



**UMA OFICINA EXPERIMENTAL PARA O APROFUNDAMENTO DOS  
CONCEITOS DE BURACOS NEGROS NA FÍSICA MODERNA:  
ABORDAGENS E PERSPECTIVAS**

José Francisco da Silva Nunes

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação Mestrado Nacional Profissional do Ensino de Física (MNPEF) da Universidade Federal do Acre – polo 59, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Ensino de Física

**Área de atuação: Ensino de física**

**Orientador:**

Prof. Dr. Luis Gustavo de Almeida

Rio Branco - AC  
2023

**UMA OFICINA EXPERIMENTAL PARA O APROFUNDAMENTO DOS  
CONCEITOS DE BURACOS NEGROS NA FÍSICA MODERNA:  
ABORDAGENS E PERSPECTIVAS**

José Francisco da Silva Nunes

Orientador:  
Prof. Dr. Luis Gustavo de Almeida

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Prof. Dr. Luis Gustavo de Almeida (presidente)

Prof. Dr. Tiago de Jesus Santos (membro interno)

Prof. Dr. Sérgio J. B. Duarte (membro externo)

Rio Branco - AC  
Setembro/2023

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da UFAC

---

- N972o Nunes, Jose Francisco da Silva, 1992 -  
Uma oficina experimental para o aprofundamento dos conceitos de buracos negros na Física Moderna: abordagens e expectativas / Jose Francisco da SilvaNunes; orientador: Prof. Dr. Luis Gustavo de Almeida. – 2023.  
157 f.: il.; 30 cm.
- Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Acre, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física (MNPEF), Rio Branco, 2023.  
Inclui referências bibliográficas e apêndice.
1. Ensino de Física. 2. Buracos Negros. 3. Física Moderna. I. Almeida, LuisGustavo de (Orientador). II. Título.

CDD: 530

---

Bibliotecária: Nádia Batista Vieira CRB-11º/882

“Equipado com seus cinco sentidos, o homem explora o universo ao seu redor, e chama a  
aventura de ciência”  
- Edwain P. Hubble, Nature of Science.

“Um universo em expansão não impede que haja um criador, mas impõe limites sobre quando  
esse trabalho pode ter sido executado.”  
– Stephen Hawking, Uma breve história do tempo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que me concedeu o fôlego de vida para esse momento. Em segundo lugar aos meus familiares, que foram força motriz para que eu não desistisse, mesmo quando achei que não conseguiria. Aos meus amigos que foram meu lar, enquanto eu vagava em busca de um sonho, e em especial a minha, irmã, e amiga, que me aguentou por tanto tempo, acreditando em um sonho que ela não tinha a obrigação de acreditar.

Gostaria de agradecer também aos meus amigos Erik e Sabrita que foram essenciais na minha formação acadêmica e na minha saúde emocional, sobreviver a graduação e pós-graduação não são tarefas fáceis, mas se tornam menos difíceis quando se tem alguém com quem dividir o peso da responsabilidade.

Sei que muitas vezes fui falho como aluno, mas também deixo meus mais sinceros agradecimentos e pedidos de desculpas a todos os professores que me motivaram e acreditaram que essa jornada poderia ser completa, se eu assim a quisesse. Em especial, ao meu orientador, Dr. Luis Gustavo de Almeida, que me mostrou o caminho para trilhar, no conhecimento que deveria desenvolver. Não poderia estar mais feliz por essa escolha.

Gostaria de agradecer também a CAPES, que tem ajudado estudantes de todo o Brasil a se desenvolverem como pessoas e profissionais, e que tem sido destaque de sobrevivência e perseverança em um momento muito difícil em que infelizmente a educação não é prioridade.

A todos, o meu mais profundo apreço!

## RESUMO

### UMA OFICINA EXPERIMENTAL PARA O APROFUNDAMENTO DOS CONCEITOS DE BURACOS NEGROS NA FÍSICA MODERNA: ABORDAGENS E PERSPECTIVAS

José Francisco da Silva Nunes  
Orientador: Prof. Dr. Luis Gustavo de Almeida

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Nacional Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Este trabalho objetivou apresentar um conjunto de práticas experimentais como didática de ensino e aprendizagem para disciplina de Física no Ensino Médio. Um modelo experimental foi idealizado como prática de ensino para o estudo de Buracos Negros nos primeiros anos do Ensino Médio de uma escola particular. O projeto usou como metodologia as seguintes etapas didáticas; inicialmente foi aplicado um questionário sobre conceitos básicos de física moderna, relacionando os assuntos de buracos negros e curiosidades sobre o espaço e o tempo. Em seguida, aplicou-se uma sequência didática com a utilização de uma aula experimental em formato de Oficina, simulando-o, através da construção de uma representação do buraco negro usando materiais de baixo custo. A análise dos objetivos que foram alcançados pelos alunos, foi realizada por meio da aplicação do mesmo questionário, após a aplicação da sequência didática e das oficinas previstas, utilizando a atividade experimental. Buscou-se evidenciar a partir dos questionários um resultado positivo em relação ao aprendizado significativo sobre os conteúdos abordados, com base na teoria de aprendizagem de David P. Ausubel. Portanto, a partir deste trabalho poder-se-á recomendar as oficinas previstas na sequência didática, como sendo fundamentais no ensino e aprendizagem dos conceitos da física moderna.

**Palavras-chave:** Ensino de Física, Buracos Negros, Física Moderna, Experimento, Ensino Médio.

Rio Branco - AC

2023

## ABSTRACT

### AN EXPERIMENTAL WORKSHOP FOR DEEPENING THE CONCEPTS OF BLACK HOLES IN MODERN PHYSICS: APPROACHES AND PERSPECTIVES

José Francisco da Silva Nunes  
Orientador: Prof. Dr. Luis Gustavo de Almeida

Abstract of master's thesis submitted to Program of Pós-Graduação em Ensino de Física in Mestrado Profissional de Ensino de Física Course (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Master in Physics Learning.

This study aimed to present a set of experimental practices as a teaching and learning didactic approach for the discipline of Physics in High School. An experimental model was designed as a teaching practice for the study of Black Holes in the early years of High School in a private school. The project used the following didactic steps as its methodology: initially, a questionnaire on basic concepts of modern physics was applied, relating to the subjects of black holes and curiosities about space and time. Then, a didactic sequence was implemented using an experimental class in the form of a Workshop, simulating it through the construction of a representation of the black hole using low-cost materials. The analysis of the objectives achieved by the students was performed by applying the same questionnaire after the implementation of the didactic sequence and the workshops provided, using the experimental activity. The aim was to demonstrate, based on the questionnaires, a positive result in terms of meaningful learning about the addressed content, based on David P. Ausubel's learning theory. Therefore, based on this study, the workshops included in the didactic sequence can be recommended as essential for teaching and learning the concepts of modern physics.

**Keywords:** Teaching Physics, Black Holes, Modern Physics, Experiment, High School.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Um mapa conceitual para a Aprendizagem Significativa de Ausubel.....	9
Figura 2: Ligação entre os conhecimentos prévios, os materias potencialmente significativos e a aprendizagem significativa.....	11
Figura 3: O contínuo da aprendizagem significativa versus aprendizagem mecânica.....	13
Figura 4: Imagem Referente ao desenvolvimento teórico da Evolução das estrelas até se tornarem Buracos negros.....	25
Figura 5: Gráfico da luminosidade das estrelas versus sua temperatura de superfície.....	31
Figura 6: Exemplo de Diagrama HR.....	32
Figura 7: Estrelas na imagem exibem sombras reveladoras indicando discos protoplanetários – potenciais futuros sistemas planetários em formação.....	33
Figura 8: Figura com a evolução das estrelas de acordo com as suas massas iniciais e seus possíveis fins evolutivos.....	34
Figura 9: A equação de Schwarzschild atenta ao olhar esférico junto a sua constante.....	38
Figura 10: População de estudo no momento de enriquecimento dos subsunçores para o discorrer da sequência didática.....	49
Figura 11: Exposição dialogada com uso de apresentação do Power Point para apresentação dos conteúdos.....	51
Figura 12: Explicação dialogada a respeito de como acontece os processos de difusão de uma estrela e quais os seus possíveis fins.....	53
Figura 13: Maquete feita pelos alunos com folhas de isopor e afins para demonstração de um buraco negro tridimensional.....	54
Figura 14: Alunos durante a execução do Mão na massa, construindo uma exemplificação de um buraco negro tridimensional.....	55
Figura 15: Momento da experiência onde os alunos simulam o funcionamento de um vórtice de buraco negro usando materiais de baixo custo.....	56
Figura 16: Momento de tira dúvidas e produção com professor regente da sala, atuante de maneira direta na aplicação do produto.....	56
Figura 17: Análise gráfica da primeira questão, da aplicação do primeiro formulário. Sob a ótica da questão: Em que fase as estrelas passam a maior parte do seu tempo?.....	58
Figura 18: Análise gráfica da primeira questão, da aplicação do segundo formulário. Sob a ótica da questão: Em que fase as estrelas passam a maior parte do seu tempo?.....	59
Figura 19: Questão 2 do formulário inicial aplicado, sob a ótica da pergunta: Quando uma estrela começa a brilhar?.....	60
Figura 20: Respostas tabuladas de alunos referente ao início do brilho nas estrelas, de acordo com a aplicação do segundo questionário.....	61
Figura 21: Análise de verdadeiro e falso, correto ou incorreto sob a perspectiva da afirmação: Uma estrela nasce em uma nuvem gasosa.....	62
Figura 22: Resultado da segunda aplicação concernente ao nascimento das estrelas em meios de nuvens gasosas.....	63
Figura 23: Analise de afirmativa, verdadeiro ou falso, correto ou incorreto para a sentença: Uma estrela emite radiação apenas devido às altas temperaturas em seu interior.....	64
Figura 24: Resultado da segunda aplicação do questionário sob a óptica da sentença exploratória: Uma estrela emite radiação apenas devido às altas temperaturas em seu interior.....	65

Figura 25: Análise gráfica da afirmativa, verdadeiro ou falso, correto ou incorreto sob a óptica da afirmativa: Quando uma estrela evolui para uma gigante vermelha estará a poucos segundos de sua morte. 1ª aplicação. ....	66
Figura 26: Análise gráfica da afirmativa, verdadeiro ou falso, correto ou incorreto sob a óptica da afirmativa: Quando uma estrela evolui para uma gigante vermelha estará a poucos segundos de sua morte. 1ª aplicação. ....	66
Figura 27: Análise de verdadeiro ou falso sob a óptica da afirmação: O sol é considerado como uma Anã Branca. 1ª aplicação do questionário. ....	67
Figura 28: Análise de verdadeiro ou falso sob a óptica da afirmação: O sol é considerado como uma Anã Branca. 2ª aplicação do questionário. ....	68
Figura 29: Questão retirada do formulário para que os alunos expliquem de forma resumida a evolução estelar. 1ª aplicação. ....	68
Figura 30: 1ª aplicação do questionário sobre a formulação do conceito de estrelas de nêutrons. ....	72
Figura 31: 2ª aplicação do questionário sobre a formulação do conceito de estrelas de nêutrons. ....	73
Figura 32: Análise que questão sobre buracos negros, em uma análise sobre a quantidade de dimensões representativas, onde a resposta correta é a opção 1, mostrando a imagem de buracos negros visualizada no filme interestelar. ....	74
Figura 33: Questão sobre a formação inicial das estrelas sob a ótica da pergunta As estrelas formam-se a partir da contração dos gases e poeiras existentes na: (1ª aplicação) .....	75
Figura 34: Questão sobre a formação inicial das estrelas sob a ótica da pergunta: As estrelas formam-se a partir da contração dos gases e poeiras existentes na: (2ª aplicação) .....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Oito aspectos sequenciais para elaboração de uma UEPS e sua relação com o conteúdo proposto. ....	17
Tabela 2: Ilustração da população de estudo por gênero e faixa etária. ....	42
Tabela 3: Tabela de aplicação do produto educacional e formulários.....	44
Tabela 4: Evolução dos conteúdos utilizados na sequência didática de acordo com o tempo proposto. ....	44
Tabela 5: Modelo exemplificativo do plano de aula abordado e utilizado na pesquisa .....	46
Tabela 6: Desenvolvimento e aplicação da primeira sequência didática apresentada.....	48
Tabela 7: 2ª Sequência didática utilizada no segundo encontro juntamente com a população de estudo.....	50
Tabela 8: 3ª Sequência didática utilizada no segundo encontro juntamente com a população de estudo.....	53
Tabela 9: 4ª sequências didáticas utilizada no segundo encontro juntamente com a população de estudo.....	57

## Sumário

<b>1. Introdução .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Referencial teórico .....</b>	<b>6</b>
2.1 A vida de David Paul Ausubel .....	6
2.2 A Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) de David Paul Ausubel .....	8
2.2.1 <i>O papel dos subsunçores na TAS</i> .....	11
2.3 A relação da física de buracos negros com a teoria de Ausubel .....	13
2.4 Esta Obra como uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS).....	15
<b>3. Revisão Bibliográfica.....</b>	<b>19</b>
3.1 Outros trabalhos acadêmicos relevantes usados como base para a escrita do trabalho proposto .....	19
<b>4. Buracos Negros .....</b>	<b>23</b>
4.1 Fundamentação Teórica – Evolução Estelar.....	24
4.1.2 <i>Formação e massa das Estrelas</i> .....	25
4.2 Buracos negros (evolução final) .....	35
<b>5. Procedimentos metodológicos.....</b>	<b>39</b>
5.1 Abordagens e métodos utilizados .....	39
5.2 População de estudo e instituição de intervenção .....	41
5.3 Desenvolvimento do material curricular e das etapas de aplicação. ....	43
5.4 O produto Educacional .....	45
<b>6. Resultados e discussões .....</b>	<b>58</b>
<b>7. Conclusão .....</b>	<b>78</b>

## 1. Introdução

Com a reformulação da Base Nacional Curricular Comum (BNCC), e uma vasta gama de mudanças dos planos de ensino no Brasil, verifica-se uma necessidade de adaptação aos modelos de ensino que versem sobre a dinamicidade da maneira como muitos assuntos de ciências da natureza são abordados em sala de aula. Em especial os referentes à disciplina de física.

Dentro da Perspectiva de Ciências Naturais, visando um olhar mais articulado nos mais variados campos do saber, uma das preocupações com relação a essas novas implantações nas redes de ensino é o acesso à diversidade de conhecimentos científicos que decorrem da história, bem como a aproximação gradativa de processos, práticas e procedimentos da investigação científica.

Além disso, se faz necessário a tomada de metodologias ativas que mudem a dinamicidade da aula e despertem no aluno o interesse pelos temas abordados. De acordo com Pereira e Aguiar (p. 68,69, 2006) o ensino de física no nível médio tem se limitado principalmente a temas da física clássica: mecânica, eletricidade e magnetismo, calor e óptica. Além disso, esse ensino caracteriza-se, na maioria das vezes, por aulas teóricas e descritivas, distantes da realidade dos alunos.

Ao sair do campo da Física Classicista (FC) para a Física Moderna Contemporânea (FMC), é possível que exista certo *déficit*<sup>1</sup> de aprendizagem, uma vez que se torna difícil para o aluno acompanhar a diversidade e crescimento gradativo desse conteúdo que vem sendo descoberto na contemporaneidade, e *a posteriori*, contribuir com o conhecimento científico para o avanço da sociedade, sem um currículo que inclua esses itens.

De acordo com Da Rosa (p. 358, 2016) é uma questão de necessidade que todos os cidadãos tenham acesso a uma educação científica, favorecendo a sua participação na tomada fundamentada de decisões na sociedade; a relação direta entre a educação científica e o ensino de ciências da natureza, evidenciando que essa relação muitas vezes é deturpada no ensino escolarizado e acaba afastando os estudantes das carreiras nas áreas científicas;

---

<sup>1</sup> O que falta para alcançar certo valor ou quantidade

De acordo com as ideias de Oliveira, (p. 448, 2007), existe uma lacuna provocada por um currículo de física desatualizado, que acaba resultando em numa prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do discente. Isso acaba dificultando que ele compreenda qual a necessidade de se estudar essa disciplina que, na maioria dos casos, se resume em aulas baseadas em fórmulas e equações matemáticas, *excluindo* o papel histórico, cultural e social que a física desempenha no mundo em que vive.

Atrelada a visão de Ostermann, (p. 43, 2016), os parâmetros e métricas curriculares nacionais para o ensino médio, recentemente, divulgados pelo Ministério da Educação, também apontam na direção de uma profunda reformulação do currículo de Física na escola média. Dado não só a implantação da nova Base Nacional Curricular Comum, como a modificação do sistema avaliativo para a mudança no modo de Ingresso no Ensino Superior. Da mesma forma, as diretrizes curriculares para os cursos de graduação em Física e para as licenciaturas indicam a urgência das mudanças necessárias no currículo da formação de professores de Física. É, portanto, tempo de mudança. É também, cremos, época de mais pesquisas sobre atualização dos currículos de Física em todos os níveis.

Não bastando as dificuldades metodológicas e curriculares apresentadas, o aluno ainda precisa, de acordo com Pereira e Aguiar (2006), viver com erros do sistema de gestão pública escolar, como: a falta de infraestrutura em muitas escolas para oferecer ambiente adequado às aulas práticas de ciências; a carência de oportunidades para treinamento de professores; a dificuldade ao acesso a novas tecnologias para a educação, que é um reflexo das desigualdades sociais brasileiras; entre outros.

Dessa forma, questiona-se como dirimir tantos empecilhos para que o aluno tenha um processo de ensino-aprendizado eficiente e de qualidade? O trabalho proposto nesta dissertação sugere assim que o uso de oficinas e experimentos, com simulações de Buracos Negros nas aulas, incluso em uma sequência didática, faça que o abstrato se torne palpável nas mãos dos alunos e isso torne o processo de ensino-aprendizo mais completo e a aprendizagem se torne significativa, uma vez que o aluno poderá explorar todos os sentidos para desenvolver sua percepção.

De acordo com os pensamentos de Tyson, (p.15, 2016) Quando pensados como um conjunto de ferramentas experimentais, nossos sentidos desfrutam de uma acuidade e de um

alcance de sensibilidade espantosos. Isto é, os sentidos funcionando entre si trazem experiências muito mais significativas. Nossos ouvidos podem registrar o lançamento estrondoso de mais uma missão espacial, mas conseguem também escutar um mosquito zumbindo a uns 30 centímetros de nossa cabeça. O nosso tato nos permite sentir a magnitude de uma bola de boliche que caiu sobre o dedão do pé, assim como sabemos quando um inseto de 1 miligrama rasteja ao longo de nosso braço.

Portanto, atrelado ao pensamento de João, (p. 56, 2016) Percebe-se que as simulações e experimentos virtuais levam o aluno a uma melhor compreensão dos problemas físicos, permitindo o controle de variáveis e estabelecendo as relações entre essas com o conteúdo trabalhado pelo professor em sala de aula, auxiliando na absorção dos conceitos físicos e sua aplicabilidade para a vida.

O uso de oficinas, no campo da física, coloca nos alunos a perspectiva de algo novo e diferente do que é apresentado na sala de aula comum. Ter atenção do aluno nos momentos iniciais da aula, acaba se tornando um ponto positivo para o desenvolvimento de atenção redobrada em cada parte da aula. Obviamente, é um axioma inferir que se o aluno está totalmente concentrado e com interesse em aprender, as chances para que isso ocorra se intensificam. O que nos faz lembrar da frase de Edwain P. Hubble, em seu livro de Nature of Science, "Equipado com seus cinco sentidos, o homem explora o universo ao seu redor, e chama a aventura de ciência".

É importante ressaltar que o assunto de buracos negros, dentro da Física Moderna Contemporânea (FMC), não é muito discutido, de um lado por conta da sua ausência no currículo escolar, e por outro dada a sua complexidade e escassez em publicações, sejam elas de periódicos, livros, revistas e/ou resumos expandidos. A maioria do conteúdo que se encontra sobre essa temática é voltada para o ensino superior, uma vez que esse conteúdo foi primeiro exposto de maneira matemática, como expõe Stephen Hawking no seu livro, Uma Breve História do Tempo, e os cálculos apresentados chegam a ser tão complexos que não entram no eixo matemático cobrados em vestibulares pelo país.

Com as rápidas mudanças no campo da educação e o avanço constante da física moderna, é essencial buscar abordagens inovadoras e práticas de ensino que possam engajar e inspirar os

alunos. Nesse contexto, a oficina experimental apresentada neste trabalho se mostra altamente relevante para o ensino atual de física.

Através do uso de uma sequência didática que inclui uma oficina experimental sobre buracos negros, os alunos têm a oportunidade não apenas de aprender os conceitos fundamentais da física moderna, mas também de experimentá-los de forma prática e envolvente. A construção de uma representação de buraco negro usando materiais de baixo custo proporciona aos alunos uma experiência tangível e concreta, permitindo que eles visualizem e explorem as propriedades intrigantes desses fenômenos cósmicos.

Além disso, ao aplicar um questionário antes e depois da sequência didática, é possível avaliar o impacto do trabalho no aprendizado dos alunos. Os resultados mostram que a abordagem da oficina experimental promove um aprendizado significativo e duradouro dos conceitos de buracos negros e física moderna, em consonância com a teoria de aprendizagem de David P. Ausubel.

Diante disso, recomenda-se fortemente a incorporação dessas oficinas na prática pedagógica atual de ensino de física. Elas proporcionam um ambiente estimulante e interativo, no qual os alunos são incentivados a explorar, questionar e construir seu conhecimento de forma ativa. Ao despertar o interesse e a curiosidade dos alunos, essa abordagem contribui para a formação de uma base sólida de compreensão dos conceitos-chave da física moderna, preparando-os para um mundo cada vez mais complexo e cientificamente avançado.

Nesse sentido, um experimento que simula o funcionamento de um buraco negro é uma ferramenta eficaz no ensino de física, onde o aluno poderá visualizar a informação teórica obtida com as ideias relevantes levantadas nessa teoria, tornando-se um método palpável para o entendimento desse fenômeno da natureza. Um dos alicerces desse trabalho, é mostrar a relevância dos experimentos e oficinas didáticas no ensino de física moderna contemporânea, especialmente nos estudos de astronomia dentro do currículo escolar. E depois, aferir se a aprendizagem significativa de fato ocorreu com a turma, através da Teoria de Aprendizagem Significativa de David P. Ausubel.

Adiante veremos então, os objetivos geral e específicos que motivaram a desenvoltura desse trabalho e serão pontos norteadores no que diz respeito a escrita dessa dissertação, bem como a aplicação dos métodos escolhidos.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Objetivo Geral***

Desenvolver uma oficina temática para o ensino médio sobre buracos negros e sua relação com a Física Moderna com o uso de uma simulação experimental, inserido em uma sequência didática, com métodos práticos, numa perspectiva de adaptar a experiência das oficinas ao ensino aprendizagem de maneira significativa.

### ***1.1.2 Objetivos Específicos***

- Visualizar fenômenos físicos do cotidiano que tenham relação com o conteúdo abordado;
- Criar uma sequência didática para explanar o conteúdo e utilizar o experimento;
- Dirimir a defasagem do ensino de física no Ensino Médio, através da aplicação da sequência didática;
- Apresentar aos alunos os conceitos fundamentais dos buracos negros na física moderna.
- Proporcionar aos alunos uma experiência prática e tangível por meio da construção de uma representação de buraco negro utilizando materiais de baixo custo.
- Explorar as propriedades e características dos buracos negros de forma visual e interativa.
- Promover o aprendizado significativo e duradouro dos conceitos de buracos negros e física moderna, utilizando a teoria de aprendizagem de David P. Ausubel como referência.
- Avaliar o impacto da sequência didática e da oficina experimental no aprendizado dos alunos, por meio da aplicação de questionários antes e depois das atividades.
- Estimular o pensamento crítico e a capacidade de investigação científica dos alunos.
- Integrar práticas experimentais como uma abordagem didática eficaz no ensino de física no Ensino Médio.

- Fornecer aos professores e educadores uma proposta prática e inovadora para enriquecer o currículo de física no Ensino Médio.

## **2. Referencial teórico**

Neste capítulo, faremos uma apresentação da vida de David P. Ausubel (SEEL, 2012) e dos principais conceitos subjacentes à Teoria de Aprendizagem Significativa, os quais serão fundamentais neste trabalho. Ausubel postulava que o elemento primordial para a aprendizagem é o conhecimento prévio do aprendiz. Dentro dessa perspectiva teórica, uma ramificação relevante é a aprendizagem verdadeiramente significativa, que será abordada nos subtópicos subsequentes deste capítulo.

### **2.1 A vida de David Paul Ausubel**

David Paul Ausubel (1918-2008) foi um renomado psicólogo e educador norte-americano. Nascido em Nova York dedicou sua carreira ao estudo da aprendizagem e da psicologia educacional. Ausubel fez contribuições significativas para a compreensão do processo de aprendizagem, especialmente por meio de sua teoria da aprendizagem significativa.

Ausubel demonstrava grande entusiasmo pela educação e manifestava um profundo interesse pelo desenvolvimento do cérebro humano, o que o levou a ingressar no curso de medicina na Universidade de Middlesex. Fundada em 1901 por Frederick Winsor, à época a instituição tinha a ambição de se destacar dos internatos convencionais. Desde o seu início, a Middlesex School ocupou uma posição singular no contexto das escolas independentes, tornando-se, de fato, uma escolha significativa para Ausubel. (MIDDLESEX, 2020).

De acordo com (AUSUBEL. p. 1-2, 1963) Ele frequentou a Universidade da Pensilvânia, onde fez o curso pré-médico e se formou em Psicologia. Após se formar na faculdade de medicina da Universidade de Middlesex, ele completou um estágio rotativo no Hospital Gouveneur, localizado na região leste inferior de Manhattan, incluindo a Little Italy e Chinatown de 1944.

Obteve seu doutorado em Desenvolvimento Infantil na Universidade de Columbia em 1943. Ao longo de sua vida profissional, ele trabalhou como professor e pesquisador em diversas instituições, incluindo a Universidade de Illinois e a Universidade de Toronto.

Após uma prolífica carreira dedicada à publicação, com mais de 150 artigos divulgados especificamente nas áreas de psiquiatria e psicologia, o renomado pesquisador recebeu o cobiçado prêmio Thorndike da Associação Americana de Psicologia em reconhecimento às suas "distintas contribuições psicológicas para a educação" (THORNDIKE, 2020).

Segundo a Associação, o prêmio E. L. Thorndike de Realizações Profissionais é considerado um dos mais prestigiosos no campo da psicologia educacional, concedido a indivíduos vivos que alcançaram feitos significativos em suas carreiras. Os laureados são reconhecidos por suas pesquisas, que seguem a tradição da psicologia educacional, caracterizada por trabalhos originais, científicos e empiricamente fundamentados, que contribuem de maneira relevante para o conhecimento, teoria ou prática nessa área do conhecimento.

Sua teoria da aprendizagem significativa destaca a importância do conhecimento prévio do aluno na assimilação de novas informações. Segundo Ausubel, o aprendizado significativo ocorre quando os novos conteúdos são relacionados de forma relevante e substantiva com a estrutura cognitiva já existente do aprendiz, que aqui conheceremos pelo termo técnico “subsunção”. Ele enfatizou que a aprendizagem deve ser organizada e significativa para que seja retida de maneira duradoura.

As ideias de Ausubel influenciaram profundamente a educação e a psicologia educacional, destacando a importância do papel ativo do aluno na construção do conhecimento. Ausubel se aposentou da vida profissional em 1994, aos 75 anos, para se dedicar integralmente à escrita.

Suas contribuições têm sido amplamente aplicadas no desenvolvimento de abordagens instrucionais, materiais educacionais e estratégias de ensino que visam promover a aprendizagem significativa. David P. Ausubel faleceu em 2008, deixando um legado duradouro no campo da educação, com sua teoria da aprendizagem significativa continuando a influenciar práticas educacionais em todo o mundo.

## 2.2 A Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) de David Paul Ausubel

Quando a teoria de Ausubel sobre Aprendizagem Significativa (TAS) foi apresentada, em 1963, as ideias behavioristas ainda eram predominantes, ou seja, o que o aluno sabia não era considerado, ele só aprenderia alguma coisa se fosse ensinado por alguém. Entretanto, para Ausubel, uma aprendizagem realmente significativa implica em ampliar e reconfigurar ideias já existentes na estrutura mental e relacioná-las a novos conteúdos. Em outras palavras, organizar e integrar as informações na estrutura cognitiva do aluno.

