcleo levando ao aumento de temperatura que por sua vez leva a um aumento de colisão das partículas gerando energia cinética.

Aspectos Físicos.

Carga elétrica:

É possível definir esse conceito como, propriedade das partículas fundamentais que compõem o átomo. De forma geral:

$$Q = n \cdot e$$

Q = Quantidade de carga elétrica presente em um determinado corpo;

n = Número de elétrons presente em um determinado corpo;

e = Carga elétrica elementar, cujo valor é $\approx 1,6 \cdot 10^{-19} C$.

Essa forte repulsão dos elétrons causada por **cargas elétricas** opostas gera uma nova pressão desta vez capaz de conter a gravidade e reestabelecer o equilíbrio mecânico. Assim, ocorre uma explosão liberando energia para expulsar as camadas mais externas da estrela, à medida com que o raio da estrela como um todo vai aumentando, a gravidade vai diminuindo. Com isso, nessa parte temos uma espécie de divisão da estrela, onde sobra uma espécie de caroço central superaquecido praticamente constituído de carbono e uma região de gás fria.

Esse gás será ionizado pela radiação vindo a emitir luz, com essas características recebe o nome de nebulosa planetária. O caroço de carbono no centro da nebulosa possui uma temperatura muito alta, porém é pouco luminoso e relativamente pequeno, é ele que chamamos de anã branca. Estima-se que mais de 90% das estrelas que saem da sequência principal tornam-se anãs brancas. A temperatura de uma anã branca pode variar de 3700 K até 150000 K.

FIGURA 19: Nebulosa Olho de Gato (NGC 6543)



Fonte: Nasa¹⁵

4.2 Estrelas de nêutrons

Para estrelas com massas finais maiores que $1,4 M_{\odot}$ até $3 M_{\odot}$, ou seja, massas após a saída da sequência principal, essas se tornam supergigantes vermelhas. Nessa fase ou etapa, essas estrelas atingem uma determinada temperatura superficial que torna possível além da realização de fusão de hélio em carbono é possível também realizar a fusão de carbono em oxigênio. Esse processo de fusão segue até a estrela produzir ferro em seu núcleo. Esses processos de fusão queimando os elementos químicos tem como propósito principal conter a pressão gravitacional que contrai a estrela.

Porém, a fusão do ferro não é boa o bastante e não produz a energia suficiente para conter a enorme pressão gravitacional provocada pelo desequilíbrio mecânico, com isso, não é possível barrar a gravidade e o núcleo que agora é de ferro. Fica cada vez mais exposto a pressão gravitacional, até que a gravidade o esmaga, nesse processo as camadas da estrela caem sobre o núcleo, a contração gravitacional é tão forte que os elétrons e os prótons do núcleo se unem formando nêutrons que vem a dispersar neutrinos.

¹⁵ https://www.nasa.gov/multimedia/imagegallery/image_feature_211.html.

Adiante, ocorre uma explosão extremamente violenta do ponto de vista cósmico, essa explosão libera uma grande quantidade de energia no cosmos, esse evento é popularmente chamado ou conhecido de supernova. Na explosão de uma supernova, a maior parte da estrela ou do material da estrela é jogado para o cosmo, para o meio interestelar. Esse material é rico em elementos químicos que são os formadores das estrelas, logo, servirá para formar outras estrelas no futuro.

Uma pequena parte do que restou da estrela se torna uma espécie de caroço central maciço, semelhante ao processo que dá origem a uma anã branca, mas nesse caso o caroço é composto de nêutrons, também conhecida como pulsar. As temperaturas das estrelas de nêutrons giram em torno de 600000 K.

FIGURA 20: Estrela de nêutrons



Fonte: CNET¹⁶

¹⁶ <https://www.cnet.com/science/astronomers-watched-a-neutron-star-glitch-and-cant-yet-explain-it/>.

Considerando a estrela como um gás, à medida que a gravidade comprime a

Aspectos Físicos.

Princípio de Stevi:

É possível definir esse conceito como, a variação de pressão entre dois pontos de um fluido é determinada pelo produto entre a densidade do fluido a aceleração da gravidade e a variação do volume, no caso de uma estrela, o volume de uma esfera. De forma geral:

$$\Delta P = d \cdot g \cdot h$$

ΔP = Variação de pressão;

d = Densidade do objeto;

g = gravidade;

h = Volume da esfera.

estrela ou o resto da estrela há uma elevação na sua energia cinética devido ao aumento de colisão das partículas que a constituem. Essa elevação de energia da estrela gera uma pressão que pode ser calculada pelo **princípio de Stevi**, pressão térmica devido também ao aumento da temperatura e das reações de fusão que ocorrem em seu núcleo.