Segundo GOMES (p. 18, 2020) ao falarmos de aprendizagem na visão do cognitivismo, está se vendo a aprendizagem como um desenvolvimento de armazenamento de informação, resumo em grupos mais generalizados de conhecimentos, que são anexados a uma parte do cérebro do indivíduo, de modo que possa ser alterada e usada no futuro. É a aptidão das organizações que devem ser construídas.

Aprendizagem significativa segundo Moreira (2010):

É aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-litera, não ao pé-da-letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (MOREIRA 2010, p.2)

Na aprendizagem significativa o aluno tem perspectivas diferentes ao longo do processo de ensino, com isso os docentes precisam entender que haverá mudanças necessárias para a aprendizagem do aluno ao longo do seu desenvolvimento.

Segundo Pelizzari, et.al (2002) são necessárias algumas condições para que ocorra a aprendizagem significativa:

Para que a aprendizagem significativa ocorra é preciso entender um processo de modificação do conhecimento, em vez de comportamento em um sentido externo e observável, e reconhecer a importância que os processos mentais têm nesse desenvolvimento. As ideias de Ausubel também se caracterizam por basearem-se em uma reflexão específica sobre a aprendizagem escolar e o ensino, em vez de tentar somente generalizar e transferir à aprendizagem escolar conceitos ou princípios explicativos extraídos de outras situações ou contextos de aprendizagem. (PELLIZZARI, 2002, p. 38)

De acordo com a visão de Pellizzari (2002) para que haja a aprendizagem significativa se faz necessárias duas condições. A primeira: o discente tem que ter um interesse e disposição para

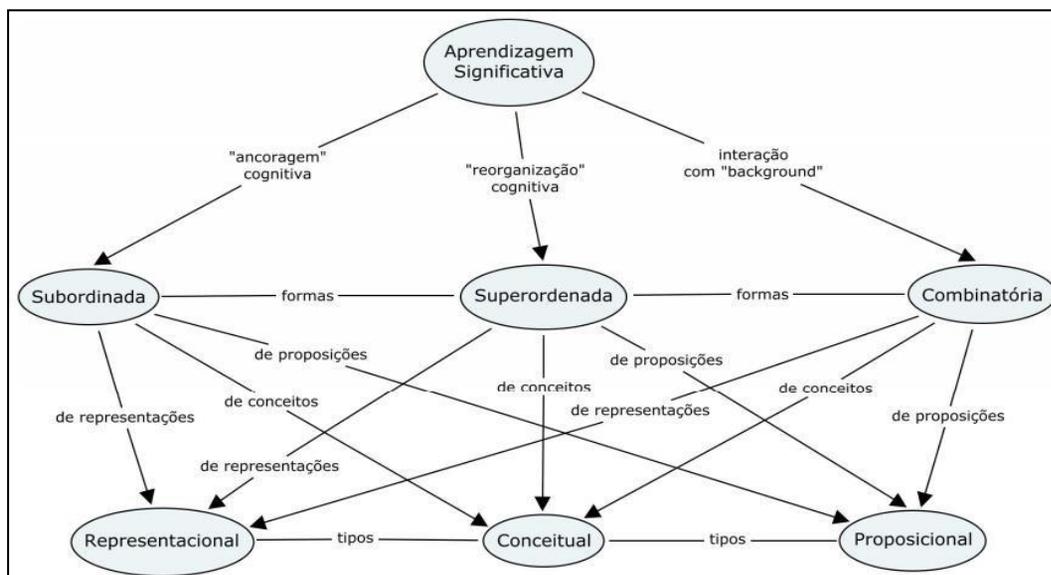
aprender: se o discente quiser memorizar o assunto arbitrária e literária, logo a aprendizagem adquirida será mecânica. Em segundo vem o assunto escolar a ser aprendido pelos discentes que ser potencialmente significativo, tem que haver lógica e posicionamento significativo: na parte do significado lógico depende somente da natureza do assunto, já o significado psicológico se trata da experiência que cada indivíduo tem. Cada aprendizagem faz uma peneira dos assuntos que têm significado para os próprios alunos.

Além disso, segundo com o pensamento de Pelizzari et.al (2002):

Com esse duplo marco de referência, as proposições de Ausubel partem da consideração de que os indivíduos apresentam uma organização cognitiva interna baseada em conhecimentos de caráter conceitual, sendo que a sua complexidade depende muito mais das relações que esses conceitos estabelecem em si que do número de conceitos presentes. Entende-se que essas relações têm um caráter hierárquico, de maneira que a estrutura cognitiva é compreendida, fundamentalmente, como uma rede de conceitos organizados de modo hierárquico de acordo com o grau de abstração e de generalização. (PELIZZARI, 2002, p. 38)

A figura 1, nos apresenta os três principais pontos de partidas da aprendizagem significativa e suas ramificações, segundo Moreira (2013). Ainda de acordo com ele cada ponto de partida (subordinada, superordenada e combinatória) o resultado pode ser diferentes tipos de aprendizagem significativa (representacional, conceitual e proposicional).

**Figura 1:** Um mapa conceitual para a Aprendizagem Significativa de Ausubel..



**Fonte:** MOREIRA, 2013.

Segundo Moreira (2013) a Aprendizagem Significativa é o ponto chave dessa teoria, e ocupa o topo do mapa conceitual:

Aprendizagem significativa é o conceito-chave da teoria. Por isso ocupa, no mapa, uma posição hierarquicamente superior. As condições para sua ocorrência, em situação de ensino-aprendizagem, são a predisposição para aprender e a existência de materiais potencialmente significativos. Esta condição, por sua vez, implica que esses materiais tenham significado lógico e o aprendiz tenha conhecimentos prévios adequados para transformar o lógico e psicológico. O mapa destaca também os tipos (representacional, conceitual e proposicional) e as formas (subordinada, superordenada e combinatória) de aprendizagem significativa. (MOREIRA,2013, p. 5)

Nesse contexto, para que haja uma aprendizagem de excelência, é necessário levar em consideração os conhecimentos prévios dos alunos, os chamados subsunçores, que são a partir deles que os alunos conseguem assimilar algo novo com o que eles já tinham.

De acordo com Ausubel, (p.2, 1978), publicado em um diagrama pela universidade de Oslo, uma das premissas fundamentais da psicologia educacional destaca que o conhecimento prévio do aluno é o fator mais influente no processo de aprendizagem. Ao considerar e compreender o nível de conhecimento que o aprendiz já possui, os educadores podem adaptar e direcionar o ensino de maneira mais eficaz. Portanto, identificar e avaliar o conhecimento prévio do aluno desempenha um papel crucial no desenvolvimento de estratégias pedagógicas adequadas, permitindo a construção de uma base sólida de novos conhecimentos e a conexão com os conceitos já adquiridos.

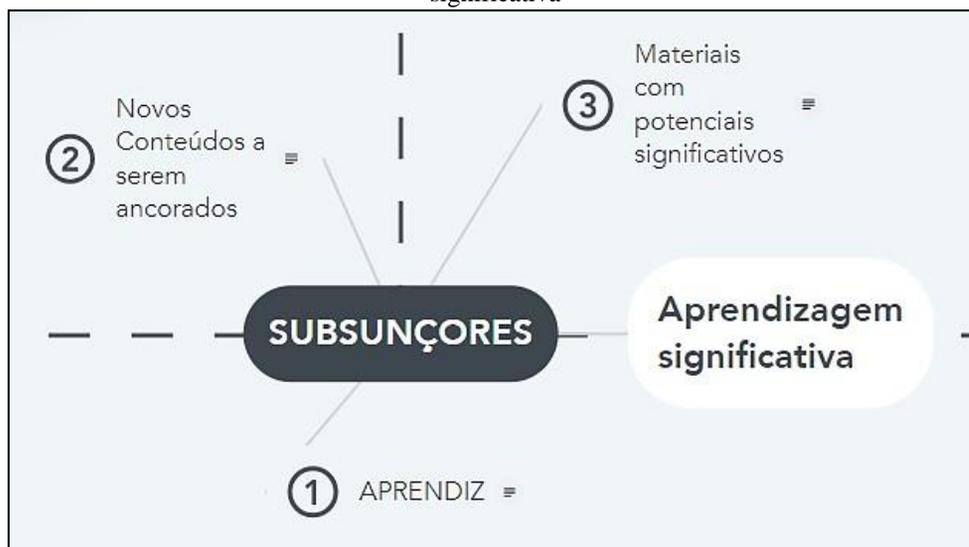
Segundo Moreira (p. 7, 2010) o conhecimento prévio é a variável isolada mais importante para a aprendizagem significativa, “O conhecimento prévio é, na visão de Ausubel, a variável isolada mais importante para a aprendizagem significativa de novos conhecimentos. Isto é, se fosse possível isolar uma única variável como sendo a que mais influencia novas aprendizagens, esta variável seria o conhecimento prévio, os subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do sujeito que aprende”.

Na aprendizagem significativa, os subsunçores ou conhecimentos prévios é a variável que mais contribui para que tenha uma aprendizagem significativa de novos conhecimentos. Segundo Ausubel (1973, p. 25), subsunçor é uma estrutura específica na qual uma nova informação pode se agregar ao cérebro humano, que é altamente organizado e detentor de uma hierarquia conceitual, que armazena experiências prévias do sujeito.

### 2.2.1 O papel dos subsunçores na TAS

Ausubel defendia a importância do conhecimento prévio na aquisição de novas informações. Entre os conceitos fundamentais de suas teorias, destaca-se o termo "subsunçores", referindo-se a estruturas cognitivas existentes na mente do aprendiz. Neste tópico, exploraremos o significado dos subsunçores conforme proposto por Ausubel, analisando como eles facilitam a aprendizagem significativa, promovendo a conexão entre o conhecimento prévio e os novos conceitos. Além disso, destacaremos a relevância dos subsunçores no contexto do ensino de física, particularmente no que se refere a tópicos desafiadores da física moderna, como os buracos negros.

**Figura 2:** Ligação entre os conhecimentos prévios, os materiais potencialmente significativos e a aprendizagem significativa



Fonte: Próprio Autor

A imagem serve para demonstrar que os subsunçores tem o seu papel fundamental na Teoria de Aprendizagem Significativa, o centro do que o discente sabe, pode ser difundido e deve ser reaproveitado de maneira significativa, de modo a servir como uma âncora de novos conceitos, termos, expressões e aplicabilidades. Diferenciar o termo “poder” de “ser” nesse sentido, evidencia como o professor deve se colocar frente aquilo que o aluno já sabe. Não descartar o conhecimento prévio, com frases como, “esqueçam tudo que vocês já aprenderam sobre isso até aqui”, mas, ancorar significado aquilo que o aluno já conhece, partindo das suas experiências com o mundo contemporâneo, afinal a figura do professor detentor de todo o conhecimento já é um termo em

desuso na educação atual. O professor mediador, como uma figura de intermédio entre o conhecer e o desconhecido é um novo pilar do mundo moderno, e tem feito a passos curtos a educação um ambiente mais civilizado e democrático.

De acordo com Da silva, p. 5, 2020, é fundamental ressaltar que, no contexto da aprendizagem significativa, nem todo conhecimento prévio terá influência no processo. Em vez disso, são os conhecimentos prévios relevantes presentes na estrutura cognitiva do indivíduo, denominados por Ausubel como subsunçores ou ideias-âncora, que desempenham um papel fundamental. Esses subsunçores atuam como âncoras para uma nova informação, permitindo que ela adquira significado para o indivíduo.

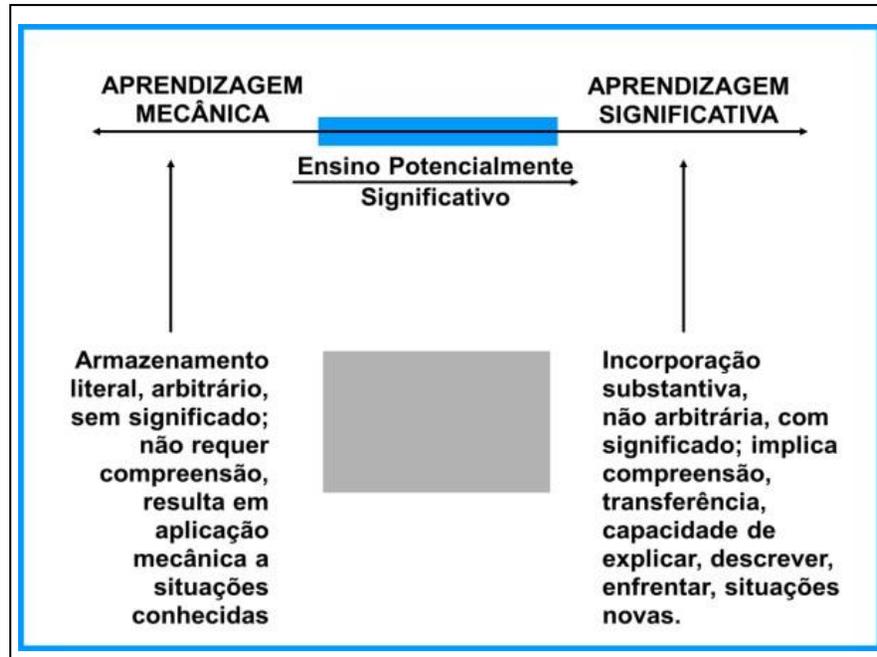
De acordo com Silva Filho, 2022,

Os conceitos que possibilitam essa forma substantiva e não arbitrária de assimilação, e que são cientificamente consentidos, são os chamados subsunçores. Eles constituem, mesmo que por amorfia, conhecimentos prévios especificamente relevantes relativamente ao tema em questão para a aprendizagem de outros conhecimentos, que não se reduzem apenas à sua expressão em conceitos individuais, mas também se podem representar por conexões entre conceitos na forma proposicional. (SILVA FILHO, p. 2, 2022).

A investigação dos conhecimentos prévios nesta pesquisa será conduzida por meio da aplicação de um questionário. Posteriormente, o mesmo questionário será utilizado para identificar quais novos conteúdos foram ancorados, estabelecendo, assim, uma conexão entre o conhecimento prévio dos alunos e as experiências relacionadas ao conteúdo proposto. Essa interação entre as informações ocorrerá de forma não arbitrária, dependendo do interesse do aluno em buscar esse conhecimento, conferindo significado ao processo de aprendizagem. É importante salientar que a falta de interesse não exclui o aluno do processo de aprendizagem. Nesse sentido, a utilização de sequências didáticas se mostra coerente, uma vez que além de despertar o interesse do aluno, proporciona acesso ao material resultante da teoria abordada em sala de aula.

Dessa forma podemos verificar essa não arbitrariedade conforme a figura 3 abaixo,

**Figura 3:** O contínuo da aprendizagem significativa versus aprendizagem mecânica.



Fonte: Moreira, 2015

Cabe ressaltar que a aprendizagem assumirá um caráter mecânico quando se limitar à mera execução de exercícios com respostas pré-determinadas, desprovida de qualquer potencial significativo. Por exemplo, a realização de cálculos de situações específicas dentro do conteúdo, sem estabelecer conexões de significado mais profundo. Por outro lado, a aprendizagem será considerada significativa quando ocorrer uma construção ativa durante o processo de internalização, o que pode ser facilitado pela adoção de abordagens didáticas interativas do aluno por meio de atividades prático-interativas. Essa abordagem interativa se alinha com a realidade contemporânea, em que as atividades prático-interativas são valorizadas como meios efetivos para a construção do conhecimento.

### **2.3 A relação da física de buracos negros com a teoria de Ausubel**

Embora a física de buracos negros possa parecer um tópico distante e abstrato, suas implicações têm uma influência significativa no cotidiano das pessoas. A compreensão dos conceitos relacionados aos buracos negros é essencial para avanços científicos e tecnológicos relevantes para a sociedade moderna. Por exemplo, a pesquisa sobre buracos negros nos permite

investigar fenômenos extremos no universo, como a formação de estrelas e galáxias, a evolução do espaço-tempo e até mesmo a possibilidade de viagens interestelares.

Levando em consideração o atual cenário educacional, vemos que há significativas alterações com a implementação da nova Base Nacional Comum Curricular (BRASIL, 2017), o que resultou em maior ênfase na Astronomia, incorporada na segunda competência específica para o ensino médio. A saber: “Analisar e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar e defender decisões éticas e responsáveis.”

Nesse contexto, a ênfase é dada ao desenvolvimento da capacidade dos estudantes de construir e utilizarem interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos, visando elaborar argumentos, fazer previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis (FERREIRA et al., 2021). Tais mudanças certamente terão impacto a curto e médio prazo na formação docente, sendo levadas em consideração nas reformas curriculares das licenciaturas e incentivando o ingresso de professores da educação básica em mestrados profissionalizantes, como o MNPEF (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física), e cursos afins disponibilizados pela SBF (Sociedade Brasileira de Física) que tem o propósito de capacitar, em nível de graduação, mestrado e doutorado, os professores da educação básica em relação aos conteúdos de Física e Astronomia.

Além disso, a física de buracos negros dentro da física moderna tem aplicações práticas em áreas como comunicações por satélite, sistemas de posicionamento global (GPS) e tecnologias de detecção avançada. Portanto, compreender os fundamentos dos buracos negros não apenas amplia nosso conhecimento do universo, mas também contribui para o desenvolvimento tecnológico e impacta diretamente a vida diária das pessoas.

No contexto acadêmico, percebe-se a importância de apresentar as informações de forma organizada e coesa. Ao pré-organizar o conhecimento que o aluno possui, é possível direcionar e facilitar a compreensão dos conceitos que o professor pretende transmitir. Essa abordagem, conhecida como *praeconceptionem* (em latim, pré-concepção), busca criar um guia estruturado que permita ao aluno adquirir o conhecimento necessário sobre determinado assunto, promovendo uma aprendizagem mais dinâmica e significativa.

De acordo com Barbosa, p. 146, 2020, os alunos possuem conhecimentos prévios que desempenham um papel fundamental na ocorrência da aprendizagem significativa. De acordo com o autor desenvolvedor da teoria de aprendizagem que aqui baseia-se, o conhecimento é considerado significativo por definição, resultando de um processo que envolve a interação entre ideias culturalmente relevantes. Nesse contexto, os conhecimentos prévios estão inseridos nas representações sociais, o que torna o estudo desses conhecimentos e de sua relação com a aprendizagem um aspecto fundamental desta pesquisa. Destaca-se que a introdução ao estudo dos Buracos Negros teve como objetivo estabelecer uma base teórica para uma melhor compreensão de alguns conceitos relacionados à Relatividade e à Gravitação Universal, bem como suas conexões com o cotidiano dos estudantes.

De acordo com JORNAL UNESP, 2023,

A ideia de buscar analogias entre os gigantes cósmicos e outros eventos remonta ao começo dos anos 1980. Naquela época, de forma independente, dois físicos, Vincent Moncrief, da Universidade Yale, e Bill Unruh, da Universidade da Colúmbia Britânica, perceberam que algumas características dos buracos negros surgiam também em estudos envolvendo outras situações no campo de relatividade geral. O conceito ganhou relevância porque permitiu que fenômenos que seria impossível observar diretamente nos buracos negros reais pudessem ser pelo menos parcialmente estudados a partir dos chamados buracos negros *análogos*. (JORNAL UNESP, web pag. 2023).

Acredita-se que os conteúdos de Física devem ser abordados nas escolas com o objetivo de aprimorar a capacidade de compreensão dos estudantes, proporcionando uma maior participação e envolvimento por parte deles, levando em consideração sua realidade cotidiana. Propõe-se um ensino de Física que esteja alinhado com uma abordagem científica contemporânea, buscando uma aprendizagem significativa ao integrar conceitos clássicos da Física e estabelecendo conexões com diferentes disciplinas.

#### **2.4 Esta Obra como uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)**

A apresentação significativa e eficaz de ideias e informações, visando a clareza, estabilidade e ausência de ambiguidades, com retenção duradoura de conhecimentos organizados, é identificada como a principal função da pedagogia. Tal tarefa é considerada exigente, criativa e distante de uma abordagem rotineira ou mecânica. A seleção, organização, apresentação e

interpretação adequada do conteúdo em termos de desenvolvimento transcende a mera enumeração de fatos. Quando realizada de forma apropriada, representa o trabalho de um professor qualificado e de valor inquestionável.

Apesar de o parágrafo acima parecer autêntico, pode-se dizer que o autor reteve significativamente as ideias advindas do pensamento de Ausubel, o mesmo destaca que:

A arte e a ciência de apresentação de ideias e de informações de modo significativo e eficaz – de forma a surgirem significados claros, estáveis e não ambíguos e a existir uma retenção durante um período de tempo considerável, como um conjunto de conhecimentos organizados – é, na verdade, a principal função da pedagogia. Esta é uma tarefa exigente e criativa e não rotineira nem mecânica. A tarefa de seleção, organização, apresentação e tradução do conteúdo das matérias, de uma forma apropriada em termos de desenvolvimento, exige mais do que uma simples listagem de fatos. Caso seja feita corretamente, trata-se do trabalho de um professor capacitado e dificilmente se pode desdenhar. (AUSUBEL, 2003, p. 52).

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são seqüências de ensino fundamentadas dentro da Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS), que visam atuar como facilitadora da aprendizagem significativa. Com o objetivo de compreender como este trabalho pode se embasar nas teorias de Ausubel (ALVES, 2015), sua elaboração é fundamentada como uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativo (UEPS).

**Tabela 1:** Oito aspectos sequenciais para elaboração de uma UEPS e sua relação com o conteúdo proposto.  
**Fonte:**(Souza, 2018, pg. 2) apud (Moreira, 2011), adaptado pelo próprio autor

Aspectos sequenciais de uma UEPS de acordo com Moreira.	Desenvolvimento e aplicação da Oficina
<b>Definir o tópico a ser abordado, resgatando o conhecimento prévio, e as relações que podem ser estabelecidas com o novo conhecimento.</b>	A Física Moderna nos Buracos Negros.
<b>Proporcionar situações para externalizar o conhecimento prévio dos alunos.</b>	Essa é a fase de aplicação do questionário
<b>Introduções ao tópico com situações que relacionem a nova informação com o conhecimento prévio (subsunçores) e o novo conteúdo.</b>	Primeira Aula sobre Evolução Estelar para introdução dos conceitos de física.
<b>Apresentar os conteúdos partindo dos assuntos mais gerais para os mais específicos.</b>	Abordagem interativa do professor com aplicação da Sequência didática e uso do produto educacional
<b>Retomada dos aspectos mais gerais dos conteúdos, com progressiva complexidade e interação entre o grupo, envolvendo negociação e significados.</b>	Resolução de exercícios propostos pelo material didático
<b>Abordagem de maior complexidade, com diversificação das atividades em uma abordagem integradora e colaborativa.</b>	Desafio em criar questões sobre o conteúdo
<b>Avaliação Processual e formativa da aprendizagem</b>	O questionário inicial é reaplicado
<b>Avaliação da UEPS, seguindo evidências da Aprendizagem Significativa.</b>	Quantificação de erros e acertos para mapeamento de possíveis melhorias do material

**Fonte:** Adaptada pelo autor ao material didático.

Na presente dissertação, propomos a aplicação da Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel por meio de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) constituída de um conjunto de sequências didáticas dentro de uma oficina sobre o tema de buracos negros.

O primeiro passo é a identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca do tema, permitindo-nos compreender suas concepções iniciais e estabelecer um ponto de partida adequado. Em seguida, encontramos a subsunçor, uma ideia central sobre a física de buracos negros que servirá como base sólida para a construção de novos conhecimentos.

Determinamos, então, as ideias derivadas, representando conceitos específicos e essenciais para a compreensão mais profunda do tema. A organização lógica e hierárquica dessas ideias é realizada para que a aprendizagem ocorra de forma progressiva e coerente. Na sequência, selecionamos cuidadosamente materiais e experiências que enriqueçam a compreensão dos conceitos, tornando o aprendizado mais significativo e envolvente.

A etapa crucial da relação entre o novo conteúdo e o conhecimento prévio dos alunos é cuidadosamente planejada para estabelecer conexões e facilitar a assimilação das informações. A UEPS, como um conjunto de sequências didáticas, é aplicada em sala de aula com o intuito de

promover a aprendizagem significativa dos conceitos de buracos negros, incentivando os alunos a se tornarem ativos construtores do conhecimento.

Por fim, a avaliação do processo de ensino-aprendizagem é conduzida, permitindo-nos verificar a eficácia da UEPS na promoção do aprendizado significativo sobre a fascinante e complexa temática dos buracos negros

De uma maneira mais geral, podemos escrever as etapas supracitadas no quadro acima como:

- I. **Identificar os Conhecimentos Prévios:** Nesse passo, você precisa identificar os conhecimentos que os estudantes já possuem sobre o assunto (nesse caso, buracos negros). Isso pode ser feito através de questionários, discussões em sala de aula ou pesquisas.
- II. **Encontrar a Subsunçor (ideia inclusora):** A subsunçor é a ideia central e mais abrangente em torno da qual você vai construir o novo conhecimento. É aquela ideia que serve como uma base sólida para a compreensão dos conceitos mais complexos.
- III. **Determinar as Ideias Derivadas:** Essas são as ideias que serão ancoradas na subsunçor. Elas são os conceitos específicos que você deseja ensinar sobre buracos negros e que devem ser relacionados ao conhecimento prévio dos estudantes.
- IV. **Organizar as Ideias para Aprendizagem Significativa:** Nesse passo, você organiza as ideias derivadas em uma estrutura lógica e hierárquica, de modo que a aprendizagem ocorra de forma progressiva e coerente.
- V. **Selecionar Materiais e Experiências:** Escolha os materiais, atividades e experiências que serão utilizados para facilitar a aprendizagem significativa. Isso pode incluir livros, simulações, experimentos, entre outros recursos.
- VI. **Relacionar o Novo Material com os Conhecimentos Prévios:** Essa etapa é crucial para estabelecer as conexões entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio dos estudantes. Ajude-os a perceber como o que estão aprendendo está relacionado com o que eles já sabem.
- VII. **Aplicar a UEPS:** Aqui, você implementa a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, usando os materiais e atividades selecionados para promover a aprendizagem significativa dos conceitos de física de buracos negros.

VIII. **Avaliar a Aprendizagem:** Por fim, avalie o processo de ensino-aprendizagem para verificar se a UEPS foi eficaz em promover a compreensão significativa dos conceitos de buracos negros. Você pode utilizar testes, questionários, discussões em sala de aula ou outras estratégias de avaliação.

De acordo com SCHINZEL, pg. 32, 2022, com base nas ideias e conceitos apresentados anteriormente, faremos uso desses princípios e abordagens de Ausubel, juntamente com as observações e perspectivas de Moreira, para desenvolver uma sequência didática que visa organizar hierarquicamente os conceitos, enfatizando a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

### **3. Revisão Bibliográfica**

É amplamente reconhecido que a proposta de inovação no campo educacional, especificamente no ensino de física moderna dentro do conteúdo de buracos negros abordado neste trabalho, foi enriquecida pela contribuição de outros pesquisadores. Suas pesquisas serviram como uma *filum ductorem* (linha orientadora) para os resultados desejados e para as especulações/teorias realizadas, ampliando assim as *termini scientiae* (fronteiras do conhecimento) em outras investigações. Nesse sentido, selecionamos algumas obras que foram utilizadas para comparar os resultados obtidos neste estudo e que fundamentaram a sua estrutura.

#### **3.1 Outros trabalhos acadêmicos relevantes usados como base para a escrita do trabalho proposto**

A luz de publicações em âmbito científico, reuniu-se primeiramente os artigos que relacionavam de maneira direta a proposta deste trabalho, sendo: A física moderna através do conteúdo de Buracos negros no Ensino Médio de uma maneira significativa na aprendizagem do discente, e a relação desses conteúdos aplicados de uma maneira que possuíssem um potencial significativo de aprendizado como uma UEPS.

*SCHINZEL, Guilherme Henrique et al. Buracos negros—uma proposta de sequência didática em forma de ueps para o ensino fundamental e médio. Revista do Professor de Física, v. 6, n. Especial, p. 386-395, 2022.*

Este trabalho apresenta uma proposta de sequência didática em forma de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) para o ensino fundamental e médio sobre o tema fascinante e enigmático dos buracos negros. Através dessa abordagem, busca-se proporcionar aos estudantes uma experiência de aprendizado mais significativa, relacionando os conceitos de física dos buracos negros com suas ideias prévias e conhecimentos já estabelecidos. A UEPS desenvolvida baseia-se na Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel e visa estabelecer uma progressão lógica e hierárquica dos conceitos, de forma a facilitar a compreensão dos fenômenos envolvidos. A proposta também incorpora materiais e atividades adequadas, visando estimular a participação ativa dos alunos no processo de construção do conhecimento. Acredita-se que essa abordagem pode contribuir significativamente para tornar o ensino dos buracos negros mais atrativo, estimulante e enriquecedor, proporcionando uma visão mais abrangente e profunda desse fenômeno cósmico intrigante

*BARBOSA, Patrynie Garcia; AQUINO, Arthur Marques; CALHEIRO, Lisiane Barcellos. Representações sociais de alunos da educação básica sobre buracos negros. Revista de Enseñanza de la Física, v. 32, p. 135-142, 2020.*

As representações sociais dos alunos da educação básica em relação aos buracos negros constituem um importante campo de estudo para compreender como esses estudantes percebem e interpretam esse fenômeno astronômico complexo. Por meio de pesquisas e investigações nessa área, busca-se desvelar as concepções prévias dos alunos sobre buracos negros, bem como identificar as influências sociais e culturais que moldam suas visões e entendimentos. Essas representações sociais podem impactar diretamente o processo de aprendizagem, influenciando a forma como os alunos se aproximam desse tema específico durante suas atividades educacionais. A compreensão das representações sociais sobre buracos negros pode, portanto, fornecer subsídios valiosos para o desenvolvimento de estratégias de ensino mais eficazes, que abordem as concepções dos alunos de maneira a promover uma aprendizagem significativa e coerente.

*GRIEBELER, Adriane. Inserção de tópicos de física quântica no ensino médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa. 2012.*

A inserção de tópicos de física quântica no ensino médio, por meio de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), representa uma abordagem inovadora para promover o aprendizado desse campo complexo da física. A UEPS busca conectar os conceitos de física quântica com as ideias prévias dos alunos, proporcionando uma aprendizagem mais significativa e duradoura. Essa estratégia pedagógica enfatiza a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, permitindo aos estudantes assimilarem gradualmente os conceitos fundamentais da física quântica em uma sequência organizada e coerente. Ao envolver os alunos em atividades práticas, experimentos e discussões reflexivas. Tal abordagem visa estimular o pensamento crítico, a curiosidade científica e a compreensão dos fenômenos quânticos, preparando-os para enfrentar os desafios do mundo moderno com uma base sólida de conhecimentos científicos.

*ALVARENGA, Flávio Gimenes; NETO, José Izaías Moreira Scherrer; COELHO, Geide Rosa. Processo de validação de uma sequência de ensino investigativa para o ensino de física moderna e contemporânea: da gravitação aos buracos negros. Experiências em Ensino de Ciências, v. 17, n. 2, p. 66-90, 2022.*

O processo de validação de uma sequência de ensino investigativa para o ensino de física moderna e contemporânea, abordando desde a gravitação até os buracos negros, representa uma etapa crucial no desenvolvimento de abordagens pedagógicas inovadoras e eficazes. Nesse contexto, a validação busca assegurar a qualidade, relevância e efetividade da sequência de ensino, bem como sua adequação ao público-alvo, que envolve estudantes do ensino médio. Por meio de métodos e estratégias de pesquisa, o processo de validação envolve a análise minuciosa dos conteúdos, atividades e recursos propostos na sequência, bem como a avaliação da coerência didática e científica do material. Além disso, a validação também inclui a coleta de feedbacks e contribuições de educadores, especialistas em física e até mesmo dos próprios alunos, com o objetivo de aprimorar a sequência de ensino de forma a promover uma aprendizagem significativa e estimulante dos conceitos modernos e contemporâneos da física, abrangendo desde a teoria da gravitação até os mistérios dos buracos negros.

*NETO, João Pereira; TEIXEIRA, Ricardo Roberto Plaza. Uso de vídeos em atividades de divulgações científica sobre buracos negros e ondas gravitacionais. Revista Hipótese, p. e022003-e022003, 2022.*

O uso de vídeos em atividades de divulgação científica sobre buracos negros e ondas gravitacionais tem se mostrado uma ferramenta poderosa para cativar e engajar o público em geral. Esses recursos audiovisuais permitem uma abordagem mais dinâmica e visualmente impactante, proporcionando uma compreensão mais acessível e envolvente desses conceitos complexos da astrofísica. Ao apresentar imagens e animações ilustrativas, juntamente com explicações didáticas, os vídeos conseguem transmitir de forma mais clara as propriedades fascinantes dos buracos negros e o funcionamento das ondas gravitacionais, permitindo que pessoas com diferentes níveis de conhecimento em física possam apreciar e compreender esses fenômenos cósmicos intrigantes. Dessa forma, a incorporação de vídeos em atividades de divulgação científica contribui para disseminar o conhecimento astronômico e despertar o interesse do público em explorar as maravilhas do universo.

*GONÇALVES, Marina Paim. Oficina astronômica: uma proposta de atividades utilizando materiais potencialmente significativos para ensino médio. 2014.*

A oficina astronômica emerge como uma proposta inovadora de atividades educacionais para o ensino médio, visando abordar conceitos de astronomia de maneira significativa e atrativa. A metodologia proposta utiliza materiais potencialmente significativos, incluindo telescópios, simuladores, maquetes, recursos audiovisuais e observações do céu noturno, com o objetivo de envolver ativamente os estudantes em experiências práticas e reflexivas sobre fenômenos celestes. Fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, a abordagem didática busca estabelecer conexões entre os novos conhecimentos e as ideias prévias dos alunos, almejando promover uma aprendizagem mais profunda e duradoura. Assim, a oficina astronômica oferece aos estudantes uma oportunidade única de explorar o universo de forma interativa e participativa, estimulando a curiosidade científica e o interesse pela astronomia, ao mesmo tempo em que fomenta uma compreensão mais significativa dos conceitos abordados.

*FERREIRA, Marcello et al. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 42, 2020.*

A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre óptica geométrica, apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones, é uma estratégia educacional que se alinha com os princípios da física moderna. Ao utilizar recursos multimídia interativos, essa abordagem busca proporcionar uma experiência de aprendizagem mais eficaz e envolvente para os alunos, permitindo que eles explorem conceitos fundamentais da óptica geométrica de forma concreta e contextualizada. Nessa perspectiva, os vídeos explicativos oferecem visualizações claras de fenômenos ópticos complexos, enquanto os aplicativos e jogos educacionais promovem interações lúdicas que estimulam a motivação e a curiosidade dos estudantes. Dessa maneira, a UEPS oferece um ambiente de aprendizagem mais centrado no aluno, permitindo que eles construam o conhecimento de maneira progressiva e significativa, relacionando-o com seus contextos e experiências prévias. A abordagem com UEPS e recursos tecnológicos é uma forma inovadora de integrar a física moderna ao ensino da óptica geométrica, tornando-o mais relevante e aplicável ao cotidiano dos estudantes.

#### **4. Buracos Negros**

Este capítulo é dedicado à apresentação dos conteúdos relacionados à Física Moderna, com enfoque especial nos tópicos sobre Buracos Negros, os quais são indispensáveis para uma compreensão aprofundada da disciplina. Além disso, serão abordados os conteúdos trabalhados nesta dissertação, tais como a Evolução Estelar, contemplando a formação das estrelas, suas massas, suas evoluções e destinos, e, em particular, os aspectos relacionados aos fascinantes Buracos Negros.

Nesta seção iremos apresentar explicações sobre conceitos relacionados a Buracos Negros. Tendo em vista a necessidade de inserção dessa temática no currículo, elabora-se um caminho com a prospecção de como esses conteúdos podem ser inseridos no ensino médio e como serão abordados na sequência didática. Bem, como, podem ser ancorados aos subsunçores e conhecimento prévio dos alunos.

## 4.1 Fundamentação Teórica – Evolução Estelar

Desde os primórdios da humanidade há questionamentos sobre nossa origem e o lugar que ocupamos no Universo. Evidências disso podem ser encontradas em pinturas rupestres e em mitos e lendas de populações ancestrais e tradicionais, por exemplo. Nesse sentido, as estrelas e planetas constituem, dentro de uma perspectiva científica, corpos celestes que podem nos dar contribuições nas respostas sobre nossa origem e também sobre nosso futuro no Universo.

Dessa forma, estudar os corpos celestes, com especial atenção para as estrelas e a evolução destas no Universo, torna-se relevante na medida em que tais conhecimentos, quando originados de uma construção científica, contribuem para a exploração do Universo para além do planeta Terra, além da extrapolação do conhecimento humano para a formulação de hipóteses e posterior busca de suas validações.

O modelo cosmológico do Big Bang, amplamente aceito na comunidade científica, foi proposto por diversos pesquisadores ao longo do tempo, e suas principais contribuições foram fundamentais para a compreensão da origem e evolução do universo. Georges Lemaître<sup>2</sup>, é frequentemente creditado por propor pela primeira vez a teoria da expansão do universo e sua origem em uma singularidade primordial em 1927.

Edwin Hubble<sup>3</sup>, astrônomo americano, foi responsável por confirmar a expansão do universo através da observação das galáxias se afastando umas das outras, o que ficou conhecido como a Lei de Hubble. A partir da década de 1940, o modelo do Big Bang foi refinado e desenvolvido por pesquisadores como George Gamow<sup>4</sup>, Ralph Alpher e Robert Herman, que

---

2 Georges Lemaître (1894-1966) foi um influente cosmólogo e padre belga conhecido por suas principais obras e formulações na cosmologia. Em 1927, ele propôs a teoria da expansão do universo e sua origem em uma singularidade primordial, que ficou conhecida como o "átomo primordial" ou "ovo cósmico". Suas ideias foram fundamentais para o desenvolvimento do modelo cosmológico do Big Bang. Lemaître também formulou as equações de Friedmann-Lemaître, que descrevem a dinâmica da expansão do universo.

3 Edwin Hubble foi um astrônomo americano cujas principais contribuições para a física incluíram a confirmação da expansão do universo e a formulação da Lei de Hubble, que relaciona a velocidade de recessão das galáxias com suas distâncias.

4 George Gamow, Ralph Alpher e Robert Herman foram físicos cujas contribuições para o campo de estudo incluíram a formulação da teoria da nucleossíntese primordial, que descreveu a formação dos elementos químicos leves nos primeiros minutos após o Big Bang, e a proposta da teoria do átomo primordial, uma ideia precursora do modelo do Big Bang.

descreveram a nucleossíntese primordial, processo que levou à formação dos elementos químicos mais leves durante os primeiros minutos após o Big Bang.

De acordo com Bertato, (2023)

Lemaître viveu o grande século da Física e foi contemporâneo das grandes discussões que mudaram para sempre o nosso entendimento sobre o Universo sendo mais um dos grandes personagens históricos a quem devemos alguns dos avanços intelectuais mais extraordinários que a humanidade já viu no campo das ciências da natureza. Sua principal contribuição foi lançar as bases para a chamada Teoria do Big Bang. (BERTATO, p. 441, 2023)

A relação entre o modelo do Big Bang e a formação das estrelas está intrinsecamente ligada ao processo de expansão do universo. Após o Big Bang, o universo começou a se expandir e a se resfriar. Esse resfriamento permitiu a formação de átomos, principalmente de hidrogênio e hélio, a partir da matéria primordial presente nos primeiros momentos do universo. Com o tempo, a gravidade começou a agir sobre a matéria distribuída no universo em expansão, levando à formação de estruturas cada vez maiores, como galáxias e aglomerados de galáxias.

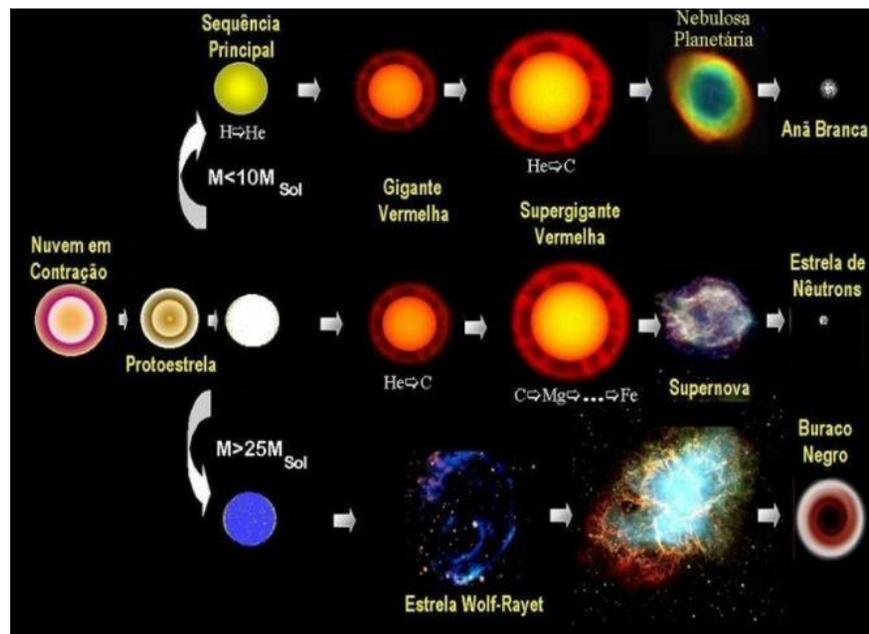
#### 4.1.2 *Formação e massa das Estrelas*

O Big Bang é o evento primordial que proporcionou as condições iniciais para a formação das estrelas, bem como para o desenvolvimento de todo o cosmos observável. Essa interligação entre a teoria do Big Bang e a formação das estrelas é essencial para entendermos a evolução do universo ao longo do tempo e como as estrelas desempenham um papel fundamental na dinâmica e estrutura do universo em expansão.

As estrelas são formadas a partir do colapso gravitacional de nuvens interestelares compostas principalmente de hidrogênio e hélio. Sob a influência da gravidade, as nuvens se contraem e aquecem, iniciando reações nucleares em seus núcleos que liberam uma enorme quantidade de energia, dando início à fusão nuclear e à formação das estrelas.

Estrelas são estruturas esféricas autogravitantes compostas de gás ionizado, cuja energia é proveniente da transmutação de elementos através de reações nucleares, tais como a fusão nuclear do hidrogênio em hélio e, subsequentemente, em elementos mais pesados. A composição química predominante nas estrelas é de aproximadamente 80% de hidrogênio, 18% de hélio e cerca de 1% a 2% de elementos mais pesados.

**Figura 4:** Imagem Referente ao desenvolvimento teórico da Evolução das estrelas até se tornarem Buracos negros



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/estrelas.htm>

A contração estelar pode ser descrita pela equação de Lane-Emden, desenvolvida por Jonathan Lane<sup>5</sup> e Robert Emden<sup>6</sup>. Essa equação é obtida a partir da solução da equação de equilíbrio hidrostático para a nuvem de gás em contração, sujeita a uma equação de estado politrópica. A equação de Lane-Emden descreve o perfil de densidade da nuvem de gás em relação ao raio, com base na massa e na temperatura. À medida que a nuvem se contrai, aumenta a pressão e temperatura em seu núcleo, iniciando um processo de fusão nuclear que leva à formação da protoestrela.

A equação diferencial de Lane-Emden é dada por:

$$\frac{1}{\zeta^2} \frac{d}{d\zeta} \left( \zeta^2 \frac{d\theta}{d\zeta} \right) + \theta^n = 0 \quad (1)$$

<sup>5</sup> Jonathan Lane é um astrônomo e professor de astrofísica da Universidade de Birmingham, Reino Unido. Ele é conhecido por suas pesquisas nas áreas de evolução estelar, formação de estrelas e estrelas binárias. Seu trabalho tem contribuído significativamente para o entendimento dos processos de evolução e morte das estrelas, bem como para o estudo da interação de sistemas estelares binários. Lane é um pesquisador ativo e respeitado em sua área, e suas descobertas têm impactado o campo da astronomia estelar.

<sup>6</sup> Robert Emden foi um matemático e astrofísico suíço nascido em 1862. Ele é conhecido por suas contribuições na área da estrutura interna de estrelas. Em particular, Emden desenvolveu as equações de Lane-Emden, que descrevem a distribuição de densidade de matéria no interior de uma estrela em equilíbrio hidrostático. Essas equações são essenciais para o estudo da estrutura estelar e fornecem informações importantes sobre como a matéria está distribuída no núcleo e nas camadas externas de uma estrela. As equações de Lane-Emden têm sido amplamente utilizadas em pesquisas em astrofísica e ajudaram a avançar nosso conhecimento sobre a evolução e o comportamento das estrelas.

Onde  $\zeta$  é o raio reescalado:

$$\zeta = r \left( \frac{4\pi G \rho_c^2}{(n+1)P_c} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

e a densidade  $\rho$  é dada como.

$$\rho = \rho_c \theta^n \quad (3)$$

Em 1869, a primeira publicação da equação de Lane foi realizada com o propósito de estimar a temperatura da superfície solar. De fato, a zona de convecção de uma estrela pode ser considerada em equilíbrio convectivo e descrita pela equação de Lane-Emden.

Já no próximo passo, conforme observado na figura 4, durante a fase de protoestrela, as reações nucleares convertem o hidrogênio em hélio, liberando enormes quantidades de energia na forma de radiação e ventos estelares.

De Acordo com

Eventualmente a nuvem acaba colapsando sob sua própria auto-gravitação. A nuvem começa o colapso de dentro para fora, o material na região central colapsa primeiro e o material externo permanece estacionário. O colapso ocorre, então, nas regiões externas ao núcleo. A taxa de acreção de massa no núcleo cresce com a temperatura inicial da nuvem. Leva cerca de  $10^5$  a  $10^6$  anos para acumular o equivalente a uma massa solar no núcleo da nuvem. A energia potencial gravitacional é convertida em energia térmica aquecendo a superfície da proto-estrela a até milhões de Kelvin. O caroço que se forma no centro é o que chamamos de “proto-estrela”. A proto-estrela não é uma estrela propriamente dita, pois não apresenta ainda reações nucleares em seu interior, mas pode ser considerada um “embrião” de estrela. (DE ALMEIDA, p. 2, 2022).

A evolução da protoestrela é descrita pelas equações de estrutura estelar, que incluem as equações de conservação de massa, momento e energia, juntamente com as equações de estado que descrevem o comportamento termodinâmico do plasma estelar. A equação de Hayashi, proposta por Chushiro Hayashi, é uma das equações de estado utilizadas para descrever a evolução das protoestrelas ao longo do diagrama Hertzsprung-Russell (HR), revelando a trajetória que as protoestrelas seguem até atingirem a sequência principal.

**Figura 5:** Duas protoestrelas nomeadas como HH1 e HH2



**Fonte:** SOBRINHO, 2003.

De acordo com Guimarães, pg. 13, (2004), “Quando a estrela diminui o seu raio, ela passa a ter uma área superficial menor e com isso sua luminosidade cai, mas sua temperatura aumenta.

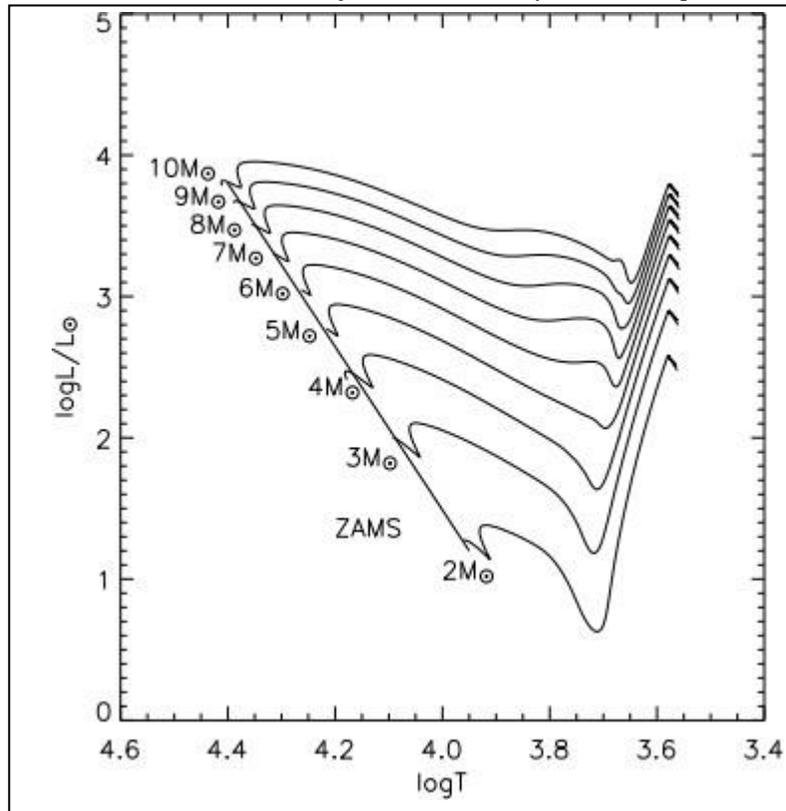
Quando a temperatura no interior aumenta, o transporte de energia por radiação torna-se dominante e desenvolve-se um núcleo radiativo que cresce com a diminuição do raio às custas do envelope convectivo. Estrelas com massa maior que  $0.8 M_{\odot}$  obedecem a uma relação de massa-luminosidade tal que  $L_{\star} \approx M_{\star}^3$ . Dessa forma, à medida que o núcleo se torna radiativo, a contração em direção a sequência principal ocorre com luminosidade praticamente constante. (GUIMARÃES, pg. 14, 2004).

A trilha seguida pela protoestrela no diagrama H-R é dada aproximadamente por (Bowers & Deeming, 1984):

$$\log L = 10 \log M - 7.24 \log T_{\text{eff}} + \text{constante} \quad (4)$$

e é conhecida como trilha de Hayashi, cujo exemplo pode ser visto na Figura 5.

**Figura 6:** Diagrama H-R mostrando a localização da trilha de Hayashi e da Sequência Principal.



**Fonte:** (GUIMARÃES, pg. 14, 2004).

O diagrama Hertzsprung-Russell (HR) é uma ferramenta fundamental na astronomia e astrofísica para estudar e compreender as propriedades das estrelas. Esse diagrama, nomeado em homenagem aos astrônomos Ejnar Hertzsprung<sup>7</sup> e Henry Norris Russell<sup>8</sup>, representa a luminosidade das estrelas em relação à sua temperatura efetiva ou cor, resultando em uma distribuição de estrelas ao longo de uma sequência característica. No eixo horizontal do diagrama, a temperatura efetiva das estrelas é representada, geralmente em ordem crescente da direita para a esquerda, enquanto no eixo vertical é mostrada a luminosidade, expressa em escala logarítmica.

---

<sup>7</sup>Ejnar Hertzsprung foi um astrônomo dinamarquês nascido em 8 de outubro de 1873. Ele é conhecido por suas contribuições pioneiras no campo da astronomia estelar e por ser um dos co-criadores do Diagrama Hertzsprung-Russell (HR).

<sup>8</sup>Henry Norris Russell foi um renomado astrônomo e astrofísico norte-americano, nascido em 25 de outubro de 1877. Ele é amplamente conhecido por suas contribuições significativas na área da astronomia estelar e foi um dos co-criadores do Diagrama Hertzsprung-Russell (HR) em colaboração com Ejnar Hertzsprung.

De acordo com Gomes, (p. 96, 2017) os astrofísicos Ejnar Hertzsprung e Henry Norris Russell desenvolveram, independentemente, um diagrama que relaciona a luminosidade de uma estrela com sua temperatura superficial, também chamada de temperatura efetiva. Este diagrama é conhecido como diagrama HR. Seu eixo horizontal, representado pela temperatura efetiva, geralmente em Kelvins, tem sentido crescente da direita para a esquerda.

Pela lei de Stefan-Boltzmann, a luminosidade de uma estrela é dada por:

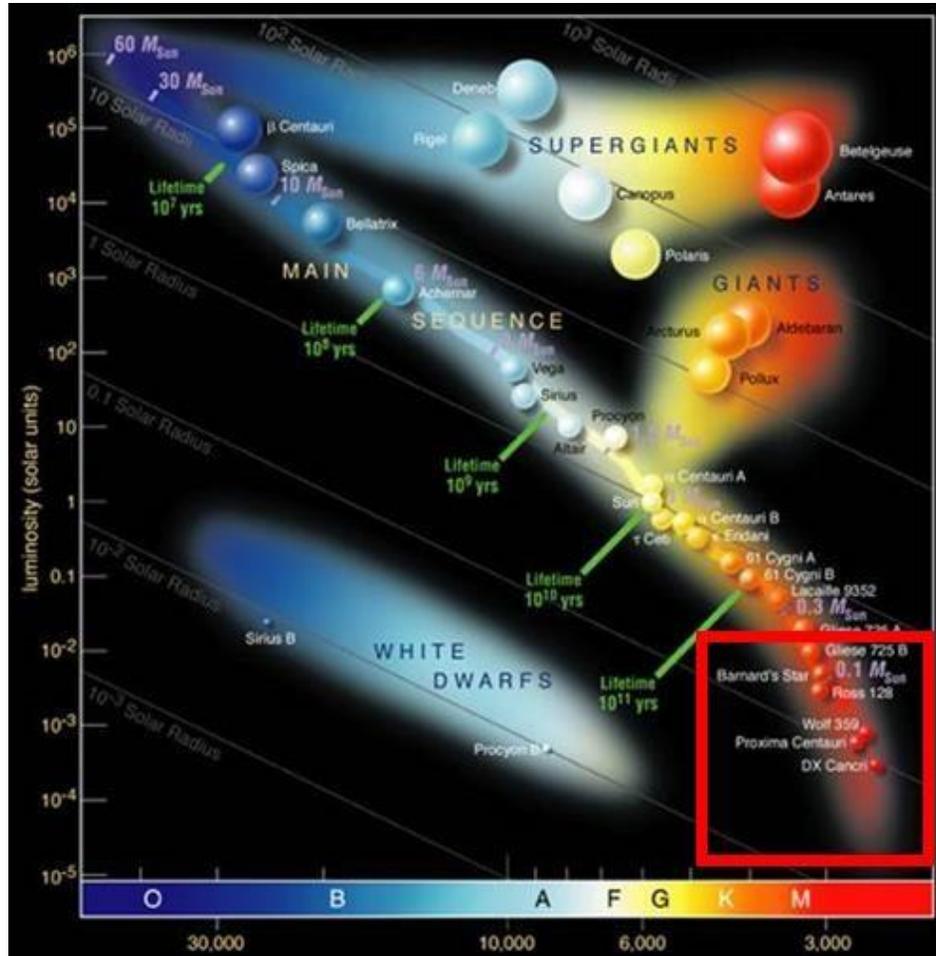
$$L = 4\pi r^2 \sigma T^4 e_{\text{ff}}. \quad (5)$$

- Em que  $r$  é o raio da estrela,
- $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )

A lei de Stefan-Boltzmann é uma importante relação física que descreve a taxa de energia radiante emitida por um corpo, como uma estrela, em função de sua temperatura. Essa lei estabelece que a luminosidade (energia irradiada por unidade de tempo) de uma estrela é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta. Em outras palavras, quanto mais quente uma estrela, maior será sua luminosidade.

Essa relação fundamental permite que os astrônomos determinem a luminosidade de estrelas distantes e compreendam aspectos cruciais de sua evolução e comportamento.