Quando não há mais elementos satisfatórios para realizar a fusão e a pressão gravitacional supera a pressão térmica, há uma variação de pressão, tornando o que restou da estrela, no caso o núcleo mais denso.

4.3 Buracos negros

Estrelas com massas finais maiores do que $3 M_{\odot}$ passam por uma fase chamada de Wolf-Rayet, tornando-se uma estrela extremamente massiva ou supermassiva. Seguindo o mesmo processo de fusão nuclear, onde os núcleos dos elementos químicos mais leves se fundem para formar elementos mais pesados, ao fim desses processos de fusão chegamos em um núcleo de ferro, onde agora não é mais possível conter a gravidade.

Sem a possibilidade de gerar energia para conter o avanço gravitacional, a estrela então tem o seu núcleo colapsado, suas partes externas são ejetadas em uma explosão de supernova. Depois da explosão o que resta é uma espécie de caroço tão massivo que nada consegue conter o seu colapso, uma vez que ele implode formando um corpo tão denso que nem mesmo a aceleração da gravidade local não permite que a luz escape de dentro dele.

A esse estágio final foi dado o nome de buraco negro. Os buracos negros podem ser detectados através de fenômenos que ocorrem em sua vizinhança cósmica. Isso é possível devido à enorme aceleração gravitacional desses objetos. Assim, eles atraem matéria para si. Outra forma de detectar esses objetos é através de estrelas binárias, ou sistema binário. Não existe limite superior e nem inferior para

a massa de um buraco negro, tendo em vista que estes ainda são um mistério para a ciência, em especial para a astrofísica.

Basicamente um buraco negro é uma região no espaço onde o campo gravitacional é tão forte que nem mesmo a luz possui velocidade de escape suficiente para sair do seu **campo gravitacional**.

Aspectos Físicos.

Campo gravitacional:

É possível definir esse conceito como, determinada região na qual um corpo sofre a ação de uma força, devido a presença de outros corpos, nesse caso a região em torno do buraco negro. De forma geral:

$$g = \frac{GM}{r^2}$$

g = Campo gravitacional;
 G = Constante da gravitação universal, cujo valor é $\approx 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$;
 M = Massa do astro;
 r = Raio do astro.

Na superfície da terra a velocidade de escape é de 40.320 km/h, a velocidade da luz no vácuo é de aproximadamente 1.080.000.000 km/h. Um buraco negro produz um campo

Aspectos Físicos.

Velocidade de escape:

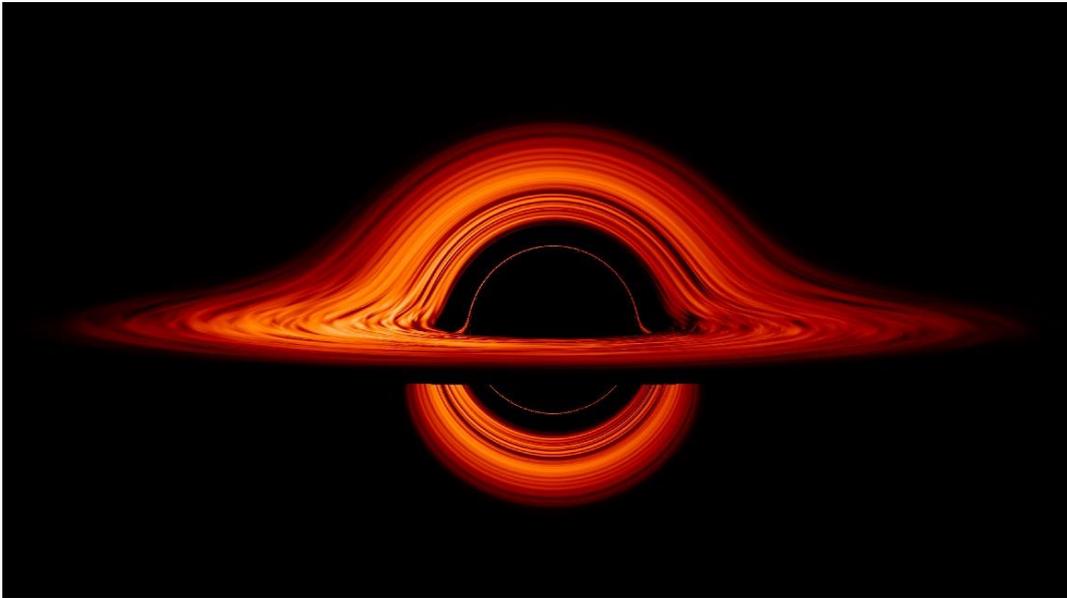
É possível definir esse conceito como, velocidade mínima para que um determinado corpo possa escapar do campo gravitacional de um determinado astro. De forma geral:

$$v_e = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$$

v_e = Velocidade de escape;
 G = Constante da gravitação universal;
 M = Massa do astro;
 R = Raio do astro.