**Figura 5:** Gráfico da luminosidade das estrelas versus sua temperatura de superfície.



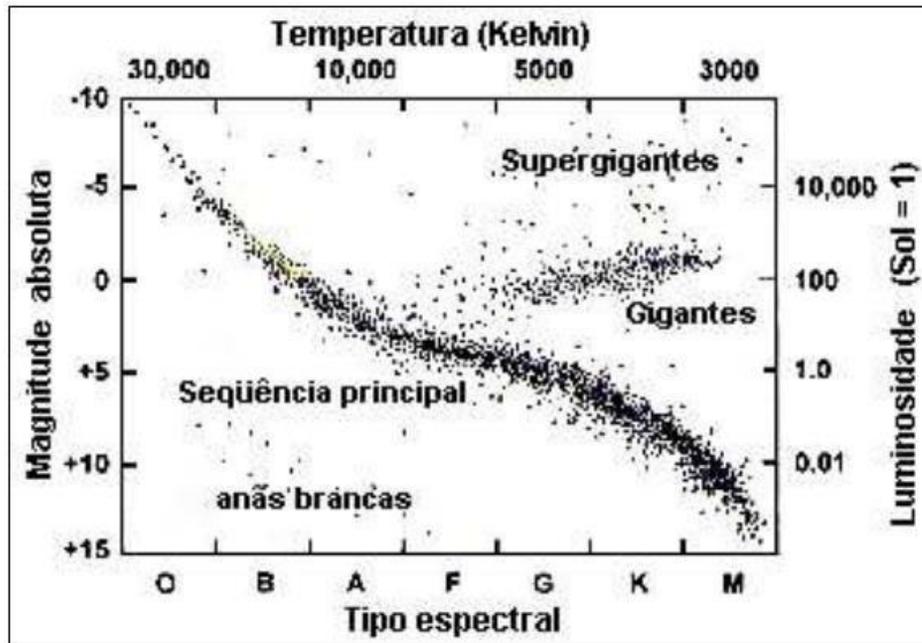
Fonte: Gomes, p. 97, 2017

As estrelas que se encontram na sequência principal são amplamente distribuídas pelo Universo, constituindo a maioria das estrelas observadas. Esse estágio representa a maior parte de suas vidas e é marcado por uma faixa distintiva no diagrama Hertzsprung-Russell (HR), localizada no centro deste diagrama.

De acordo com DE ALMEIDA, 2022.

Conhecer as características de uma protoestrela possibilita saber como será seu processo evolutivo, se chegará à sequência principal, se se tornará uma estrela anã, gigante vermelha, estrela de nêutrons, etc. Além disso, o estudo de regiões densas do meio interestelar possibilita saber quais delas são propícias à formação de estrelas. A partir de observações no infravermelho e micro-ondas com telescópios espaciais, podem-se obter dados sobre nuvens moleculares e protoestrelas que permitirão classificá-las para, então, entendermos seus processos evolutivos. (DE ALMEIDA, pg 2, 2022)

Figura 6: Exemplo de Diagrama HR



Fonte: (DE ALMEIDA, pg 2, 2022)

Já diante da sequência principal, temos a representação da fase mais estável da evolução estelar, onde as estrelas passam a converter hidrogênio em hélio em seus núcleos de maneira estável. A evolução das estrelas na sequência principal é regida por equações estruturais estelares, como as equações de conservação de massa e energia, juntamente com as equações de transporte de energia, que descrevem a transferência de energia do núcleo para a superfície estelar através de processos de radiação e convecção. A equação de Vogt-Russell, formulada por Henry Norris Russell e Heinrich Vogt, relaciona a massa, a luminosidade e a temperatura efetiva de estrelas nessa fase. De acordo com Dexheimer (2006),

Quando são dadas a composição química e a massa total  $M$  da estrela, a estrutura e as grandezas características do estado são determinadas e o teorema de Vogt-Russell indica que existem apenas uma solução. No caso da homogeneidade química no interior da estrela, e para produção de energia através de fusão nuclear esse teorema é válido. Para estrelas com distribuição de elementos equivalentes, as quantidades integrais que representam os seus estados apenas dependem da massa total da estrela. Nesse caso vale  $L = L(M)$  e  $T = T(M)$ , de tal forma que existe uma relação rígida entre  $L$  e  $T_{ef}$ , o que se observa de fato na sequência principal no diagrama de Hertzsprung-Russell. Dexheimer, p. 26, 2006

Estrelas são formadas a partir do colapso gravitacional de uma nuvem de gás formada principalmente por hidrogênio molecular (H<sub>2</sub>). A formação de uma estrela inicia-se quando, por algum mecanismo ainda não completamente compreendido, partes de uma nebulosa começam a se aglutinar pela força da gravidade, formando uma complexa estrutura de filamentos de gás.

De acordo com a imagem divulgada pela NASA, ver Figura 7, tirada pelo novo telescópio espacial James Webb, podemos verificar um berçário de estrelas, com a imagem da região de formação estelar mais próxima da terra, descobertas até hoje.

A imagem do primeiro aniversário do Telescópio Espacial James Webb da NASA exhibe o nascimento de estrelas como nunca antes visto, cheio de textura detalhada e impressionista. O assunto é o complexo de nuvens Rho Ophiuchi, a região de formação estelar mais próxima da Terra. É um berçário estelar relativamente pequeno e silencioso, mas você nunca o reconheceria pelo close-up caótico de Webb. Jatos saindo de estrelas jovens cruzam a imagem, impactando o gás interestelar circundante e iluminando o hidrogênio molecular, mostrado em vermelho. Algumas estrelas exibem a sombra reveladora de um disco circunestelar, a formação de futuros sistemas planetários. (NASA, 2023)<sup>9</sup>

**Figura 7:** Estrelas na imagem exibem sombras reveladoras indicando discos protoplanetários – potenciais futuros sistemas planetários em formação.



**Fonte:** (NASA. 2023).

---

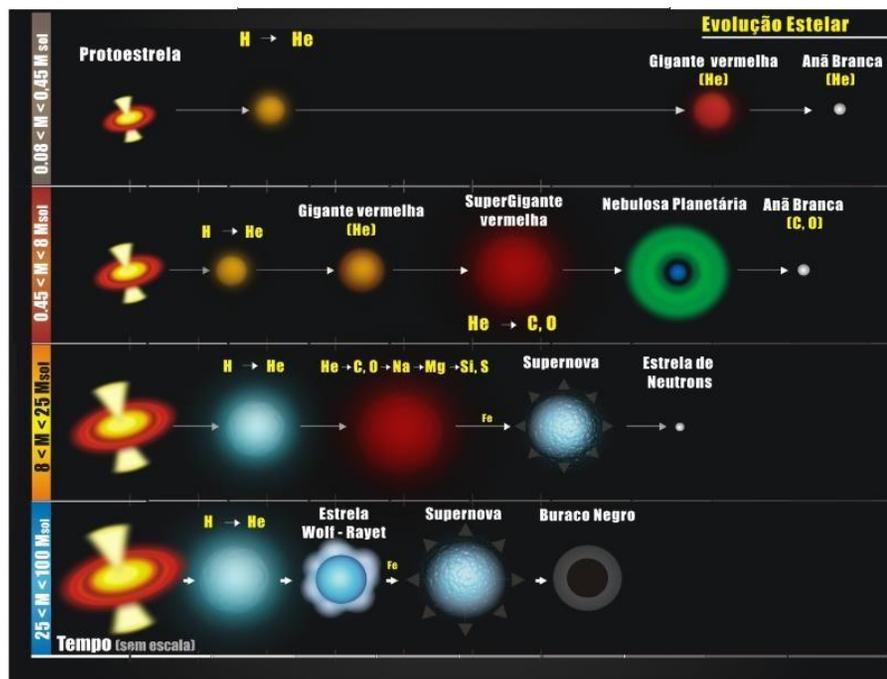
<sup>9</sup> NASA. Webb Celebrates First Year of Science with New Image. Disponível em: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2023/webb-celebrates-first-year-of-science-with-new-image>. Acesso em: 30 jul. 2023.

As estrelas nas fases estáveis estão em equilíbrio pois a queima nuclear produz uma pressão que agirá oposta à contração gravitacional fazendo-a parar. Começa assim suas fases até seus possíveis destinos. As estrelas têm três possíveis fins, e isso tudo depende da sua formação inicial que no caso será sua massa inicial. Elas podem tornar-se anãs brancas, estrelas de nêutron ou buracos negros.

Após a passagem pela sequência principal de uma estrela com massa inicial entre 1 e 10 massas solares, ocorre a perda de grande parte de sua massa, resultando em uma anã branca com menos de uma massa solar.

O tempo de evolução e fim de uma estrela depende muito da sua massa inicial, estrelas mais massivas tem um tempo de vida menor do que as de menores massas, além de serem mais brilhosas e serem mais quentes. As de menores massas tem um tempo de vida mais longo, pois demoram mais para concluir todo o seu ciclo de evolução.

**Figura 8:** Figura com a evolução das estrelas de acordo com as suas massas iniciais e seus possíveis fins evolutivos.



**Fonte:** OLIVEIRA FILHO E SARAIVA (2023)  
disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>

A cor de uma estrela está intrinsecamente relacionada com sua temperatura. Esse fenômeno se deve ao fato de que as estrelas emitem radiação eletromagnética em diferentes faixas

do espectro visível, dependendo de sua temperatura superficial. As estrelas mais quentes tendem a emitir mais radiação na faixa do azul e do ultravioleta, o que confere a elas uma tonalidade mais azulada. Por outro lado, as estrelas mais frias emitem mais radiação na faixa do vermelho e do infravermelho, resultando em uma coloração mais avermelhada. Portanto, a análise das cores das estrelas é uma ferramenta fundamental na astronomia para determinar suas temperaturas e entender as propriedades físicas desses corpos celestes.

Considerado o primeiro possível caminho dado a evolução estelar, após a sequência principal depende de maneira principal da massa do aglomerado de gases. Estrelas com massa inferior a 8 vezes a massa do Sol, após a fase de sequência principal, tornam-se gigantes vermelhas e evoluem para anãs brancas em nebulosas planetárias.

Por outro lado, estrelas com massa maior que 8 vezes a massa solar enfrentam uma explosão chamada de supernova, resultando em remanescentes estelares como estrelas de nêutron ou, caso a massa seja suficiente, buracos negros.

## **4.2 Buracos negros (evolução final)**

A formação de buracos negros é um dos fenômenos mais intrigantes e complexos da astrofísica. Esse processo começa com a aglutinação gravitacional de uma nuvem de gás interestelar, composta principalmente de hidrogênio e hélio. As interações gravitacionais conduzem à contração da nuvem, resultando na formação de uma protoestrela.

Albert Einstein (1879-1955) terminou a formulação de sua teoria de gravitação, a Teoria da Relatividade Geral (TRG), em novembro de 1915. O astrofísico alemão Karl Schwarzschild (1873-1916) leu o artigo de Einstein, publicado numa revista científica prussiana, em circunstâncias dramáticas: ele servia o exército alemão durante a I Guerra Mundial, na frente russa. Imediatamente pôs-se a calcular as consequências da teoria para a gravitação causada por uma estrela isolada. Obteve então a primeira solução exata das equações de campo de Einstein para o espaço exterior a uma distribuição esférica e estática de massa  $M$ . Enviou os seus resultados a Einstein que se admirou do feito de Schwarzschild: ele mesmo não acreditava ser possível chegar a uma solução analítica e exata de suas equações dadas as enormes complexidades matemáticas envolvidas. Schwarzschild teve a engenhosidade de escolher um sistema simples, de alta simetria, para empreender a primeira e mais notável solução particular da TRG. (THORNE, p. 129, 1994)<sup>10</sup> – Traduzido pelo autor.

---

<sup>10</sup> K. Thorne, *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy* (W.W. Norton & Company, New York, 1994)

A formação de buracos negros ocorre após uma supernova, na qual o núcleo da estrela entra em colapso gravitacional irreversível. A *equação de Schwarzschild*<sup>11</sup>, desenvolvida por *Karl Schwarzschild*, é a solução para a métrica de espaço-tempo em torno de um buraco negro não-rotativo. Essa equação revela a existência de uma singularidade gravitacional no centro do buraco negro, conhecida como *singularidade de Schwarzschild*, e define o raio crítico conhecido como *raio de Schwarzschild*, que representa o horizonte de eventos, onde a gravidade é tão intensa que nem a luz pode escapar. De acordo com (STEINE, pg. 3 2010)

A solução que Schwarzschild encontrou contém uma característica curiosa. Se pensarmos na fórmula da aceleração da gravidade produzida a uma distância  $r$  de um corpo de massa  $M$ , ela é facilmente obtida pela fórmula de Newton [...]. No entanto, a solução de Schwarzschild introduz uma correção sobre a fórmula de Newton. Quando o raio é muito pequeno, essa correção pode ser apreciável. Em caso extremo, o termo de correção pode ter um denominador nulo! Em outras palavras, surge uma singularidade. Para uma dada massa, isso ocorre a um raio chamado de Raio de Schwarzschild. Se uma estrela tivesse um raio menor do que esse valor, não poderíamos vê-la. Os raios de luz por ela emitidos seriam “refletidos” pela aceleração infinita. Para um observador externo, o objeto não pareceria uma estrela, mas um “buraco negro” no espaço. Essa singularidade por muito tempo foi considerada uma curiosidade matemática. (STEINE, pg. 3 2010)

Albert Einstein não conseguiu encontrar a solução completa que descreveria o campo gravitacional de um corpo esférico na teoria da Relatividade Geral. No entanto, ele fez importantes avanços ao descrever as correções à teoria newtoniana do potencial gravitacional. No caso específico de um corpo esférico e homogêneo de massa  $M$  localizado na origem das coordenadas cartesianas  $(x, y, z)$ , o potencial gravitacional é representado de forma simplificada por uma expressão concisa:

$$\Phi(x, y, z) = - \frac{GM}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}} \quad (6)$$

De acordo com SAA, pg. 5, (2016), a Relatividade Geral (RG) é uma teoria radicalmente diferente da Gravitação Universal de Newton. Em particular, a interação gravitacional não é mediada por um potencial como descrito na equação 6, mas pelas propriedades geométricas do

---

<sup>11</sup> Karl Schwarzschild foi um físico e astrônomo alemão, nascido em 9 de outubro de 1873. Ele é conhecido por suas contribuições significativas para a física teórica, especialmente no campo da relatividade geral. Schwarzschild estudou na Universidade de Estrasburgo e posteriormente trabalhou em vários observatórios e instituições científicas ao longo de sua carreira.

Espaço-Tempo, conceito fundamental que havia sido introduzido em 1908 pelo colega de Schwarzschild em Gottingen H. Minkowski. Ainda de acordo com este Autor,

As propriedades geométricas em questão são as descritas pelo chamado tensor métrico, com o qual pode-se escrever o equivalente de uma noção infinitesimal de comprimento para o Espaço-Tempo, o chamado elemento de linha. Curiosamente, Schwarzschild escreve sua solução já na forma “moderna” em coordenadas espaço-temporais esféricas  $(t, r, \theta, \phi)$ , nas quais o elemento de linha da solução é dado por: (SAA, pg. 5, 2016)

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_s}{r}\right) dt^2 - \frac{dr^2}{1 - \frac{r_s}{r}} - r^2(d\theta^2 + \text{sen}^2\theta d\phi^2) \quad (7)$$

Entretanto, a interpretação correta desse conceito ainda levaria mais tempo para se desenvolver. Em um segundo trabalho publicado por Schwarzschild em abril de 1916, ele passou a considerar não apenas o caso de uma massa pontual, mas também uma distribuição esférica e homogênea de matéria. Foi nesse estudo que ele finalmente identificou sua constante  $r_s$  como:

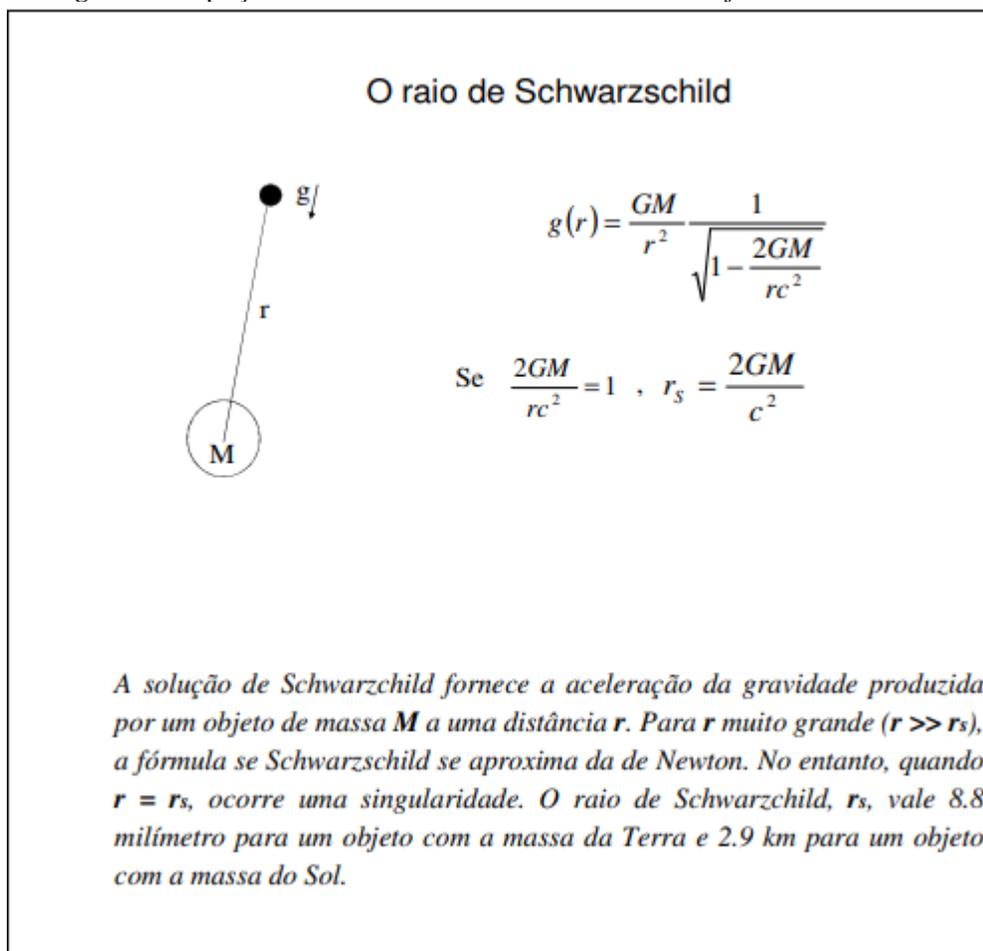
$$r_s = \frac{2GM}{c^2} \quad (8)$$

Considerando  $C$  a velocidade da luz no vácuo.

Albert Einstein, um dos cientistas mais renomados da história, é notavelmente conhecido por sua economia em citações científicas, sendo que em seu trabalho seminal sobre a Relatividade Geral, ele fez menção a apenas duas referências: o primeiro artigo de Schwarzschild e um de Hilbert. Karl Schwarzschild, foi citado através de seu estudo e contribuição sobre o campo gravitacional de uma distribuição esférica e homogênea de matéria.

Além disso, é importante ressaltar o papel significativo de Felix Klein no desenvolvimento das geometrias não-euclidianas, conceitos essenciais para o avanço da Física e da Matemática no Século XX. Suas contribuições, em particular, foram fundamentais para a formulação da teoria da Relatividade Geral, representando um dos pilares no desenvolvimento dessa importante área da ciência. Através do trabalho de Einstein, Schwarzschild e outros cientistas pioneiros, a Relatividade Geral foi estabelecida como uma teoria fundamental na compreensão do Universo em escalas cósmicas e continua a ser uma das principais teorias da física moderna.

**Figura 9:** A equação de Schwarzschild atenta ao olhar esférico junto a sua constante.



**Fonte:** STEINER, 2010.

A criação de buracos negros é um processo complexo que envolve uma série de estágios, desde a contração de uma nuvem de gás até o colapso gravitacional irreversível. As equações fundamentais, creditadas a seus respectivos postuladores, fornecem uma base teórica sólida para entender a evolução das estrelas ao longo do tempo e o fascinante fenômeno da formação de buracos negros no universo. O estudo detalhado desses processos é fundamental para a compreensão da astrofísica e da evolução das estrelas em diferentes massas, contribuindo para uma visão mais abrangente da estrutura e dinâmica do cosmos.

## 5. Procedimentos metodológicos

Neste capítulo, serão apresentadas as metodologias empregadas em sala de aula, assim como a aplicação do produto educacional, sob a perspectiva da aprendizagem significativa proposta por David Ausubel, com foco na física de buracos negros. Além disso, abordaremos o tipo de estudo realizado, o instrumento utilizado para coleta de dados e a população do estudo.

### 5.1 Abordagens e métodos utilizados

As análises foram conduzidas tanto em termos quantitativos, considerando percentuais e acertos nas questões do questionário aplicado, quanto em termos qualitativos, buscando inferir a qualidade das respostas e os resultados obtidos por meio da implementação do produto educacional.

Na abordagem multimétodo, que engloba tanto pesquisas qualitativas quanto quantitativas, utilizou-se o método *Survey longitudinal* com uma amostragem não probabilística, visando encontrar caminhos para as análises. Dessa forma, com a escolha desse método tem-se nas mãos os modelos das questões que seriam utilizados para a métrica dos resultados antes e depois da aplicação do produto educacional. De acordo com JONCEW, p. 7, 2014:

O layout de cada pergunta deve ser consistente e padronizado para atrair o respondente. As questões não devem ser longas. Não é recomendável colocar excessos de informação em cada página. Os botões de ajuda, também concisos e claros, serão acionados apenas se necessário, não comprometendo o layout da página. O questionário deve começar com perguntas mais interessantes e a sequência delas deve ser lógica, para que a leitura flua com simplicidade. O número de opções de respostas deve ser o menor possível. (JONCEW, p. 7, 2014).

Essa estratégia metodológica possibilita uma abordagem abrangente e integrada, permitindo a obtenção de dados qualitativos e quantitativos ao longo do tempo, o que contribui para uma compreensão mais completa e aprofundada do fenômeno em estudo. A combinação dessas diferentes abordagens metodológicas proporciona uma base sólida para a investigação dos dados coletados e para a interpretação dos resultados obtidos.

Para Silva et al (1997, p. 410) “questionário seria uma forma organizada e previamente estruturada de coletar na população pesquisada informações adicionais e complementares sobre determinado assunto sobre o qual já se detém certo grau de domínio.” Os autores também citam o conceito proposto por Tull (1976) para a pesquisa do tipo survey: “coleta sistemática de

informações a partir dos respondentes com o propósito de compreender e/ou prever alguns aspectos do comportamento da população em estudo” (SILVA et al, 1997, p. 410).

De acordo com Freitas et al. 2000, Os métodos de pesquisa podem ser classificados em duas categorias principais: quantitativos (como o Survey e o experimento) e qualitativos (como o estudo de caso e o focus group). A escolha do método a ser utilizado deve estar alinhada com os objetivos específicos da pesquisa, levando em consideração suas vantagens e desvantagens. Não é obrigatório optar por apenas um método; em muitos casos, é possível combinar diferentes abordagens em um único desenho de pesquisa, criando o que é conhecido como multimétodo.

De acordo com Dalfovo, pg. 4, 2008,

Então, segundo os objetivos são caracterizados em:

- a) descritiva – estando dentro de análises quantitativas e qualitativas, quando há um levantamento de dados e o porquê destes dados;
- b) exploratória – a investigação de algum objeto de estudo que possui poucas informações;
- c) explicativa – informar e explicar a ocorrência de algum fenômeno. Segundo os procedimentos de coleta de uma pesquisa. (Dalfovo, pg. 4, 2008)

No contexto da pesquisa apresentada, adotamos uma abordagem com propósitos distintos, a saber, exploratória e explicativa. A vertente exploratória permitiu-nos examinar perspectivas diversas na revisão bibliográfica, bem como identificar questões ainda não abordadas por pesquisadores anteriores. Com base nas respostas obtidas, direcionamos a investigação para uma perspectiva de aprendizagem significativa de acordo com a teoria de Ausubel, ao mesmo tempo que adotamos uma abordagem explicativa para compreender a distribuição das respostas nos questionários. Desta forma, buscamos compreender o processo de ancoragem dos conteúdos e a forma como a aprendizagem significativa ocorre.

Dessa forma, é possível integrar abordagens qualitativas e quantitativas, utilizando diversas fontes de coleta de dados para obter uma compreensão mais abrangente e completa do fenômeno em estudo. Essa abordagem multidimensional pode enriquecer a pesquisa, proporcionando uma visão mais abrangente e rica do objeto de estudo. De acordo com ABBAGNANO, 1998:

QUALIDADE (...) Qualquer determinação de um objeto (...). A noção de Q. é extensíssima e dificilmente pode ser reduzida a um conceito unitário. Podemos dizer que ela compreende uma família de conceitos que têm em comum a função puramente formal de servir de resposta à pergunta qual?... (ABBAGNANO, 1998, p. 816)

QUANTIDADE (...) Em geral, a possibilidade da medida. Foi esse o conceito emitido por Platão e Aristóteles. Platão afirmou que a Q. está entre o ilimitado e a unidade, e que só ela é o objeto do saber (...) Aristóteles, por sua vez, definiu a Q. como o que é divisível em partes determinadas ou determináveis. Uma Q. numerável é uma pluralidade divisível em partes descontínuas. Uma Q. mensurável é uma grandeza divisível em partes contínuas, em uma, duas ou três dimensões... (ABBAGNANO, 1998b, p. 816)

O estudo teve uma abordagem aplicada, pois consistiu na elaboração de um produto educacional e sua aplicação em uma escola de ensino médio, utilizando uma técnica de material conhecida como UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa), na qual o professor desempenha o papel de mediador entre o produto e o aluno. A escola selecionada para a intervenção e aplicação do produto foi uma instituição de ensino particular que possuía laboratório de informática com disponibilidade de um computador por aluno, possibilitando a utilização do produto de forma adequada.

É importante destacar que a escolha de uma escola particular não inviabiliza a aplicação do produto em escolas públicas, pois, caso não haja laboratório de informática, a atividade pode ser adaptada para ser desenvolvida pelos smartphones dos alunos, uma opção mais viável em escolas públicas que também possibilita o acesso ao conteúdo educacional. O material integrado de maneira digital, como é o caso dos questionários também podem ser impressos e aplicados de maneira plural aos alunos em sala de aula. Os experimentos utilizados nas sequências didáticas são de fácil manuseio e também podem ser feitos em um ambiente que não seja necessariamente um laboratório.

## **5.2 População de estudo e instituição de intervenção**

A utilização do recurso educacional ocorreu na cidade de Rio Branco, situada no Estado do Acre. Conforme informações do último censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), O município possuía 413.418 habitantes, o município abrange uma área de 8.835,7 km<sup>2</sup> com uma densidade demográfica de 46,8 habitantes por km<sup>2</sup>.

Em 2022, a instituição na qual a pesquisa foi realizada era classificada como uma das dez melhores escolas do estado, e contava com laboratórios de informática, física, química e biologia,

bem como salas de desenho onde os alunos tinham acesso direto a computadores e ao laboratório de física.

Ao analisarmos a tabela apresentada, podemos constatar que o contingente total de alunos é de 32, representando 100% da amostra. Desse conjunto, 15 estudantes são do sexo masculino, correspondendo a 46,87% do total, enquanto as alunas representam 17 da amostra, totalizando 53,12%. Em relação à distribuição por faixa etária, observamos que 66,6% dos alunos estão na faixa etária entre 15 e 16 anos, ao passo que 33,3% se encontram na faixa entre 17 e 18 anos. Cabe salientar que tais informações não foram obtidas por meio do questionário empregado nesta pesquisa, mas sim mediante dados providenciados pela secretaria da instituição de ensino, que detém o cadastro dos discentes.

**Tabela 2:** Ilustração da população de estudo por gênero e faixa etária.

<b>Variável</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Porcentagem</b>
<b>Turma única</b>	30	100%
<b>Gênero</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Porcentagem</b>
Masculino	15	46,87%
Feminino	17	53,12%
<b>Idade</b>	<b>Quantidade</b>	<b>Porcentagem</b>
15-16	20	62,5%
17-18	12	37,5%

**Fonte:** Próprio Autor.

O estudo começou a ser realizado entre os meses de maio, junho, julho e agosto de 2022, na turma conforme versa a tabela 2, com alunos do segundo ano do ensino médio. No entanto, apenas 30 responderam ao questionário final. Já na primeira aplicação, 100% da turma estava presente. A aplicação dos dois questionários foi aplicada na lacuna das férias, o primeiro questionário aplicado no dia 30 de maio, pelo professor pesquisador e o professor titular da turma.

Já o segundo questionário aplicado no dia 04 de agosto de 2022, com uma lacuna de tempo de 66 dias.

### **5.3 Desenvolvimento do material curricular e das etapas de aplicação.**

No presente estudo, foi conferida uma atenção minuciosa ao processo de aplicabilidade do produto e ao levantamento de dados em todas as suas etapas. Essa abordagem foi considerada essencial, uma vez que é nessa fase que se realizam análises qualitativas da aprendizagem do aluno, permitindo a comparação entre o teste inicialmente aplicado e os resultados obtidos no teste final. Nesse sentido, destacam-se as seguintes fases do processo:

- I. Na primeira etapa, procedeu-se à construção do produto educacional, compreendendo a análise de como ocorreriam as transposições didáticas no contexto das oficinas de aprendizagem, e como essas transposições seriam relacionadas ao novo conteúdo, alinhadas ao plano pedagógico da disciplina e aos conhecimentos prévios ou subsunçores dos alunos.
- II. O período de aplicação do produto se estendeu entre o segundo e o terceiro bimestre, uma vez que o pós-teste só pôde ser realizado após o retorno das férias do meio do ano.
- III. A aplicação do pré-teste foi planejada para evitar cansaço e intimidação dos alunos em relação aos temas abordados. Assim, o pré-teste foi administrado como o primeiro passo em sala de aula, precedido por uma conversa com os coordenadores pedagógicos e a turma, a fim de explanar a importância e seriedade do trabalho. A aplicação foi programada para durar aproximadamente 50 minutos em cada encontro.
- IV. Durante a aplicação do produto, os temas relacionados à física dos buracos negros foram apresentados e explorados. Em seguida, a sequência didática planejada foi conduzida, envolvendo a resolução de exercícios, debates, exposição de contextos históricos e outras ferramentas de ensino, com o suporte das oficinas de aprendizagem.
- V. Após a aplicação do produto, foi realizado o pós-teste para avaliar a eficácia da intervenção escolar no ensino e aprendizagem de física moderna.
- VI. Para a análise dos dados, os resultados obtidos nas aplicações dos testes foram apresentados por meio de gráficos, a fim de observar possíveis indícios de aprendizagem significativa. O Google Formulários foi utilizado para coletar as respostas dos alunos, e sua ferramenta de envio por e-mail no formato de planilha no Excel facilitou o tratamento dos dados.

**Tabela 3:** Tabela de aplicação do produto educacional e formulários

<b>Cronograma de aplicação</b>	<b>Dias realizados</b>
Aplicação do Pré-Teste	30 de maio de 2022
Aplicação da Sequência didática com uso do produto educacional	30 de maio de 2022 a 17 de junho de 2022.
Aplicação do Pós Teste	04 de agosto de 2022

Fonte: Próprio Autor

A evolução estelar é a mudança que as estrelas fazem ao longo de sua vida, nas suas transformações através das fases em que se encontram. A sequência (Apêndice A), trabalha o ciclo de evolução das estrelas e também conteúdos relacionados com o tema, até chegarmos aos possíveis fins das mesmas.

No final da sequência, os estudantes devem compreender o conceito de estrelas e que elas têm um ciclo de vida, ou seja, elas vivem e “morrem”. Esses conteúdos serão desenvolvidos por meio de explicações acompanhadas de leituras de texto e exibição de imagens e/ou material audiovisual, elaboração e sistematização do conteúdo em esquemas, pesquisa e elaboração de maquete ou vídeo, além da introdução do produto educacional dentro da sequência.

A atividade será desenvolvida em 4 encontros, totalizando, aproximadamente, 8 horas de aplicação da sequência didática.

**Tabela 4:** Evolução dos conteúdos utilizados na sequência didática de acordo com o tempo proposto.

<b>Nº</b>	<b>Temas</b>	<b>Tempo (min.)</b>
01	Introdução a evolução estelar	120 (duas Aulas)
02 e 03	Formação e massas das estrelas	120 (duas aulas)
04 e 05	Anãs brancas, estrelas de nêutron e buracos negros (evolução final)	120 (duas aulas)
06	Aferição dos objetivos de aprendizagem	120 (duas aulas)

Fonte: Próprio Autor

Através do desenvolvimento cuidadoso do material curricular e das etapas de aplicação, é possível alcançar uma abordagem educacional mais abrangente e eficaz. Ao integrar estratégias pedagógicas como a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, o uso de sequências didáticas detalhadas e a incorporação de apresentações de slides que envolvam todos os fatores sensoriais do aluno, é possível promover uma aprendizagem mais significativa e engajadora. A construção de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) e a consideração cuidadosa das diferentes fases do processo, como a aplicação de pré e pós-testes, garantem uma avaliação abrangente do progresso dos alunos. O embasamento teórico e a aplicação prática dessas estratégias, como discutido em nossa conversa, têm o potencial de enriquecer a experiência educacional, tornando-a mais eficiente e alinhada com as necessidades dos alunos. Em síntese, ao unir teoria e prática, o desenvolvimento do material curricular e das etapas de aplicação contribui significativamente para o aprimoramento do ensino e para o avanço do processo de aprendizagem dos estudantes.

#### **5.4 O produto Educacional**

A presente subseção tem como propósito oferecer uma explicação detalhada do produto educacional desenvolvido neste estudo. O referido produto foi concebido com o intuito de proporcionar uma abordagem inovadora no ensino de física moderna, com ênfase na compreensão dos ciclos das estrelas. Por meio dessa explanação, será possível compreender como o material curricular foi estruturado, as estratégias didáticas utilizadas e como ele visa potencializar a aprendizagem dos alunos. Nesse sentido, serão apresentados os elementos que compõem o produto, bem como as etapas de aplicação que foram cuidadosamente planejadas para estimular o envolvimento ativo e significativo dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem.

No decorrer das aulas, a sequência didática seguiu o modelo apresentado na tabela:

**Tabela 5:** Modelo exemplificativo do plano de aula abordado e utilizado na pesquisa.

Pré-Aula	A <i>pré-aula</i> é sempre constituída de uma curiosidade em forma de vídeo ou qualquer outra interação que possa despertar no aluno o interesse pela aula que será aplicada, além de aguçar os subsunçores para o momento da aula.
Aula	A <i>aula</i> é o momento de ancorar os novos conteúdos ao que o aluno apresentou como subsunçor; é o desenvolvimento da aula a partir do tema que está sendo proposto.
Mão na Massa	Já o “Mão na Massa”, é o momento que o aluno desenvolve uma atividade para fixação do conteúdo recém apresentado. Podendo ser exercícios de fixação, uso de simuladores, ou softwares e experimentos.
Fechamento da aula	Por fim, o fechamento da aula é um modo de recapitular tudo que foi visto até aquele presente momento, como uma cola para fixação do conteúdo ancorado ao subsunçor do aluno. Por conseguinte, o Pós-Aula, é a revisão de maneira lúdica, para dar a garantia que os alunos irão rever o conteúdo apresentado naquela aula em casa.
Pós -Aula.	O pós-aula pode ser as vezes o reuso da pré-aula, agora sob uma nova óptica do conhecimento do conteúdo, como pode ser um complemento ou curiosidade aquém do uso do material e conteúdo usado em sala de aula. A estratégia é que os alunos visualizem aquele conteúdo proposto novamente em um novo momento antes de novos conteúdos da próxima aula.

**Fonte:** Próprio Autor

A utilização das sequências didáticas de maneira detalhada desempenha um papel fundamental no processo de ensino e aprendizagem. Ao estruturar o planejamento pedagógico de forma sequencial e minuciosa, os educadores podem oferecer aos estudantes uma experiência educacional mais significativa e eficaz.

As sequências didáticas detalhadas permitem uma abordagem cuidadosamente planejada, proporcionando uma progressão lógica e coerente de conteúdos, atividades e avaliações. Isso permite que os alunos desenvolvam habilidades, conhecimentos e competências de forma progressiva, construindo uma base sólida para o aprendizado futuro. Além disso, a abordagem

detalhada das sequências didáticas permite que os educadores identifiquem e atendam às necessidades individuais dos alunos, oferecendo suporte adequado e ajustando o ritmo de ensino conforme necessário. De acordo com Franco, 2018.

Por meio da sequência didática, o docente que tenha fragilidade em algum conhecimento pode ter a oportunidade de adquiri-lo enquanto se prepara para lecionar tal tema. A sequência didática vem como uma sugestão da ação pedagógica. A todo momento, o docente pode intervir para a melhoria no processo ensino e aprendizagem, oportunizando situações para que o educando assuma uma postura reflexiva e se torne sujeito do processo de ensino e aprendizagem. (FRANCO, p. 153, 2018).

Ao incorporar as sequências didáticas detalhadas em sua prática pedagógica, os educadores têm a oportunidade de promover a motivação dos alunos, tornando o processo de aprendizagem mais envolvente, eficiente e enriquecedor.

Dada a primeira aplicação, disponibilizou-se as sequências didáticas para a coordenação escolar validar junto ao professor regente da turma de física, de maneira a estar dentro dos padrões e normas requisitadas pela escola para o bom desenvolvimento dos momentos de estudos dos alunos em sala de aula. Uma vez aprovada seguimos com as aplicações, conforme versam as tabelas abaixo:

**Tabela 6:** Desenvolvimento e aplicação da primeira sequência didática apresentada.

Primeira aula (120 min)
PRÉ-AULA: Os alunos deverão acessar o formulário disponível no google forms, para levantamento dos subsunçores.
AULA: O professor contará com alguns recursos de imagens e vídeos para mostrar aos alunos, sem contar qual será o conteúdo abordado, na ideia de gerar uma expectativa pelo conteúdo que será apresentado. A ideia é despertar a curiosidade e aguçar os subsunçores levantados na aplicação do pré-teste. Logo depois, começará uma exposição dialogada sobre o que eles viram, e com essa conversa, determinar de maneira intrínseca os conhecimentos prévios dos alunos.
MÃO NA MASSA: Um desafio para que os alunos em uma folha em branco, desenhem, sem pesquisar, como eles acham que é o ciclo de vida de uma estrela. E na sequência trocarem os desenhos com outros colegas para a comparação entre os alunos e suas percepções.
FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com uma exposição dialogada revisada a respeito dos conteúdos que foram abordados no primeiro encontro. Com uma pequena abertura para que os alunos falem sobre a experiência de responderem ao pré-teste.
PÓS-AULA: Como pós-aula os alunos deverão assistir a qualquer vídeo de seu interesse no <i>you tube</i> que fale a respeito do ciclo de uma estrela até que ela se torne um buraco negro.

**Fonte:** Próprio Autor

Os desenhos dos ciclos estelares representam uma forma visualmente atrativa e intuitiva de apresentar as diversas etapas evolutivas das estrelas, desde a sua formação até o seu término. Ao incorporar essas representações gráficas nas aulas, os educadores podem proporcionar aos estudantes uma compreensão mais profunda e significativa dos fenômenos astrofísicos envolvidos.

Além disso, ao participarem ativamente do processo de criação dos desenhos dos ciclos estelares, os alunos têm a oportunidade de construir e consolidar seus conhecimentos por meio do levantamento dos subsunçores, ou seja, a identificação e associação dos novos conceitos aos conhecimentos prévios já existentes. Assim, os desenhos dos ciclos estelares desempenham um

papel crucial no enriquecimento da aprendizagem e no desenvolvimento da compreensão conceitual em física moderna. De acordo com Da Silva, 2021.

A utilização dessas atividades de aprendizagem, trabalhando a parte cognitiva e persuasiva dos alunos, contribui para uma aprendizagem mais eficiente. Através da confecção dos mapas mentais, aquele conteúdo antes chamado de “inacessível”, geralmente apresentado pelo método tradicional de ensino, passa a despertar maior interesse, dado que, além de tirar aquele acúmulo de conteúdos abordado, cria-se, também, uma facilidade, pela simples organização de ideias, como também a produção de desenhos, imagens, entre outros, em uma simples folha, estimulando a sua criatividade. Ao produzir o mapa mental, a facilidade é tamanha que conceitua até um assunto mais complexo – a percepção que este se torna mais fácil após uma organização de ideias. (DA SILVA, p. 4, 2021)

Infelizmente durante a aplicação não se conseguiu realizar as fotografias dos desenhos das estrelas feitas pelos alunos, pois os mesmos permaneceram em seus cadernos para as posteriores anotações que surgissem no formato da aula, e para que então os mesmos pudessem reformular seus próprios desenhos de acordo com o desenvolvimento da sequência. Abaixo registramos na Figura 10, o momento em que os alunos se apresentam concentrados nos desenhos proposto pelo *Mão na Massa*.

**Figura 10:** População de estudo no momento de enriquecimento dos subsunçores para o discorrer da sequência didática.



**Fonte:** Próprio Autor

**Tabela 7:** 2ª Sequência didática utilizada no segundo encontro juntamente com a população de estudo.

Segunda e Terceira aula (120 min)
PRÉ-AULA: Assistir ao vídeo no Youtube sobre Formação e Massas das estrelas. Disponível no Link: <a href="https://youtu.be/ZMKjm41mwJk">https://youtu.be/ZMKjm41mwJk</a>
<p>AULA: Iniciaremos a aula com uma pequena revisão sobre o que foi feito e as conclusões que os alunos chegaram na última aula, na tentativa de revisar o conteúdo exposto, criando assim uma ponte com o conteúdo que será apresentado nessa aula. Questionar-se-á ao aluno se depois da execução dos pós aula e da pré-aula de hoje, os alunos conseguiram ver muita diferença do desenho que foi feito com a sua nova percepção sobre o nascimento das estrelas. Anunciando que pela primeira vez, os alunos verão a simulação de um buraco negro. E que este por sua vez será apresentado na próxima aula.</p> <p>Após isso, o professor se utilizará de uma apresentação do powerpoint de maneira lúdica e com muitas imagens para tentar trazer do abstrato as percepções acerca do universo, para que assim os alunos usem da visão para aguçar a sua curiosidade, como previsto no escopo teórico da TAS.</p>
MÃO NA MASSA: Para essa aula os alunos deverão construir um mapa mental em papel de fichamento, dessa vez com a nova percepção sobre a evolução das estrelas.
FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com uma exposição dialogada com os alunos sobre o tema, fazendo uma revisão sobre o que foi abordado na aula de hoje, e sobre as evoluções dos desenhos para os planos de aula.
PÓS-AULA: Postar uma foto dos seus mapas mentais nas redes sociais.

**Fonte:** Próprio Autor

**Figura 11:** Exposição dialogada com uso de apresentação do Power Point para apresentação dos conteúdos



**Fonte:** Próprio Autor

As apresentações de slides têm se mostrado uma ferramenta pedagógica valiosa no ensino de física, uma vez que permitem o uso de todos os fatores sensoriais do aluno para a construção do conhecimento. Ao combinar elementos visuais, auditivos e, em alguns casos, táteis, as apresentações de slides proporcionam uma experiência de aprendizagem mais rica e significativa. Através de imagens, gráficos, animações e vídeos, os conceitos abstratos da física podem ser ilustrados e visualizados de forma concreta, tornando-os mais compreensíveis para os estudantes. Além disso, o uso de elementos sonoros, como narração ou música de fundo, pode estimular a audição dos alunos e reforçar a assimilação dos conteúdos. Ao incorporar todos esses fatores sensoriais nas apresentações de slides, os educadores podem engajar os alunos de maneira mais efetiva, promovendo uma aprendizagem mais profunda e duradoura.

O uso de mapas mentais revela-se de extrema importância no contexto educacional, pois permite a aplicação das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) e a promoção da aprendizagem significativa. Essa ferramenta gráfica e visual facilita a organização e conexão dos conteúdos, possibilitando aos alunos a construção de relações entre ideias e conceitos, bem como a identificação de padrões e estruturas relevantes.

Através dos mapas mentais, os estudantes são incentivados a relacionar novos conhecimentos com suas experiências prévias, fomentando a criação de significados pessoais e a

ancoragem dos conteúdos em suas estruturas cognitivas. Dessa forma, o uso de mapas mentais alinha-se perfeitamente com a abordagem da aprendizagem significativa de Ausubel, proporcionando um ambiente propício para a compreensão profunda e duradoura dos conteúdos, além de potencializar a construção de conhecimento com base na estrutura de conhecimentos prévios dos alunos.

O uso de mapas mentais também está intimamente relacionado aos subsunçores no processo de aprendizagem. Os subsunçores são os conhecimentos prévios ou conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno. Ao elaborar e utilizar mapas mentais, os estudantes têm a oportunidade de identificar seus subsunçores relevantes e, assim, conectar os novos conteúdos a esse conhecimento prévio. De acordo com Saraiva, 2017

Com esta ideia, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) proposta por David Ausubel vai se concretizando quando o conteúdo apresentado pelo professor passa a se conectar ao que o discente já conhece, favorecendo um conceito relevante, promovendo uma facilidade na aquisição deste conhecimento, considerando todos os fatores que rondam a sala de aula e que possam influenciar na qualidade da aprendizagem. (SARAIVA, et all, 2017).

Ao fazer essas conexões significativas, os mapas mentais atuam como um mecanismo que ajuda a consolidar e expandir os subsunçores existentes, construindo uma rede de informações mais elaborada e abrangente. Dessa forma, os mapas mentais permitem que os subsunçores sejam ativados e integrados ao processo de aprendizagem, contribuindo para uma compreensão mais profunda e significativa dos conceitos apresentados. A interação entre os mapas mentais e os subsunçores potencializa a aprendizagem, tornando-a mais personalizada, envolvente e efetiva.

**Figura 12:** Explicação dialogada a respeito de como acontece os processos de difusão de uma estrela e quais os seus possíveis fins



**Fonte:** Próprio Autor

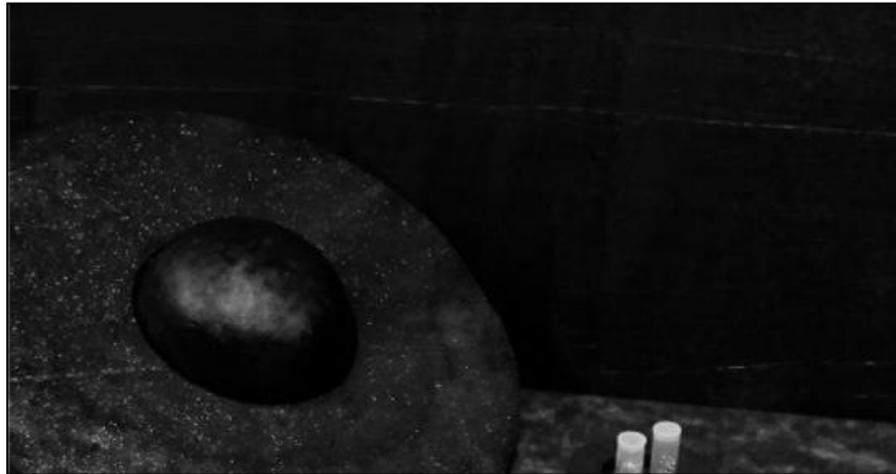
**Tabela 8:** 3ª Sequência didática utilizada no segundo encontro juntamente com a população de estudo.

Quarta e Quinta aula (120 min)
PRÉ-AULA: Assistir ao vídeo no Youtube sobre Evolução Estelar. Disponível no Link: <a href="https://youtu.be/n6ju2MLxIUI">https://youtu.be/n6ju2MLxIUI</a>
AULA: Iniciaremos a aula perguntando aos alunos quantas bilhões de estrelas eles acreditam que exista no nosso sistema solar, a ideia é trazer a reflexão de que o nosso sistema solar tem apenas uma estrela, o SOL.
MÃO NA MASSA: Nessa aula os alunos receberão isopor, tinta guache e pincéis, e deverão construir uma protótipo de um buraco negro tridimensional.
FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com a aplicação do produto educacional, o protótipo que simulará a execução do buraco negro. Faremos um link de informação de como uma nuvem em contração pode vir a se tornar uma anã branca e como pode se tornar um buraco negro.

**PÓS-AULA:** Os alunos deverão escrever um pequeno texto de no mínimo 10 linhas de como eles imaginam ser o interior de um buraco negro, e se é possível viajar a uma outra dimensão através dele, como preveem muitas ficções científicas no ramo cinematográfico.

**Fonte:** Próprio Autor

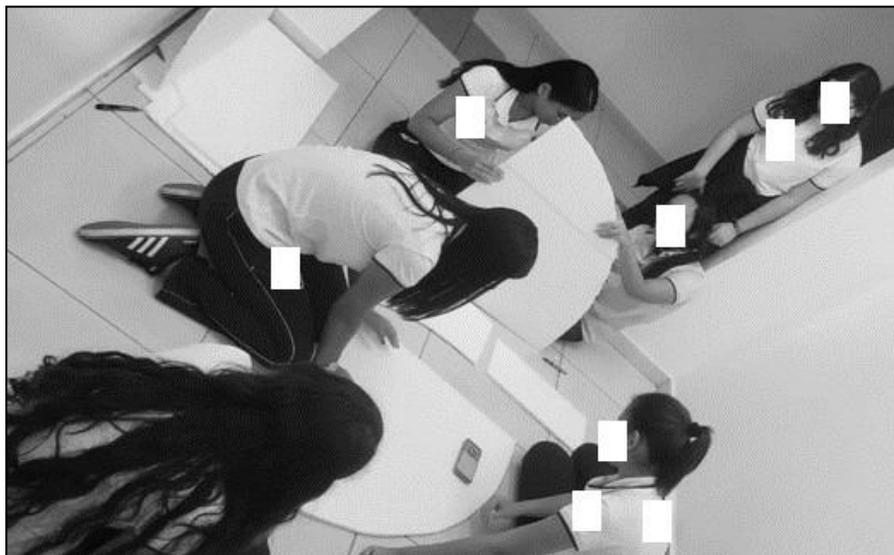
**Figura 13:** Maquete feita pelos alunos com folhas de isopor e afins para demonstração de um buraco negro tridimensional



**Fonte:** Próprio Autor

As maquetes feitas de isopor se destacam como uma ferramenta altamente benéfica na simulação de estrelas e buracos negros no contexto do ensino de física moderna. Essas representações tridimensionais proporcionam uma abordagem tangível e visualmente atrativa para apresentar conceitos complexos e abstratos do universo astrofísico.

**Figura 14:** Alunos durante a execução do Mão na massa, construindo uma exemplificação de um buraco negro tridimensional.



**Fonte:** Próprio Autor

Através das maquetes, os estudantes podem visualizar de forma concreta as características das estrelas, como sua formação, evolução e fenômenos associados, bem como compreender a estrutura e os efeitos dos buracos negros.

A natureza tátil das maquetes permite que os alunos explorem e interajam com os modelos, favorecendo a compreensão conceitual por meio da aprendizagem experiencial. Além disso, as maquetes de isopor podem ser facilmente adaptadas e personalizadas, tornando-se uma ferramenta versátil e flexível para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem. Ao utilizar maquetes de isopor para simulação de estrelas e buracos negros, os educadores criam uma experiência educativa mais imersiva, que estimula o interesse, a curiosidade e o engajamento dos alunos, resultando em uma aprendizagem mais significativa e duradoura.

O uso de experimentos para exemplificar os buracos negros representa uma estratégia valiosa no ensino de física moderna. Ao proporcionar uma abordagem prática e concreta, os experimentos permitem que os alunos vivenciem, de forma controlada e segura, fenômenos relacionados aos buracos negros. Através dessas atividades experimentais, os estudantes podem observar e analisar as propriedades singulares desses objetos astronômicos, compreendendo conceitos como a curvatura do espaço-tempo, a singularidade e o horizonte de eventos. Além disso, os experimentos permitem que os alunos explorem as implicações da teoria da relatividade geral de Einstein e sua relação com os buracos negros. Dessa forma, ao utilizar experimentos para

exemplificar os buracos negros, os educadores enriquecem a experiência educacional, estimulando o pensamento crítico, a curiosidade científica e o interesse pela física moderna. Essa abordagem prática e interativa promove uma aprendizagem mais significativa e estimula os alunos a desenvolverem uma compreensão mais profunda e conceitualmente sólida sobre esse intrigante fenômeno cósmico.

**Figura 15:** Momento da experiência onde os alunos simulam o funcionamento de um vórtice de buraco negro usando materiais de baixo custo



**Fonte:** Próprio Autor

**Figura 16:** Momento de tira dúvidas e produção com professor regente da sala, atuante de maneira direta na aplicação do produto.



**Fonte:** Próprio Autor

**Tabela 9:** 4ª sequências didáticas utilizada no segundo encontro juntamente com a população de estudo.

Sexta Aula (120 min)
PRÉ-AULA: Os alunos deverão revisar os conteúdos abordados na aplicação da oficina para realização do pós-teste.
AULA: A aula será a aplicação do pós-teste, que será o mesmo formulário de aplicação do pré-teste, todavia os alunos só descobrirão isso no momento de realização do teste. Para tanto, utilizaremos o laboratório de informática da instituição.
MÃO NA MASSA: Resolução do pós-teste.
FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com uma revisão dialogada de todo conteúdo proposto até aqui, e com os agradecimentos aos alunos por participarem da pesquisa.
PÓS-AULA: Não há pós aula previsto para esse dia, dado o término de aplicação da sequência didática.

**Fonte:** Próprio Autor

A aplicação de um formulário pós-teste é de extrema importância para medir a aprendizagem significativa no processo educacional. Esse instrumento de avaliação permite que os educadores avaliem o nível de compreensão e retenção dos conteúdos pelos alunos após a intervenção pedagógica. Ao comparar os resultados obtidos no pós-teste com os dados do pré-teste, é possível identificar o progresso individual e coletivo dos estudantes, bem como analisar a eficácia das estratégias de ensino adotadas.

Além disso, o pós-teste é uma ferramenta valiosa para verificar se os conhecimentos foram realmente internalizados e se houve a construção de significados pessoais em relação aos conceitos abordados. Através desse feedback, os educadores podem ajustar suas abordagens pedagógicas, oferecendo suporte adicional aos alunos que ainda necessitam de reforço e aprimorando o planejamento para futuras intervenções educacionais. Em suma, a aplicação de um formulário pós-teste é fundamental para mensurar a aprendizagem significativa, garantindo uma avaliação mais abrangente e embasada do processo educacional.

## 6. Resultados e discussões

Nesta pesquisa optar-se-á por uma metodologia que envolva o levantamento de conhecimentos prévios, o uso de materiais potencialmente significativos e a busca de evidências da ocorrência de aprendizagem significativa. Para isso, a pesquisa contará com a participação efetiva do pesquisador junto à população pesquisada, buscando esclarecer o processo de ensino estudado, descrevendo suas características e estabelecendo conexão entre as variáveis conforme orientações do referencial teórico adotado. Os dados obtidos serão analisados de forma qualitativa e quantitativa, que apresentaremos no Capítulo **RESULTADOS E DISCURSÕES**.

**Figura 17:** Análise gráfica da primeira questão, da aplicação do primeiro formulário. Sob a ótica da questão: Em que fase as estrelas passam a maior parte do seu tempo?



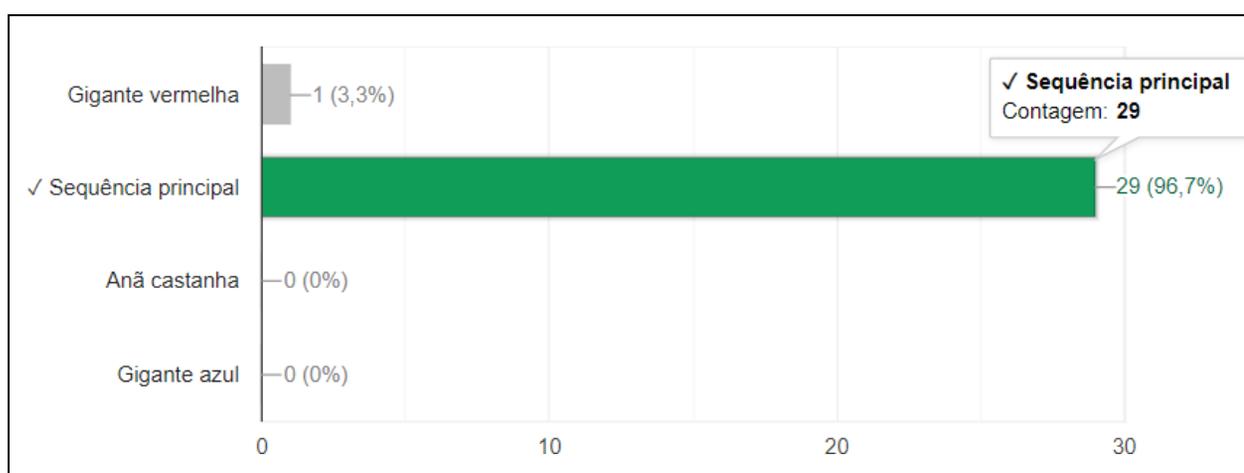
Fonte: Próprio Autor

A dificuldade inicial na assimilação dos subsunçores, evidenciada pela confusão na resposta relacionada à fase da estrela gigante vermelha, pode ser atribuída a diversos fatores interligados. Primeiramente, a complexidade conceitual da física moderna, especialmente quando se trata de fenômenos astronômicos, pode criar desafios para os alunos, visto que tais conceitos não têm correspondência direta com experiências cotidianas. Além disso, a falta de familiaridade prévia com termos técnicos ou a ausência de uma estrutura de conhecimento sólida sobre as etapas

evolutivas das estrelas pode ter dificultado a assimilação dos subsunçores necessários para compreender adequadamente a questão. Adicionalmente, a ausência de estratégias pedagógicas que promovessem a ancoragem dos novos conceitos a conhecimentos prévios, pode ter contribuído para a confusão e a resposta equivocada.