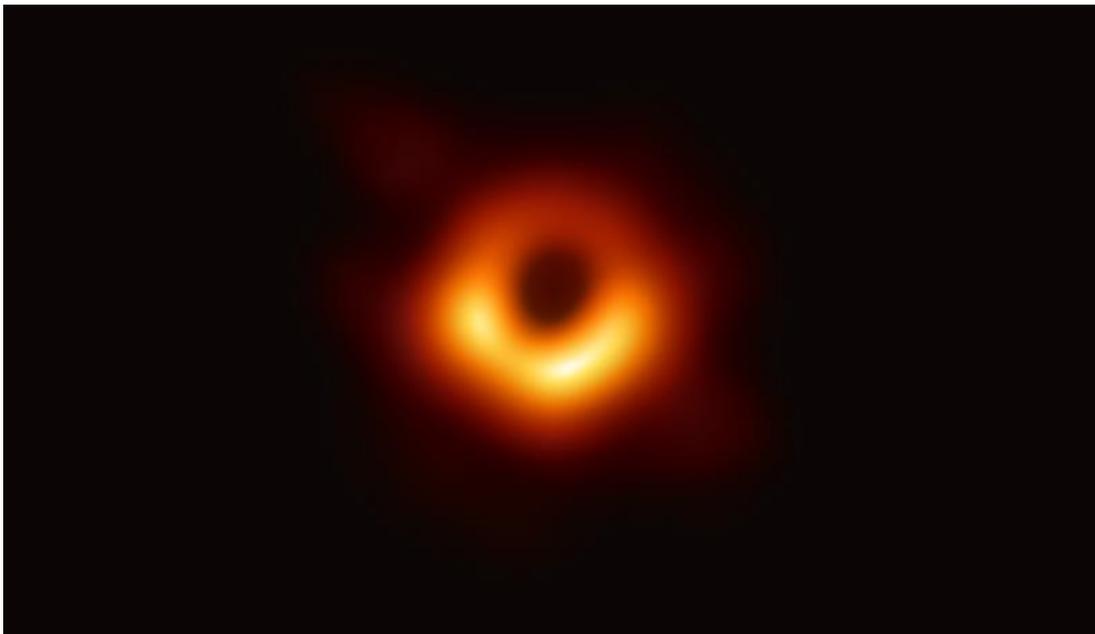
gravitacional tão forte que a **velocidade de escape** necessária para escapar é superior à velocidade da luz. No dia 12 de maio de 2022, a NASA divulgou a primeira imagem real de um buraco negro, o da nossa galáxia- a via láctea.

FIGURA 21: Representação artística de um buraco negro



Fonte: Nasa.¹⁷

FIGURA 22: Imagem real de um buraco negro



Fonte: Nasa.¹⁸

¹⁷ <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2019/nasa-visualization-shows-a-black-hole-s-warped-world>

¹⁸ https://www.nasa.gov/mission_pages/chandra/news/black-hole-image-makes-history

REFERÊNCIAS

- FERRARO, Nicolau Gilberto. **Física**, volume único. Nicolau Gilberto Ferraro, Carlos Magno A. Torres, Paulo César M. Penteado. 1. Ed.- São Paulo: Moderna, 2012. – (Vereda digital)
- HALLIDAY, D. **Fundamentos de Física: Óptica e Física Moderna**. Tradução de Ronaldo Sérgio de Biasi. Rio de Janeiro: LTC, v. 4, 2010.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**, volume 1: mecânica. Tradução Ronaldo Sérgio de Biasi, v. 10, 2008.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de física**, vol. 2: gravitação, ondas e termodinâmica. Tradução: Ronaldo Sérgio de Biasi, v. 10, 2009.
- HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. **Fundamentos de Física: Eletromagnetismo**, vol. 3. Editora: LTC, 2007.
- KEPLER DE SOUZA OLIVEIRA FILHO; DE, M. **Astronomia e astrofísica**. São Paulo: Livraria Da Física, 2014.
- MACIEL, Walter. **Introdução à Estrutura e Evolução Estelar**. ed. São Paulo: USP, 2018. 280 p. v. 1.