Para minimizar essas dificuldades e melhorar a assimilação dos subsunçores, torna-se crucial a implementação de abordagens pedagógicas que incentivem a construção gradual do conhecimento, com ênfase na relação entre novos conteúdos e conhecimentos preexistentes dos alunos. A aplicação do material curricular revisado, estruturado para promover a aprendizagem significativa e a compreensão dos subsunçores, desempenha um papel vital na correção dessas lacunas e na melhoria da resposta dos alunos ao questionário.

**Figura 18:** Análise gráfica da primeira questão, da aplicação do segundo formulário. Sob a ótica da questão: Em que fase as estrelas passam a maior parte do seu tempo?



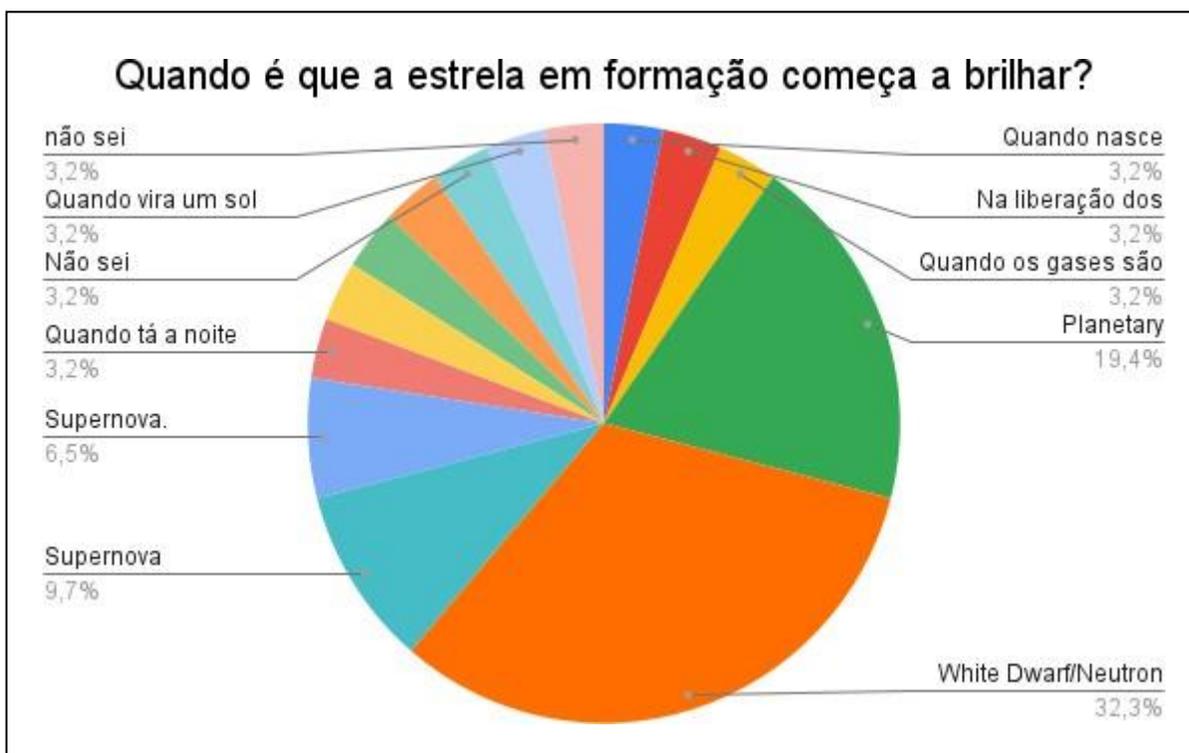
**Fonte:** Próprio Autor

A observação de uma melhoria substancial na resposta dos alunos após a segunda aplicação do questionário sobre a fase em que a estrela passa a maior parte do seu tempo evidencia a utilidade e o potencial significativo do material aplicado. O progresso observado sugere que o material curricular, estruturado de maneira cuidadosa e alinhado às teorias da aprendizagem significativa, desempenhou um papel fundamental na consolidação e ampliação do conhecimento dos alunos.

Através do material, os alunos foram expostos a abordagens pedagógicas que estimularam uma compreensão mais profunda do conteúdo, possibilitando-lhes criar conexões entre seus conhecimentos prévios e os novos conceitos apresentados. A interação com o material, seja por meio de sequências didáticas, apresentações de slides ou experimentos, proporcionou uma experiência de aprendizado mais envolvente e ativa, favorecendo a retenção e a aplicação dos conceitos durante a segunda aplicação do questionário.

Esse resultado reforça a importância de um planejamento pedagógico embasado e estratégico, bem como a relevância de materiais educativos que incentivem a aprendizagem significativa e a consolidação dos subsunçores.

**Figura 19:** Questão 2 do formulário inicial aplicado, sob a ótica da pergunta: Quando uma estrela começa a brilhar?



**Fonte:** Próprio Autor

Nessa questão verifica-se que além de os alunos utilizarem termos como “não sei” ou ainda respostas inexatas como “supernova”, verifica-se que há uma tendência em reproduzir o desconhecido, uma vez que a maior parte do gráfico na cor laranja, representa uma palavra em inglês contida na Figura 19, da questão 2. A tentativa do acerto nesse caso conduziu os alunos ao

erro, uma vez que não conseguiram assimilar de maneira congruente o que se estava sendo questionado.

**Figura 20:** Respostas tabuladas de alunos referente ao início do brilho nas estrelas, de acordo com a aplicação do segundo questionário.

<b>Aluno A</b>	Quando começa as reações termonucleares, gerando um novo elemento
<b>Aluno B</b>	Com o início das reações termonucleares
<b>Aluno C</b>	Quando as condições térmicas atingem um ponto crítico, uma gigantesca esfera de gás começa a irradiar luz, enquanto o hidrogênio entra em processo de combustão. Esse fenômeno é conhecido como fusão nuclear e resulta na liberação de uma quantidade significativa de energia. Essa série de eventos marca o início do ciclo de vida de uma estrela.
<b>Aluno D</b>	Quando atinge altas temperaturas, e iniciam as reações termonucleares.
<b>Aluno E</b>	Quando ela nasce
<b>Aluno F</b>	Com o início das reações termonucleares
<b>Aluno G</b>	Quando os gases são liberados

**Fonte:** Próprio Autor

A melhoria notável nas respostas dos alunos à pergunta sobre quando uma estrela começa a brilhar reflete diretamente no impacto do material aplicado, que organizou os subsunçores de maneira eficaz e forneceu as informações necessárias para as respostas no segundo questionário. Na primeira aplicação, a falta de organização dos subsunçores e a falta de uma estrutura sólida de conhecimento provavelmente contribuíram para respostas confusas e imprecisas.

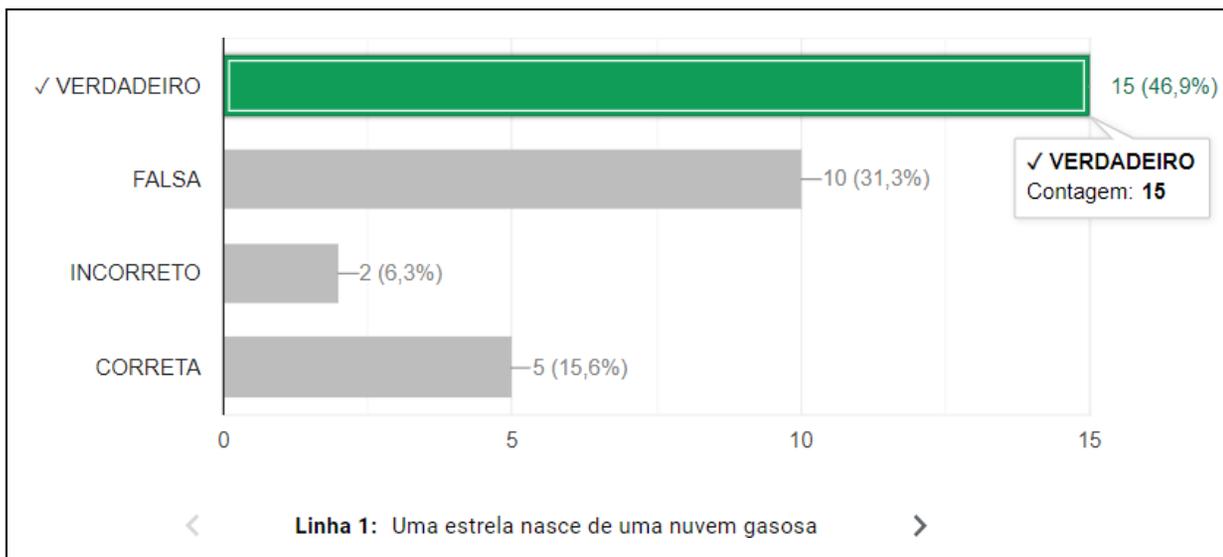
No entanto, com a utilização do material curricular revisado, que incorporou abordagens pedagógicas alinhadas à aprendizagem significativa, os alunos foram expostos a uma compreensão mais clara e bem estruturada dos conceitos. Ao estabelecer conexões entre os subsunçores existentes e os novos conhecimentos apresentados, o material permitiu que os alunos formassem

uma compreensão mais completa das etapas evolutivas das estrelas, facilitando assim a resposta à pergunta sobre o início do brilho estelar.

Esse resultado ressalta a importância de um planejamento pedagógico cuidadoso e de materiais educativos eficazes na promoção de uma aprendizagem mais significativa e na consolidação dos subsunçores, refletindo-se diretamente na melhoria da performance dos alunos nas avaliações subsequentes.

Nas questões seguintes os alunos precisavam fazer uma relação entre verdadeiro ou falso, correto e incorreto, mesmo que inicialmente isso pareça redundante tanto quanto o verdadeiro está para o correto, a ideia era mostrar aos alunos que opções diversificadas entre a resposta certa e errada não deve colocar em dúvidas o que aluno de fato sabe.

**Figura 21:** Análise de verdadeiro e falso, correto ou incorreto sob a perspectiva da afirmação: Uma estrela nasce em uma nuvem gasosa.



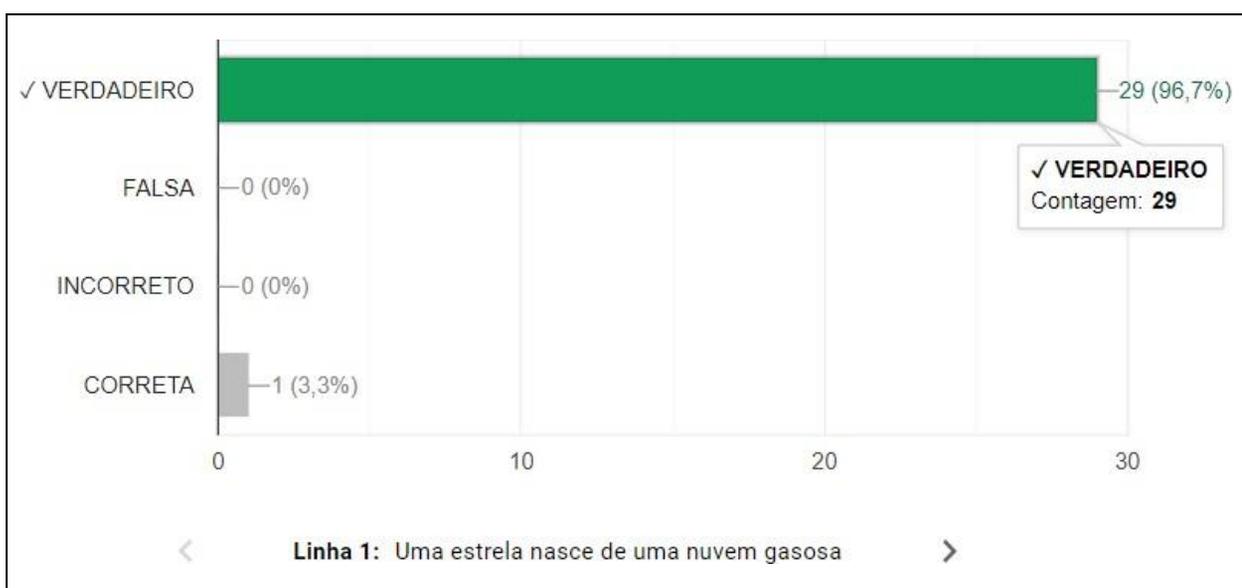
**Fonte:** Próprio Autor

Aqui verificamos que há uma boa quantidade de alunos que entendem a formação inicial de uma estrela a partir de uma nuvem gasosa. Não se pode inferir que durante a aplicação de um produto educacional os resultados saltem de ruim para bom apenas devido a implementação do material. Por vezes os alunos saberão de coisas específicas, sejam por matérias usados pelo

professor regente da turma ou ainda por outros conceitos que foram aprendidos de maneira significativa no decorrer de sua formação acadêmica.

Todavia, quando paramos para analisar o resultado da segunda aplicação percebemos que há uma melhora ainda mais substancial para a resposta correta, ou seja, o produto educacional conseguiu alcançar uma parcela da população de estudo que ainda não havia conseguido assimilar de maneira correta essa afirmação.

**Figura 22:** Resultado da segunda aplicação concernente ao nascimento das estrelas em meios de nuvens gasosas.



**Fonte:** Próprio Autor

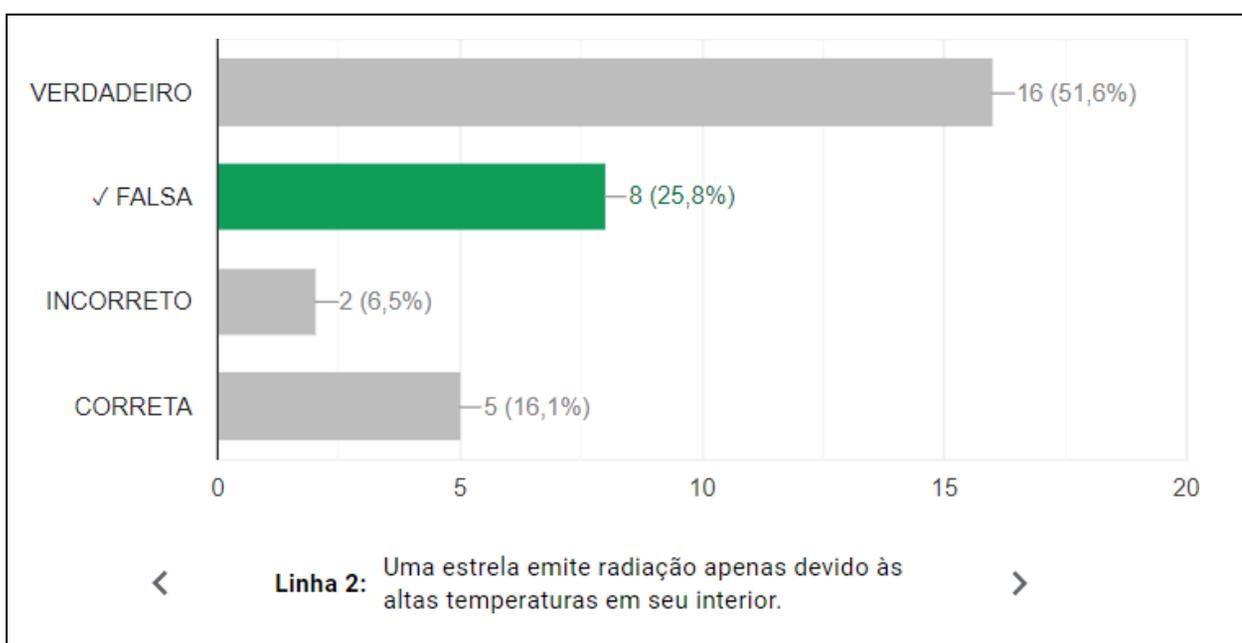
O alcance do produto educacional vai além da mera melhoria da performance dos alunos nas avaliações, mesmo quando estes já demonstraram acertos significativos durante a primeira aplicação. Isso se fundamenta na premissa da aprendizagem significativa, que vai além da memorização superficial e promove uma compreensão profunda dos conceitos. Mesmo quando os alunos inicialmente acertam questões, o produto educacional pode fornecer uma oportunidade para fortalecer a ancoragem dos subsunçores e promover uma compreensão mais completa e interconectada do conteúdo.

O material aplicado, ao estimular a reflexão e a aplicação dos conceitos em contextos diversos, incentiva os alunos a explorarem relações conceituais mais amplas e a construir significados mais elaborados. O alcance do produto educacional se manifesta na consolidação do

conhecimento a longo prazo, na capacidade dos alunos de aplicar conceitos em situações reais e na promoção de habilidades analíticas e de resolução de problemas.

Portanto, o valor do produto educacional reside não apenas em corrigir lacunas de conhecimento, mas em enriquecer a compreensão dos alunos de maneira duradoura e significativa, moldando sua abordagem à aprendizagem e sua visão crítica do mundo ao redor.

**Figura 23:** Análise de afirmativa, verdadeiro ou falso, correto ou incorreto para a sentença: Uma estrela emite radiação apenas devido às altas temperaturas em seu interior.

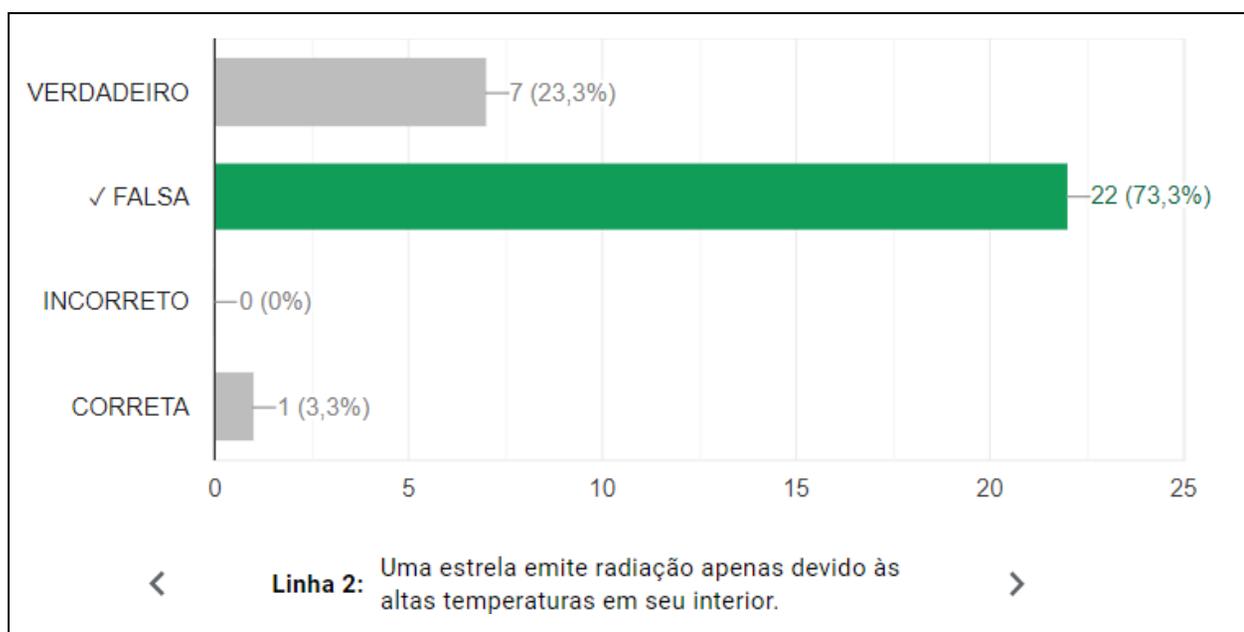


Fonte: Próprio Autor

A sentença "Uma estrela emite radiação apenas devido às altas temperaturas em seu interior." apresenta uma simplificação do fenômeno da emissão de radiação pelas estrelas. Embora a temperatura seja um fator fundamental na geração de radiação, essa afirmação ignora outros processos físicos envolvidos na emissão de luz estelar, como a fusão nuclear no núcleo estelar. A temperatura elevada é um requisito para iniciar os processos de fusão nuclear, que resultam na liberação de energia radiante. No entanto, a emissão de radiação estelar também depende da composição química, da densidade, do tamanho da estrela e da complexa interação entre pressão, temperatura e reações nucleares.

Quanto ao erro da população de estudo nessa questão, pode ter sido influenciado pela tendência a simplificar conceitos complexos, o que pode ocorrer quando se busca uma resposta mais direta e simples. Além disso, a falta de conhecimento prévio sobre os processos físicos envolvidos na emissão de radiação estelar e a influência de informações imprecisas ou simplificadas de fontes não confiáveis podem ter contribuído para a resposta equivocada. Também é possível que os alunos tenham interpretado a pergunta de maneira restritiva, considerando apenas a temperatura como fator isolado para a emissão de radiação, sem considerar os aspectos mais abrangentes. Essa situação reforça a importância de abordagens pedagógicas que promovam a compreensão profunda e significativa dos conceitos, incentivando os alunos a relacionarem e aplicarem seus conhecimentos prévios de maneira mais abrangente e precisa

**Figura 24:** Resultado da segunda aplicação do questionário sob a óptica da sentença exploratória: Uma estrela emite radiação apenas devido às altas temperaturas em seu interior.



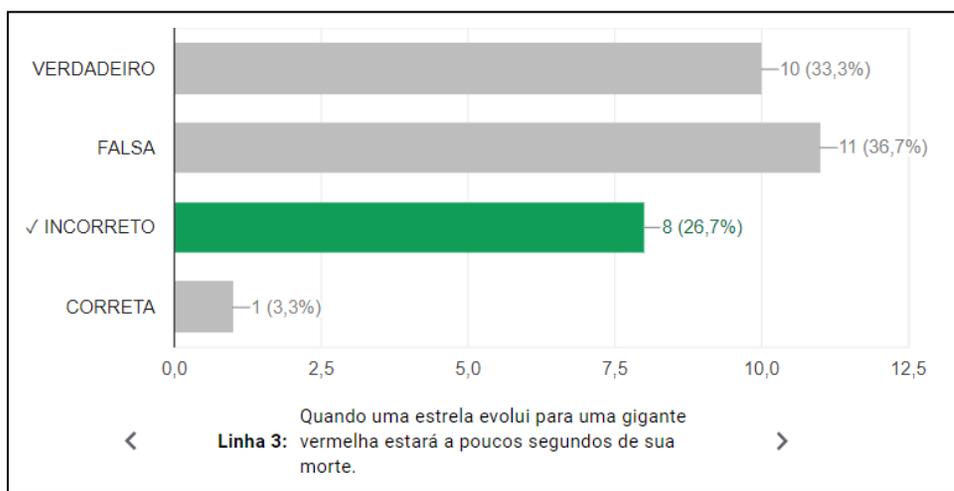
**Fonte:** Próprio Autor

A melhoria nas respostas dos alunos após a segunda aplicação do questionário pode ser atribuída a diversos fatores científicos e educacionais. Primeiramente, a aplicação do material curricular revisado, que incorporou estratégias pedagógicas alinhadas à aprendizagem significativa, pode ter fornecido uma abordagem mais clara e abrangente sobre o tema. A exploração aprofundada das complexas relações entre temperatura, processos de fusão nuclear e emissão de radiação nas estrelas, presente no material, pode ter ajudado os alunos a compreenderem

a natureza multifacetada do fenômeno. Além disso, a aplicação de sequências didáticas, experimentos práticos, apresentações de slides e outros recursos interativos pode ter permitido uma compreensão mais envolvente e concreta dos conceitos, facilitando a associação entre conhecimentos prévios e novas informações.

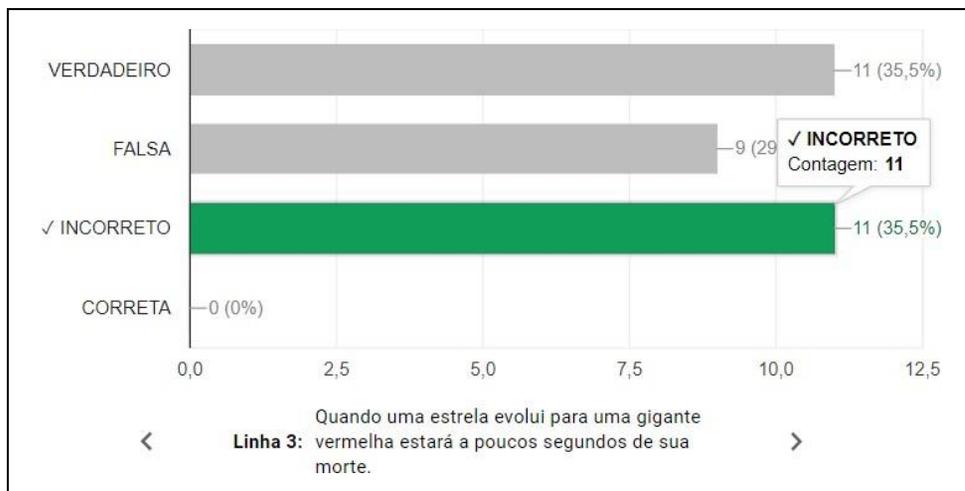
Um outro exemplo disso pode ser dado diante da próxima afirmativa, conforme sugere a imagem abaixo:

**Figura 25:** Análise gráfica da afirmativa, verdadeiro ou falso, correto ou incorreto sob a óptica da afirmativa: Quando uma estrela evolui para uma gigante vermelha estará a poucos segundos de sua morte. 1ª aplicação.



**Fonte:** Próprio Autor

**Figura 26:** Análise gráfica da afirmativa, verdadeiro ou falso, correto ou incorreto sob a óptica da afirmativa: Quando uma estrela evolui para uma gigante vermelha estará a poucos segundos de sua morte. 1ª aplicação.



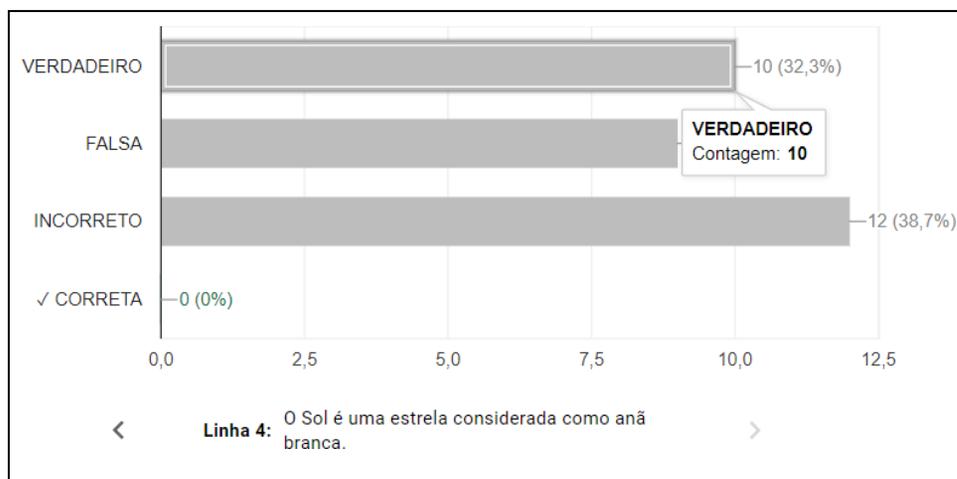
**Fonte:** Próprio Autor

A melhoria na quantidade de acertos na segunda aplicação do questionário, considerando a afirmativa "Quando uma estrela evolui para uma gigante vermelha estará a poucos segundos de sua morte", pode ser elucidada por uma compreensão mais aprofundada da evolução estelar e pela correção de concepções simplificadas ou imprecisas. A primeira aplicação pode ter sido influenciada por uma interpretação superficial da evolução estelar, onde os alunos podem ter associado a fase de gigante vermelha à proximidade da morte estelar sem considerar os processos complexos que ocorrem durante essa fase.

A intervenção pedagógica pode ter fornecido informações mais detalhadas sobre a evolução estelar, destacando que a fase de gigante vermelha faz parte de um ciclo evolutivo e não necessariamente indica a iminência da morte. Os alunos podem ter compreendido que a fase de gigante vermelha é um estágio intermediário no ciclo de vida de algumas estrelas, onde processos nucleares ocorrem e a estrela pode continuar a evoluir por milhões de anos antes de entrar em uma fase mais avançada de morte estelar.

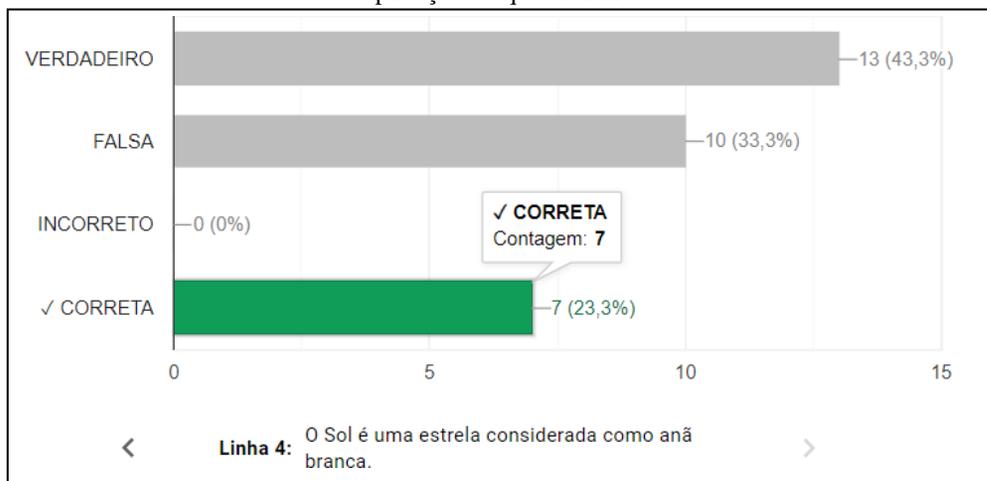
A aplicação de sequências didáticas, exemplos concretos e a contextualização das informações dentro do ciclo evolutivo estelar podem ter contribuído para uma compreensão mais precisa e completa do tema, resultando em uma maior quantidade de acertos na segunda aplicação do questionário. Essa melhoria reflete a eficácia do material e da abordagem pedagógica em promover uma aprendizagem mais abrangente e significativa, alinhada aos princípios da educação baseada na aprendizagem profunda e contextualizada.

**Figura 27:** Análise de verdadeiro ou falso sob a óptica da afirmação: O sol é considerado como uma Anã Branca. 1ª aplicação do questionário.



Fonte: Próprio Autor

**Figura 28:** Análise de verdadeiro ou falso sob a óptica da afirmação: O sol é considerado como uma Anã Branca. 2ª aplicação do questionário.



**Fonte:** Próprio Autor

Do ponto de vista físico, o Sol é uma estrela de sequência principal, uma fase intermediária de sua evolução, em que a fusão nuclear de hidrogênio em hélio ocorre no núcleo, gerando energia e luminosidade constantes. A associação incorreta com uma anã branca provavelmente decorre da falta de clareza quanto às características e estágios evolutivos das estrelas. A intervenção pedagógica pode ter esclarecido esses conceitos, destacando que o Sol ainda tem um longo caminho a percorrer em seu ciclo evolutivo antes de se tornar uma anã branca. A aplicação de exemplos, analogias claras e a contextualização do conhecimento astronômico podem ter sido fatores contribuintes para a correção dessa concepção errônea. A melhoria nas respostas após a intervenção reflete a eficácia do processo educacional em proporcionar uma compreensão mais profunda e precisa da física estelar, reforçando a importância de abordagens pedagógicas contextualizadas e alinhadas aos princípios da aprendizagem significativa.

**Figura 29:** Questão retirada do formulário para que os alunos expliquem de forma resumida a evolução estelar. 1ª aplicação.

<b>Aluno A</b>	Elas nascem devido as altas temperaturas, passam por longos anos em casa fase, depois morrem.
<b>Aluno B</b>	As nuvens entram em colapso, nascem as estrelas de tamanho único, passam por evolução e morrem do mesmo jeito.
<b>Aluno C</b>	As estrelas nascem das altas temperaturas dos gases, passam por um longo processo de evolução, chegando ao final da sua vida.
<b>Aluno D</b>	Ao observar o primeiro estágio da Small Star e Large Star, por terem tamanhos distintos, ambas seguem seu desenvolvimento também diferentes. Small Star é marcada pelo seu último estágio em se tornar uma White Dwarf, menor e com

	pouco brilho. Lange Star, mostra a Neutron Star com reações termonucleares em seu núcleo.
<b>Aluno E</b>	Desenvolve até chegar ao seu estágio de brilhar.
<b>Aluno F</b>	Até chegar ao seu estágio de brilhar.
<b>Aluno G</b>	É que nem pokémon.
<b>Aluno H</b>	Evolução de uma estrela até sua morte.
<b>Aluno I</b>	Não consigo explicar.
<b>Aluno J</b>	Só sei que ela nasce e morre dependendo de sua massa.

**Fonte:** Próprio Autor

Verifica-se que nesse estágio apenas algumas respostas foram selecionadas para exemplificar os padrões de respostas apresentados pelos alunos. Dessa forma, verificou-se respostas como uma verdadeira confissão de total desconhecimento sobre o assunto, como é o caso do **Aluno G** e do **Aluno I**, que fizeram exemplificações consideradas pífias por alguns educadores.

Sobretudo, devemos considerar que todas as formas de visualizar o conteúdo são válidas de alguma forma para mensuração. Quando questionado, o Aluno G que fez a comparação da evolução estelar com um desenho animado, afirma que os desenhos também evoluem de alguma forma, e isso pode ligeiramente ser considerado como um ponto de partida, na figura de Ausubel, um subsunçor onde o professor pode ancorar uma nova informação.

Enquanto pesquisador desta obra, essa foi uma das questões que de maneira geral me causou profunda admiração e fez consolidar essa unidade de ensino, pois as respostas posteriores, fazem menção a um conceito técnico que os alunos desenvolveram de maneira conteudista, mas de maneira permanente.

**Tabela 10:** Questão retirada do formulário para que os alunos expliquem de forma resumida a evolução estelar. 2ª aplicação.

**Aluno A:** “Na presença de altas concentrações de gás, as nuvens gasosas passam por contração, formando planetas, estrelas marrons ou estrelas, dependendo de sua massa. Ao longo de sua existência, as estrelas são aquelas que iniciam reações termonucleares. Existem estrelas de diversos tamanhos, localizadas na sequência principal, onde passam a maior parte de suas vidas. Ao cessar as reações termonucleares, as estrelas têm três possíveis destinos, determinados por sua massa: podem se tornar anãs brancas, no caso das menores estrelas, estrelas de nêutrons para estrelas de massa intermediária, ou buracos negros para as estrelas com as maiores massas.”

**Aluno B:** “As estrelas nascem dos aglomerados das nuvens interestelares, passam grande parte das suas vidas na sequência principal produzindo reações termonucleares, terminam as suas vidas como anãs brancas, estrelas de nêutrons ou buracos negros.”

**Aluno C:** “Nascem a partir de nuvens interestelares, passam a maior parte de suas vidas na sequência principal produzindo reações termonucleares, e terminam como anãs brancas, estrelas de nêutrons ou buracos dependendo das suas massas.”

**Aluno D:** “Após a formação de uma nuvem de poeira interestelar podem surgir estrelas com massas maiores e

massas menores, o que pode gerar uma gigante vermelha ou uma supergigante vermelha, que por sua vez dependendo de sua massa, pode gerar tanto uma nebulosa planetária ou uma supernova. Se a massa for menor, o resultado final será uma Anã Branca, e se a massa for de uma grandeza maior advinda da supernova, o resultado será uma Estrela de Nêutrons.”

**Fonte:** Próprio Autor

**Tabela 11:** Comparação entre a primeira e segunda aplicação do questionário sob a ótica da pergunta: Nas estrelas, o que você entende por uma anã branca?

<b>Versus</b>	<b>1ª aplicação</b>	<b>2ª aplicação</b>
<b>Aluno A</b>	Que a estrela morreu	Anãs brancas são os resultados da morte de estrelas de pequenos portes, um exemplo é o nosso sol, com a sua morte, resultará numa anã branca.
<b>Aluno B</b>	Uma estrela pequena e branca	Resultado da morte de uma estrela com massa pequena.
<b>Aluno C</b>	O resultado da morte de uma gigante azul	É o estágio em que uma estrela perdeu o seu combustível para continuar queimando.
<b>Aluno D</b>	Ela representa o último estágio da estrela, após a morte. Ela é bem menor que as demais, com brilho menos intenso também.	Final de vida de uma estrela de massa considerada pequena.
<b>Aluno F</b>	Não entendo muito sobre estrelas mas tenho muitas curiosidades.	Fim de uma estrela de massa pequena, um exemplo é o sol.
<b>Aluno G</b>	São estrelas com coloração diferente.	Fim de uma estrela em seu ciclo estelar.

**Fonte:** Próprio Autor

Nesse contexto, o produto educacional incorporou materiais interativos, como sequências didáticas, apresentações de slides e experimentos práticos, para criar uma experiência de aprendizado imersiva. Esses recursos permitiram que os alunos explorassem conceitos complexos de maneira tangível e visualmente estimulante, facilitando a assimilação de subsunçores e a construção de significados pessoais.

A abordagem pedagógica também incluiu estratégias de ensino contextualizadas, onde os conceitos foram apresentados em relação ao ciclo de vida estelar e ao contexto astronômico mais

amplo. Isso ajudou os alunos a visualizarem as informações em um contexto real e a relacioná-las a conhecimentos prévios, promovendo uma compreensão mais profunda e interconectada.

O produto educacional também enfatizou a importância da aprendizagem ativa, encorajando os alunos a participarem de discussões, debates e atividades práticas que fomentaram a aplicação dos conceitos aprendidos. Além disso, o uso de avaliações formativas, como questionários pré e pós-teste, permitiu monitorar o progresso dos alunos e ajustar as estratégias de ensino conforme necessário.

Os resultados desse produto educacional foram notáveis, com um aumento significativo na compreensão dos alunos sobre os tópicos de física moderna e fenômenos estelares. Além de melhorar as respostas em avaliações, os alunos demonstraram uma compreensão mais profunda dos conceitos, a capacidade de aplicar o conhecimento em situações do mundo real e uma maior motivação para explorar o campo da física.

O uso bem-sucedido desse produto destaca a importância de abordagens pedagógicas inovadoras e voltadas para a aprendizagem significativa, que promovem uma compreensão duradoura e impactante dos temas científicos.

A progressiva elevação dos níveis de dificuldade das perguntas ao longo de um teste possui uma relevância fundamental no processo de avaliação e na compreensão profunda dos conceitos científicos. Esse método não apenas desafia os alunos a aplicarem seus conhecimentos de maneira crescente, mas também reflete uma abordagem pedagógica estratégica que espelha a complexidade dos tópicos tratados e encoraja a aprendizagem significativa.

Na prática, esse método de aumento gradual da dificuldade das perguntas considera o processo cognitivo e a construção de subsunçores. Inicialmente, questões mais acessíveis funcionam como base para avaliar conhecimentos prévios e consolidados. À medida que o teste avança para questões de maior complexidade, os alunos são estimulados a aplicar conceitos em contextos mais desafiadores, promovendo uma abordagem mais crítica e profunda.

Do ponto de vista científico, essa abordagem tem implicações significativas. Primeiro, ela se alinha com a ideia de aprendizagem progressiva, onde conceitos básicos servem de base para a compreensão de ideias mais avançadas. Isso espelha a evolução do conhecimento científico, onde

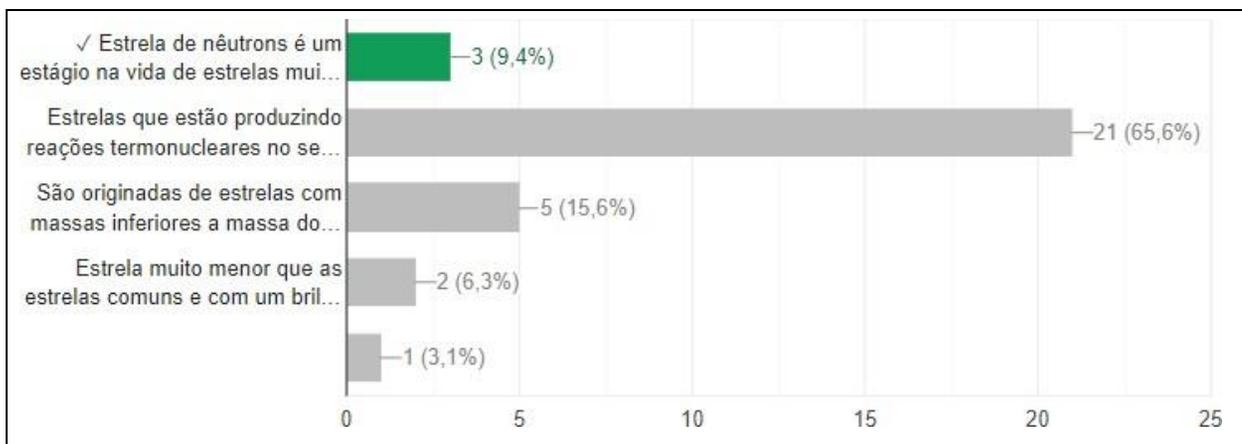
teorias fundamentais levam a descobertas mais complexas. Além disso, ao aumentar gradualmente a dificuldade, o método reflete a realidade científica, onde problemas e desafios não são sempre uniformes em complexidade.

O aumento progressivo da dificuldade também ajuda a construir a confiança dos alunos. Inicialmente, eles abordam questões familiarizadas e com alta taxa de sucesso, promovendo um sentimento de realização. Posteriormente, enfrentam desafios mais exigentes, mas com subsunçores já solidificados, o que aumenta a probabilidade de êxito e reforça a sensação de progresso e conquista.

Em suma, a importância de as perguntas aumentarem seu nível de dificuldade ao longo de um teste está intrinsecamente ligada à promoção de uma aprendizagem significativa e à imersão em processos cognitivos mais profundos. Essa abordagem reflete não apenas a natureza progressiva do conhecimento científico, mas também fomenta a construção sólida de subsunçores e a capacidade dos alunos de aplicar seus conhecimentos em cenários mais complexos, preparando-os para desafios científicos mais abrangentes e realistas.

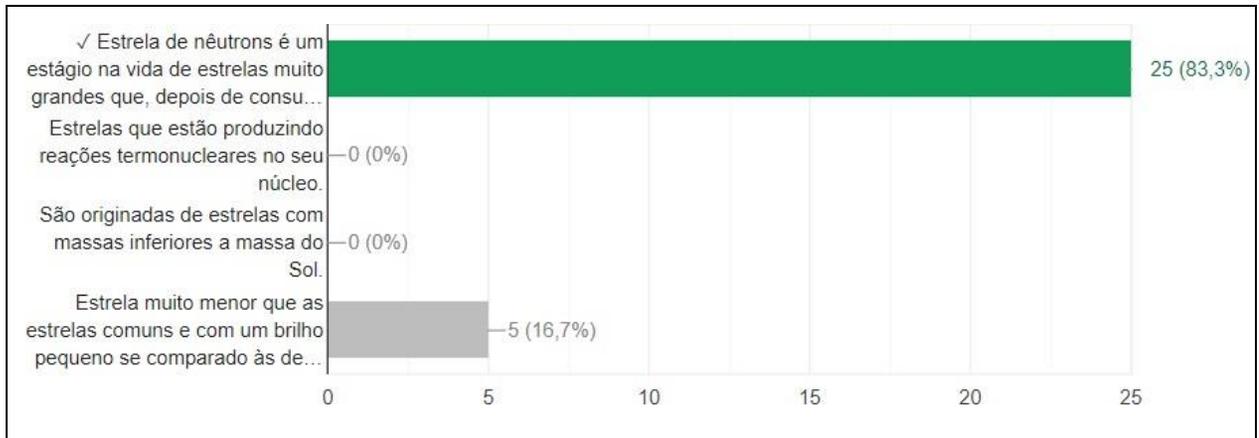
Na questão posterior os alunos foram questionados sobre o que seria uma estrela de nêutron, feita em formato de questão de múltipla escolha. Na primeira aplicação, o resultado foi de apenas 3 repostas corretas. Conforme imagem abaixo:

**Figura 30:** 1ª aplicação do questionário sobre a formulação do conceito de estrelas de nêutrons.



**Fonte:** Próprio Autor

**Figura 31:** 2ª aplicação do questionário sobre a formulação do conceito de estrelas de nêutrons.



**Fonte:** Próprio Autor

O conceito de estrelas de nêutron é uma fascinante manifestação dos extremos da física estelar. Estrelas de nêutron são remanescentes colapsados e extremamente densos de estrelas massivas que já esgotaram seu combustível nuclear. Durante o colapso, os elétrons e prótons fundem-se para formar nêutrons, daí o nome "estrela de nêutron". Devido à sua incrível densidade, uma estrela de nêutron pode ter uma massa várias vezes maior que a do Sol, mas com um diâmetro comparável ao de uma cidade.

No contexto de um questionário de múltipla escolha, o conceito de estrelas de nêutron poderia ser abordado como uma opção entre outras alternativas. A pergunta pode incluir um cenário onde uma estrela massiva esgota seu combustível nuclear e colapsa, questionando qual é o objeto resultante desse processo. A alternativa correta seria a estrela de nêutron, enquanto outras alternativas incorretas poderiam incluir buraco negro, anã branca ou supernova. Essa abordagem proporciona aos alunos a oportunidade de aplicar seus conhecimentos sobre a evolução estelar e as características das diferentes fases de colapso estelar.

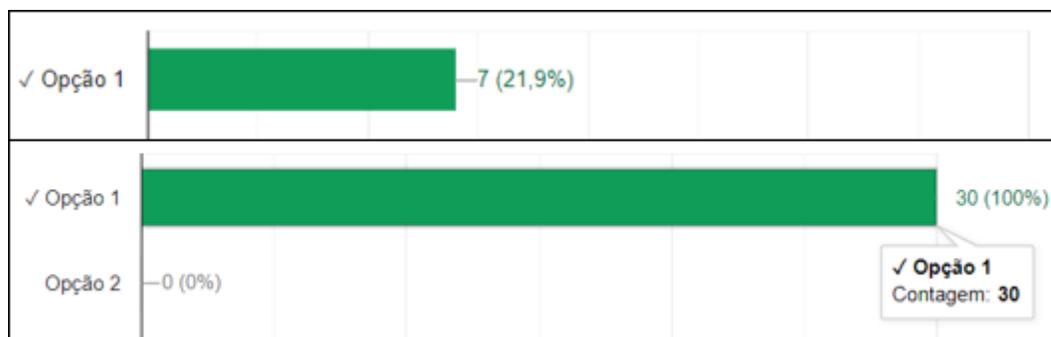
Essa questão de múltipla escolha pode se alinhar com a estratégia pedagógica de avaliar a compreensão dos alunos sobre a evolução estelar, a física nuclear e os diferentes destinos possíveis de estrelas massivas. Também desafia os alunos a distinguirem entre as diferentes manifestações do colapso estelar e a identificarem a opção mais adequada. A abordagem de múltipla escolha pode ser acompanhada por explicações claras e exemplos para auxiliar os alunos a entenderem as

implicações físicas e astronômicas das estrelas de nêutron, permitindo assim uma aprendizagem mais completa e contextualizada desse fenômeno estelar complexo.

A relação entre buracos negros e a questão que aborda a representação do buraco negro em duas e três dimensões reside na complexidade da compreensão e visualização desses objetos fascinantes da física. Enquanto os buracos negros são resultados extremos do colapso gravitacional de estrelas massivas, sua natureza intrincada desafia a representação visual direta devido às características que envolvem, como a curvatura extrema do espaço-tempo.

A questão que explora a representação do buraco negro em duas e três dimensões pode ser um meio eficaz de avaliar o entendimento dos alunos sobre o conceito de curvatura do espaço-tempo. Os alunos podem ser desafiados a selecionar a representação mais adequada entre alternativas que variam de desenhos esquemáticos em duas dimensões a representações tridimensionais mais complexas. Essa abordagem auxilia os alunos a explorar como a curvatura do espaço-tempo é modelada e como ela afeta a trajetória da luz e da matéria perto de um buraco negro.

**Figura 32:** Análise que questão sobre buracos negros, em uma análise sobre a quantidade de dimensões representativas, onde a resposta correta é a opção 1, mostrando a imagem de buracos negros visualizada no filme interestelar.

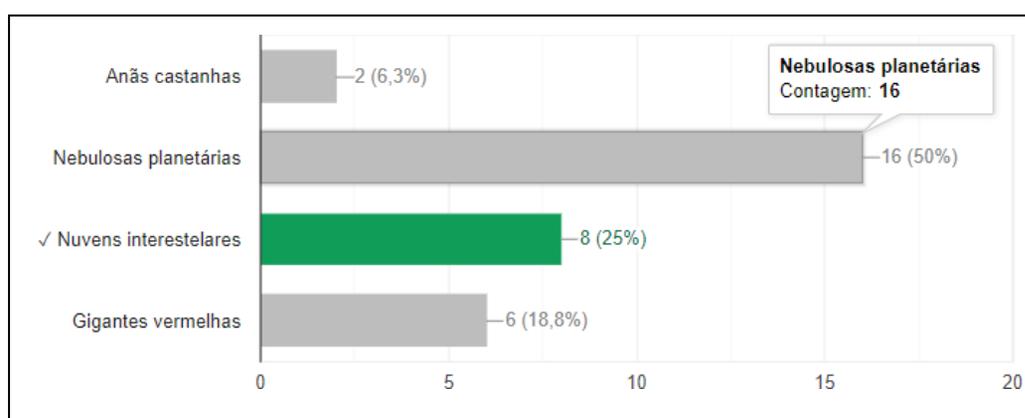


**Fonte:** Próprio Autor

Relacionando essa questão aos buracos negros, os alunos podem reconhecer que a curvatura do espaço-tempo em torno de um buraco negro é tão extrema que pode ser difícil representá-la de maneira precisa em uma representação bidimensional. As representações tridimensionais podem ser utilizadas para ajudar os alunos a visualizarem como o espaço é distorcido, criando um poço gravitacional profundo que atrai tudo ao seu redor, inclusive a luz.

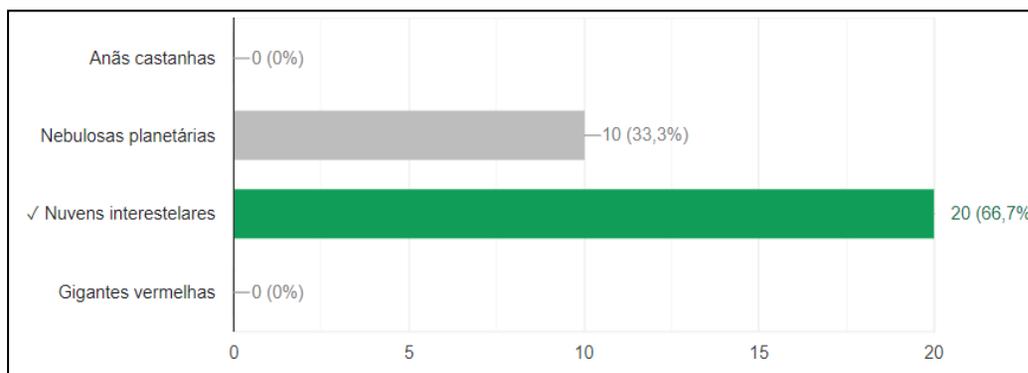
Essa relação entre buracos negros e a questão de representação em duas e três dimensões destaca a importância da compreensão profunda dos conceitos astronômicos complexos e da capacidade de visualizar fenômenos que desafiam a nossa intuição cotidiana. A abordagem pedagógica que combina a teoria dos buracos negros com representações visuais em diferentes dimensões contribui para uma aprendizagem mais completa e envolvente, permitindo aos alunos explorar a física inovadora que cerca esses objetos cósmicos enigmáticos.

**Figura 33:** Questão sobre a formação inicial das estrelas sob a ótica da pergunta As estrelas formam-se a partir da contração dos gases e poeiras existentes na: (1ª aplicação)



Fonte: Próprio Autor

**Figura 34:** Questão sobre a formação inicial das estrelas sob a ótica da pergunta: As estrelas formam-se a partir da contração dos gases e poeiras existentes na: (2ª aplicação)



Fonte: Próprio Autor

A importância de um questionário voltar aos aspectos iniciais do conteúdo reside na promoção do ciclo completo de aprendizado e na consolidação dos conhecimentos adquiridos. Esse método, conhecido como revisão cíclica, envolve a retomada de conceitos fundamentais após a

exploração de tópicos mais avançados. Ele desempenha um papel crucial em reforçar a compreensão, consolidar subsunçores e promover a aprendizagem significativa.

Voltar aos aspectos iniciais do conteúdo é essencial por várias razões. Primeiramente, ajuda a lembrar conceitos-chave que servem como base para tópicos mais complexos. A revisão cíclica incentiva os alunos a reativarem seus subsunçores iniciais, criando um ponto de ancoragem para assimilar novas informações. Isso também ajuda a identificar qualquer lacuna de conhecimento que possa ter surgido durante o processo de aprendizado.

Além disso, a revisão cíclica promove a interconexão dos conceitos. Ao retomar aspectos iniciais do conteúdo, os alunos são incentivados a relacionar conceitos entre diferentes partes do curso. Isso fomenta a compreensão de como os tópicos estão interligados e como os conhecimentos prévios são relevantes em contextos mais avançados.

Outro benefício é a consolidação da memória de longo prazo. Revisar e relembra informações ao longo do tempo fortalece a retenção do conhecimento, evitando que os alunos esqueçam detalhes importantes à medida que avançam para tópicos mais avançados.

Em termos de aprendizagem significativa, a revisão cíclica promove a "construção gradual do significado" proposta por David Ausubel. Ela incentiva os alunos a relacionarem novos conceitos com suas estruturas cognitivas pré-existentes, tornando a aprendizagem mais profunda e duradoura.

Em resumo, ao trazer os alunos de volta aos aspectos iniciais do conteúdo, o questionário não apenas fecha o ciclo de aprendizado, mas também reforça o entendimento, a interconexão e a retenção do conhecimento. Essa abordagem pedagógica eficaz contribui para a construção sólida e significativa do conhecimento, capacitando os alunos a compreenderem e aplicarem conceitos de maneira mais profunda e abrangente.

Nas duas últimas questões foi possível perceber que o conteúdo das questões foi um divisor de águas para o entendimento do conteúdo proposto. A pergunta envolvendo a nossa única estrela no sistema solar, dividiu opiniões entre a primeira e a segunda aplicação. A questão: “O Sol, depois de passar a fase de gigante vermelha, em que se torna?”, trouxe pouquíssimos acertos na primeira aplicação e respostas diversas durante a segunda aplicação. Bem como a questão de número 10,

que solicitava aos alunos que escrevessem de maneira argumentativa o que era uma nebulosa planetária.

As questões que requerem que os alunos escrevam e argumentem com suas próprias palavras são frequentemente temidas e podem apresentar um maior número de erros e divergências em comparação com as questões objetivas. Isso ocorre devido a uma série de fatores inter-relacionados que envolvem tanto a natureza do processo de resposta quanto as complexidades inerentes a esse tipo de questão.

Primeiramente, questões de escrita e argumentação exigem que os alunos articulem suas ideias de maneira clara e coerente. Isso não apenas requer um entendimento profundo do tópico, mas também habilidades de comunicação e expressão que podem variar significativamente entre os alunos. Diferenças individuais em proficiência linguística, estilo de escrita e capacidade de organizar pensamentos podem resultar em respostas divergentes e erros gramaticais que podem comprometer a compreensão do conteúdo.

Além disso, questões de escrita demandam uma compreensão sólida do tópico abordado para que os alunos possam formular argumentos coerentes e relevantes. Isso significa que, se os alunos tiverem concepções errôneas ou lacunas de conhecimento sobre o assunto, as respostas podem refletir esses equívocos, resultando em erros e divergências.

A subjetividade também é um fator relevante. As respostas escritas podem ser interpretadas de maneiras diferentes por diferentes avaliadores, especialmente em tópicos que envolvem nuances e interpretações abertas. Isso pode levar a discrepâncias nas avaliações e contribuir para a divergência nos resultados.

Além disso, questões escritas podem induzir ansiedade nos alunos devido à pressão de se expressarem de maneira clara e precisa. A ansiedade pode afetar negativamente o desempenho dos alunos, levando a erros e confusões mesmo quando eles possuem um bom entendimento do conteúdo.

No entanto, apesar desses desafios, as questões de escrita e argumentação têm um valor intrínseco. Elas incentivam os alunos a processarem o conhecimento de maneira mais profunda, a construir argumentos coerentes e a aplicarem conceitos em contextos relevantes. Para lidar com

as divergências e erros, é importante oferecer diretrizes claras de avaliação e fornecer feedback construtivo que auxilie os alunos a compreenderem seus equívocos e melhorarem suas habilidades de escrita e argumentação ao longo do tempo.

Em resumo, as questões de escrita e argumentação são desafiadoras devido à natureza complexa da comunicação escrita, à variabilidade nas habilidades linguísticas e ao potencial para interpretações subjetivas. No entanto, apesar das dificuldades, essas questões desempenham um papel crucial no desenvolvimento da compreensão profunda e na aplicação eficaz do conhecimento, tornando-se um componente valioso na avaliação e no processo de aprendizado

## **7. Conclusão**

A luz das novas metodologias que surgiram com a reformulação do ensino, de acordo com a Base Curricular Comum, percebe-se que a educação avançou consideravelmente na contemporaneidade. Fatores que antes eram desafiadores para a carreira docente, como a falta de carga horária adequada para o planejamento e desenvolvimento de projetos, bem como a remuneração abaixo do piso salarial em comparação com outras profissões, foram superados em grande parte.

Os professores agora são incentivados a serem perspicazes e adaptarem-se aos padrões escolares para democratizar a educação e garantir o cumprimento do dever do estado e da família, conforme estabelecido na Lex Matter (CF/88), de promover uma educação de qualidade.

Este trabalho enfatiza a inserção de novas abordagens pedagógicas, buscando despertar o interesse dos alunos por uma aprendizagem concreta e abrangente, não apenas para superar a defasagem dos conteúdos de física clássica do século XIX, mas também para destacar as múltiplas possibilidades que a física moderna oferece. Dessa forma, os educadores de todo o país têm o papel essencial de desburocratizar o acesso a oportunidades cada vez mais acessíveis tanto para os docentes quanto para os discentes.

A implementação de aulas interativas com abordagens inovadoras tem sido objeto de investigação no âmbito do ensino de física moderna. Estudos recentes têm demonstrado resultados promissores ao examinar o impacto dessas metodologias no engajamento e aprendizagem dos

alunos. Pesquisas têm relatado que a incorporação de recursos multimídia, tais como vídeos e aplicativos educacionais, promove uma compreensão mais profunda e duradoura dos conceitos, bem como um aumento na retenção do conhecimento.

Além disso, a utilização de sequências didáticas criativas e envolventes tem sido associada a um aumento no desempenho acadêmico dos estudantes, evidenciado por notas mais elevadas em avaliações e atividades relacionadas à física moderna. Essas descobertas destacam a relevância de abordagens pedagógicas inovadoras que visem aprimorar a aprendizagem significativa no ensino de física, contribuindo para a formação de estudantes entusiasmados e bem preparados para explorar os conceitos complexos da física moderna.

Com base nessas melhorias e novas abordagens pedagógicas, torna-se crucial que os programas de ensino em todo o país continuem a proporcionar um ambiente propício à desburocratização, fomentando oportunidades acessíveis e enriquecedoras tanto para educadores quanto para estudantes. Dessa forma, a educação pode continuar evoluindo e se adaptando às necessidades contemporâneas, estimulando o interesse dos alunos pela física e por outras disciplinas. Ao promover a aprendizagem significativa e robusta, os educadores contribuem para o fortalecimento da educação como um todo, consolidando-a como um pilar fundamental para o desenvolvimento do país e o progresso de uma sociedade cada vez mais informada e preparada para os desafios do futuro. Portanto, é por meio do contínuo aprimoramento dos métodos de ensino, do investimento em formação docente e do apoio governamental, que a educação brasileira pode alcançar um patamar de excelência e equidade, garantindo oportunidades iguais para todos e um futuro promissor para as gerações vindouras.

Em conclusão, o material educacional proposto se apresenta como uma unidade de ensino potencialmente significativa, capaz de promover a aprendizagem significativa dos alunos, especialmente no que diz respeito aos conteúdos complexos relacionados a buracos negros. Através de uma abordagem pedagógica cuidadosamente planejada, que inclui a aplicação de sequências didáticas, apresentações de slides, experimentos práticos, questionários estrategicamente elaborados e revisão cíclica, o material se destaca por sua capacidade de engajar os alunos em uma jornada de exploração profunda e contextualizada.

O uso de estratégias diversificadas, como a aplicação de questionários objetivos e de respostas elaboradas, permite que os alunos construam e conectem seus próprios subsunçores, promovendo a construção gradativa de significados e evitando concepções errôneas arraigadas. O enfoque na aprendizagem ativa, associado a uma abordagem contextualizada dos conceitos, também amplia a compreensão dos alunos, permitindo que eles vejam a relevância dos conteúdos em contextos reais e cotidianos.

A abordagem pedagógica alinhada aos princípios da aprendizagem significativa, proposta por David Ausubel, mostra-se especialmente eficaz ao abordar conceitos desafiadores, como buracos negros. A construção gradual do significado, a ancoragem em conhecimentos prévios e a aplicação de subsunçores são elementos chave do processo de ensino-aprendizagem proporcionado pelo material. Ao explorar o ciclo de vida estelar, a curvatura do espaço-tempo e outros aspectos relacionados a buracos negros, os alunos são incentivados a criar conexões conceituais e a visualizar fenômenos complexos.

O potencial de utilização desse material educacional por outros educadores é notável. A abordagem interativa, envolvente e voltada para a aprendizagem significativa pode ser adaptada a diferentes contextos educacionais, contribuindo para uma compreensão aprofundada e duradoura dos conceitos de física moderna e astronomia. Além disso, a inclusão de estratégias de avaliação formativa, como os questionários pré e pós-teste, permite que educadores avaliem o progresso dos alunos e ajustem as estratégias de ensino conforme necessário.

Em resumo, o material educacional proposto oferece uma abordagem inovadora e eficaz para o ensino de conteúdos relacionados a buracos negros, promovendo a aprendizagem significativa por meio da construção gradativa de significados, conexões conceituais e aplicação prática. Sua estrutura versátil e alinhada aos princípios da aprendizagem significativa torna-o uma ferramenta valiosa para educadores interessados em fornecer aos alunos uma compreensão profunda e contextualizada dos fenômenos astronômicos e da física moderna.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAGNANO, Nicola. Dicionário de filosofia (Trad. Alfredo Bosi). 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

ALVARENGA, Flávio Gimenes; NETO, José Izaías Moreira Scherrer; COELHO, Geide Rosa. Processo de validação de uma sequência de ensino investigativa para o ensino de física moderna e contemporânea: da gravitação aos buracos negros. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 2, p. 66-90, 2022.

ALVES, R. M. M. et al. O Quiz como recurso pedagógico no processo educacional: apresentação de um objeto de aprendizagem. In: **XIII Congresso Internacional de Tecnologia na Educação. Pernambuco**. 2015.

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

AUSUBEL, David P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. **Lisboa: Plátano**, v. 1, 2003.

AUSUBEL, David P. The psychology of meaningful verbal learning. 1963.

AUSUBEL, David Paul et al. Educational psychology: A cognitive view. 1978.

AUSUBEL, David Paul. **The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view**. Springer Science & Business Media, 2012.

BARBOSA, Patrynie Garcia; AQUINO, Arthur Marques; CALHEIRO, Lisiane Barcellos. Representações sociais de alunos da educação básica sobre buracos negros. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 32, p. 135-142, 2020.

BARBOSA, Patrynie Garcia; AQUINO, Arthur Marques; CALHEIRO, Lisiane Barcellos. Representações sociais de alunos da educação básica sobre buracos negros. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 32, p. 135-142, 2020.

BERTATO, Fábio Maia et al. Lemaître e a sua histórica entrevista sobre a teoria do big bang – transcrição e tradução. **Revista Brasileira de História da Matemática**, v. 23, n. 46, p. 440-461, 2023.

BNCC. **Base Nacional Curricular Comum**. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br> acesso em: 23 de nov de 2021.

BOWERS, Richard L.; DEEMING, Terry. Astrophysics. **Boston: Jones and Bartlett**, 1984.

BRASIL. BNCC. Base Nacional Comum Curricular, 2017. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category\\_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192). Acesso em: 17 de set de 2023..

DA ROSA, Cleci Werner; PEREZ, Carlos Ariel Samudio; DRUM, Carla. Ensino de física nas séries iniciais: concepções da prática docente. **Investigações em ensino de ciências**, v. 12, n. 3, p. 357-368, 2016.

DA SILVA, João Batista. David Ausubel's Theory of Meaningful Learning: an analysis of the necessary conditions. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. 3, 2020.

DA SILVA, Brenno Ramy Teodósio; VASCONCELOS, Ana Karine Portela; DE OLIVEIRA, Aurelice Barbosa. A utilização de mapas mentais no ensino-aprendizagem de ciências: um caso de alunos nos anos finais, numa escola privada em Fortaleza-Ceará. **Revista Prática Docente**, v. 6, n. 3, p. e096-e096, 2021.

DALFOVO, Michael Samir; LANA, Rogério Adilson; SILVEIRA, Amélia. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista interdisciplinar científica aplicada**, v. 2, n. 3, p. 1-13, 2008.

DE ALMEIDA, Luis Gustavo. EJECAO DE MASSA EM PROTO-ESTRELAS DE NÊUTRON INDUZIDA POR ESCAPE DE NEUTRINOS. **Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (MCT)**, p.1-133, 2022.

DE OLIVEIRA, Érik Rocha; DA COSTA PINHEIRO, Antônio Romero; LIMA, Carlos Henrique Moreira. Quiz com Aplicativo Socrative para o Desenvolvimento de Conceitos de Física Moderna. **Revista do Professor de Física**, v. 6, n. 3, p. 12-32, 2022.

DEXHEIMER, Veronica Antocheviz. Compressibilidade da matéria nuclear em estrelas de nêutrons. 2006.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; MOREIRA, M. A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O.; NOGUEIRA, D. X. N. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2021a. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0057>.

FERREIRA, M.; COUTO, R. V. L.; SILVA FILHO, O. L.; PAULUCCI, L.; MONTEIRO, F. F. Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. 43, p. 1-13, 2021b. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0157>.

FREITAS, Henrique et al. O método de pesquisa survey. **Revista de Administração da Universidade de São Paulo**, v. 35, n. 3, 2000.

G. L. Pilbratt et al, Herschel Space Observatory: An ESA facility for far-infrared and submillimetre astronomy. *A&A*, 518 L1, 2010.

GAMA, Marcelo Cristino. A Equação de Lane-Emden-Fowler em Teoria Clássica de Campos e Astrofísica Estelar. 2008.

GOMES, Érica Cupertino, et all. Uso de simuladores para potencializar a aprendizagem no ensino da física. Araguaína, TO. EDUFT, 2020.

GOMES, Hugo Ataiades; FERREIRA, Ivan Soares. Análise de protoestrelas com dados observacionais abertos. *Physicae Organum. Revista dos Estudantes de Física da UnB*, v. 3, n. 2, 2017.

GONÇALVES, Marina Paim. **Oficina astronômica: uma proposta de atividades utilizando materiais potencialmente significativos para ensino médio.** 2014.

GRIEBELER, Adriane. Inserção de tópicos de física quântica no ensino médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa. 2012.

GUIMARAES, Marcelo Medeiros. Estudos de eventos de acreção de matéria em estrelas pré-sequência principal Ae/Be de Herbig. 2004.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio Branco – Acre. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/rio-branco/panorama>>. Acesso em: 06 de agosto de 2023.

INSIDER, Tech. Conditions of A Black Hole Were Created In A Giant Bathtub. Disponível em: <https://youtu.be/XYiZW-j1ywc> . Acesso em: 28 de Nov. 2021

JOÃO, Herbert Alexandre. Aulas-oficina de física moderna integrando TIC e demonstração experimental. **Universidade Federal de São Carlos.** 2016.

JONCEW, Consuelo Chaves; CENDON, Beatriz Valadares; AMENO, Nádia. Websurveys como método de pesquisa. **Informação & Informação**, v. 19, n. 3, p. 192-218, 2014.

JORNAL UNESP. **Física de buracos negros pode ajudar a explicar engavetamentos no trânsito.** *Jornal UNESP.* [S.l.], 08 set. 2022. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2022/09/08/fisica-de-buracos-negros-pode-ajudar-a-explicar-engavetamentos-no-transito/>. Acesso em: 17 jul. 2023.

K. THORNE, *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy* (W.W. Norton & Company, New York, 1994)

MIDDLESEX. Middlesex 2020. Find your promise. Disponível em: <https://www.mxschool.edu/about-mx/mission-and-history/>. Acesso em: 24 de março de 2020.

MOREIRA, Marco A. *A Teoria da Aprendizagem Significativa Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências.* Porto Alegre, Brasil, 2016.

MOREIRA, Marco Antônio. *Aprendizagem significativa em mapas conceituais.* Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013.

MOREIRA, Marco Antonio. *Aprendizagem significativa, campos conceituais e pedagogia da autonomia: implicações para o ensino.* **Anais online do IX Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade**, p. 4, 2015.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem significativa. Brasília: Ed. da UnB, 1998.  
<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>> Acesso em: 04 out.2020.

MOREIRA, Marco Antonio. Unidades de enseñanza potencialmente significativas–UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011.

NASA. **Webb Celebrates First Year of Science with New Image**. Disponível em:  
<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2023/webb-celebrates-first-year-of-science-with-new-image>. Acesso em: 30 jul. 2023.

NETO, João Pereira; TEIXEIRA, Ricardo Roberto Plaza. Uso de vídeos em atividades de divulgações científica sobre buracos negros e ondas gravitacionais. **Revista Hipótese**, p. e022003-e022003, 2022.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira de; VIANNA, Deise Miranda; GERBASSI, Reuber Scofano. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, p. 447-454, 2007.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em ensino de ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2016.

PELIZZARI, Adriana et al. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **revista PEC**, v. 2, n. 1, p. 37-42, 2002.

PEREIRA, Denis Rafael de Oliveira; AGUIAR, Oderli. Ensino de física no nível médio: tópicos de física moderna e experimentação. **Revista Ponto de Vista**, v. 3, n. 1, p. 65-81, 2006.

SAA, Alberto. Cem anos de buracos negros: o centenário da solução de Schwarzschild. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, 2016.

SARAIVA, FranciscoAlberto. Concentração de Soluções no Ensino Médio: **O uso de Atividades Experimentais para uma Aprendizagem Significativa**. 2017. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em:  
<http://pgecm.fortaleza.ifce.edu.br/wp-content/uploads/2017/06/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Alberto-Saraiva-2017.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2021

SARAIVA, Maria de Fátima. **Etapa Evolutiva das Estrelas**. Disponível em:  
[www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/estrelas.htm](http://www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/estrelas.htm). Acesso em: 26 Nov. 2021.

SCHINZEL, Guilherme Henrique. Buracos negros: uma proposta de sequência didática em forma de UEPS para o Ensino Médio. 2022.

SEEL, Norbert M. (Ed.). **Encyclopedia of the Sciences of Learning**. Springer Science & Business Media, 2011.

SILVA, S. M. et al. O Uso do Questionário Eletrônico na Pesquisa Acadêmica: Um Caso de Uso na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, II Semead – Seminários em Administração do Programa de Pós-Graduação em Administração da FEA/USP, 1997. p.408- 421.

SOARES, Domingos. De Schwarzschild a Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020.

SOBRINHO, J. L. G. Estrelas: origem, evolução e morte. Formação Contínua de docentes: Introdução à Astronomia, 17pp, **Universidade da Madeira** (2013) [http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Publicacoes/Abstracts/pu\\_b2013estrelas2.htm](http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Publicacoes/Abstracts/pu_b2013estrelas2.htm), 2013.

SOUZA, Graziela Ferreira; PINHEIRO, Nilcéia Aparecida Maciel. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) na pesquisa brasileira: identificando tendências e traçando possibilidades, **Revista Tecné, Episteme y Didaxis**. 2018.

STEINER, João E. Buracos Negros: sementes ou cemitérios de galáxias. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 4, p. 723-742, 2010.

TEIXEIRA, Joel Antônio. Existência de soluções positivas para sistemas de Lane-Emden. 2019.

W. J. Maciel, Introdução à Estrutura e Evolução Estelar. **Editora da Universidade de São Paulo**, 1999.

## Apêndice A

### SEQUÊNCIA DIDÁTICA - APLICAÇÃO DO PRODUTO

**PROFESSOR(A):** José Francisco da Silva Nunes

**ORIENTADOR:** Prof. Dr. Luis Gustavo de Almeida

**COMPONENTE CURRICULAR:** FÍSICA

**ANO/TURMA:** 2ª Série – EM

**AULAS PREVISTAS:** 6

#### DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA MÊS \_\_\_\_\_

AULA 01 – DATA: ____ / ____ / ____ ( x ) Síncrona ( ) Assíncrona	
<b>OBJETO DO CONHECIMENTO</b>	1. Introdução a evolução estelar
<b>HABILIDADES</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● (EF09CI17) Analisar o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) baseado no conhecimento das etapas de evolução de estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta.</li><li>● (EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.</li><li>● Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Compreender conceitos fundamentais e estruturas explicativas das Ciências da Natureza, bem como dominar processos, práticas e procedimentos da investigação científica, de modo a sentir segurança no debate de questões científicas, tecnológicas, socioambientais e do mundo do trabalho, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.</li></ul>

**PRÉ-AULA:** Os alunos deverão acessar o formulário disponível no google forms, para levantamento dos subsunçores.

**AULA:** O professor contará com alguns recursos de imagens e vídeos para mostrar aos alunos, sem contar qual será o conteúdo abordado, na ideia de gerar uma expectativa pelo conteúdo que será apresentado. A ideia é despertar a curiosidade e aguçar os subsunçores levantados na aplicação do pré-teste. Logo depois, começará uma exposição dialogada sobre o que eles viram, e com essa conversa, determinar de maneira intrínseca os conhecimentos prévios dos alunos.

**MÃO NA MASSA:** Um desafio para que os alunos em uma folha em branco, desenhem, sem pesquisar, como eles acham que é o ciclo de vida de uma estrela.

**FECHAMENTO DA AULA:** Fecharemos a aula com uma exposição dialogada revisada a respeito dos conteúdos que foram abordados no primeiro encontro. Com uma pequena abertura para que os alunos falem sobre a experiência de responderem ao pré-teste.

**PÓS-AULA:** Como pós-aula os alunos deverão assistir a qualquer vídeo de seu interesse no youtube que fale a respeito do ciclo de uma estrela até que ela se torne um buraco negro.

AULA 02 e 03 – DATA: <u>   /   /   </u> ( x ) Síncrona    ( ) Assíncrona	
<b>OBJETO DO CONHECIMENTO</b>	2. Formação e Massas das estrelas
<b>HABILIDADES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (EF09CI17) Analisar o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) baseado no conhecimento das etapas de evolução de estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta.</li> <li>● (EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.</li> <li>● Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.</li> </ul>
<p><b>PRÉ-AULA:</b> Assistir ao vídeo no Youtube sobre Formação e Massas das estrelas. Disponível no Link: <a href="https://youtu.be/ZMKjm41mwJk">https://youtu.be/ZMKjm41mwJk</a></p> <p><b>AULA:</b> Iniciaremos a aula com uma pequena revisão sobre o que foi feito e as conclusões que os alunos chegaram na última aula, na tentativa de revisar o conteúdo exposto, criando assim uma ponte com o conteúdo que será apresentado nessa aula. Questionar-se-á ao aluno se depois da execução do pós aula e da pré aula de hoje, os alunos conseguiram ver muita diferença do desenho que foi feito com a sua nova percepção sobre o nascimento das estrelas. Anunciando que pela primeira vez, os alunos verão a simulação de um buraco negro. E que este por sua vez será apresentado na próxima aula.</p> <p>Após isso, o professor se utilizará de uma apresentação do powerpoint de maneira lúdica e com muitas imagens para tentar trazer do abstrato as percepções acerca do universo, para que assim os alunos usem da visão para aguçar a sua curiosidade, como previsto na escorpo teórico da TAS.</p>	

**MÃO NA MASSA:** Para essa aula os alunos deverão construir um mapa mental em papel de fichamento, dessa vez com a nova percepção sobre a evolução das estrelas.

**FECHAMENTO DA AULA:** Fecharemos a aula com uma exposição dialogada com os alunos sobre o tema, fazendo uma revisão sobre o que foi abordado na aula de hoje, e sobre as evoluções dos desenhos para os planos de aula.

**PÓS-AULA:** Postar uma foto dos seus mapas mentais nas redes sociais.

AULA 04 e 05 – DATA: ____ / ____ / ____ ( x ) Síncrona ( ) Assíncrona	
<b>OBJETO DO CONHECIMENTO</b>	3. Anãs brancas, Estrelas de nêutrons e Buracos negros (evolução final)
<b>HABILIDADES</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>● (EF09CI17) Analisar o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) baseado no conhecimento das etapas de evolução de estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta.</li><li>● Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e inventar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas.</li><li>● Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Compreender conceitos fundamentais e estruturas explicativas das Ciências da Natureza, bem como dominar processos, práticas e procedimentos da investigação científica, de modo a sentir segurança no debate de questões científicas, tecnológicas, socioambientais e do mundo do trabalho, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.</li></ul>
<p><b>PRÉ-AULA:</b> Assistir ao vídeo no Youtube sobre Evolução Estelar. Disponível no Link: <a href="https://youtu.be/n6ju2MLxIUI">https://youtu.be/n6ju2MLxIUI</a></p> <p><b>AULA:</b> Iniciaremos a aula perguntando aos alunos quantas bilhões de estrelas eles acreditam que exista no nosso sistema solar, a ideia é trazer a reflexão de que o nosso sistema solar tem apenas uma estrela, o SOL.</p> <p><b>MÃO NA MASSA:</b> Nessa aula os alunos receberão bolinhas de isopor, tinta guache e pincéis, e deverão construir uma protótipo da nossa Anã Amarela, o SOL.</p> <p><b>FECHAMENTO DA AULA:</b> Fecharemos a aula com a aplicação do produto educacional, o protótipo que simulará a execução do buraco negro. Faremos um link de como uma nuvem em contração pode vir a se tornar uma anã branca e como pode se tornar um buraco negro.</p> <p><b>PÓS-AULA:</b> Os alunos deverão escrever um pequeno texto de no mínimo 10 linhas de como eles imaginar ser o interior de um buraco negro, e se é possível viajar a uma outra dimensão através dele, como prevêem muitas ficções científicas no ramo cinematográfico.</p>	

AULA 06 – DATA: ____ / ____ / ____ ( x ) Síncrona ( ) Assíncrona	
<b>OBJETO DO CONHECIMENTO</b>	4. Aferição dos objetivos de aprendizagem
<b>HABILIDADES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.</li> </ul>
<p><b>PRÉ-AULA:</b> Os alunos deverão revisar os conteúdos abordados na aplicação da oficina para realização do pós-teste.</p> <p><b>AULA:</b> A aula será a aplicação do pós-teste, que será o mesmo formulário de aplicação do pré-teste, todavia os alunos só descobrirão isso no momento de realização do teste. Para tanto, utilizaremos o laboratório de informática da instituição.</p> <p><b>MÃO NA MASSA:</b> Resolução do pós-teste.</p> <p><b>FECHAMENTO DA AULA:</b> Fecharemos a aula com uma revisão dialogada de todo conteúdo proposto até aqui, e com os agradecimento aos alunos por participarem da pesquisa.</p> <p><b>PÓS-AULA:</b> Não há pós aula previsto para esse dia, dado o término de aplicação da sequência didática.</p>	



## Apêndice B

### Questionário Pré teste e Pós Teste

Caríssimo (a) aluno, este questionário faz parte de um levantamento realizado pelo mestrando José Francisco da Silva Nunes, discente do Mestrado Nacional Profissional do Ensino de Física (MNPEF). Um dos seus principais objetivos consiste em buscar subsídios para o entendimento do seu cognitivo a respeito do conteúdo de física moderna. E, subsidiar a construção de novas metodologias de execução para o ensino, que tenham como preocupação assegurar o ensino aprendizagem com qualidade. As informações que você registrará servirão de base para um diagnóstico, cujo objetivo é levantar um perfil cognitivo do seu entendimento sobre física moderna Buracos Negros. Suas respostas são importantes para compormos um quadro avaliativo da situação e dos desafios enfrentados no seu cotidiano de estudante. Os dados que nos forem apresentados neste questionário não serão divulgados individualmente, sendo tratados somente por processos estatísticos e relatórios analíticos. Desde já agradecemos a sua colaboração e nos colocamos a sua disposição para quaisquer dúvidas e/ou informações complementares.

Em caso de aceite com os termos supracitados, selecione a opção ACEITO. Em discordância do método exposto, por favor marcar DISCORDO.

( ) ACEITO

( ) DISCORDO

Que dia você está realizando este teste ?

---

*Exemplo: 7 de janeiro de 2019*

1 - As estrelas passam a maior parte do tempo na fase de:  
Marcar apenas uma oval.

Gigante Vermelha

Sequência principal

Anã castanha

Gigante azul

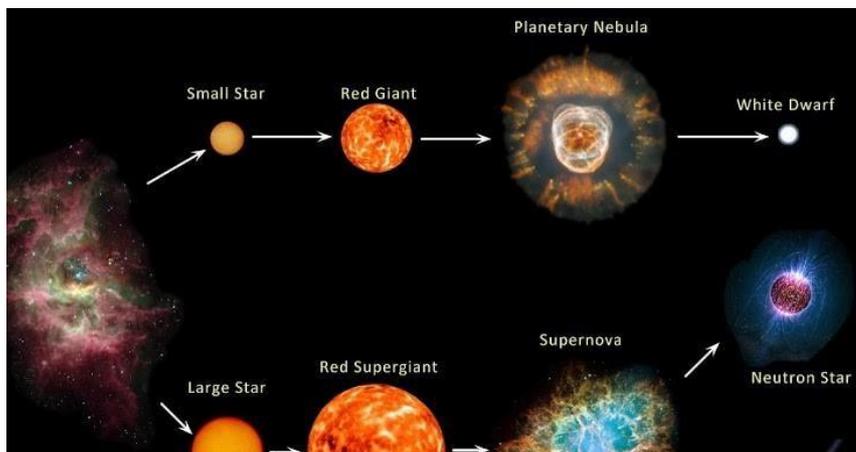
Outro: \_\_\_\_\_

Quando é que a estrela em formação começa a brilhar?

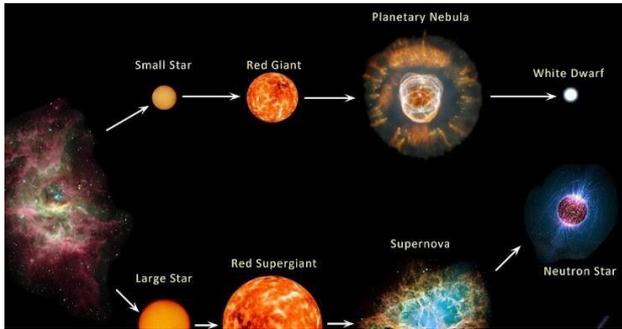
Relacione as colunas abaixo de acordo com cada conceito  
 Marcar apenas uma oval por linha.

Alternativas	Verdadeiro	Falso	Incorreto	Correto
Uma estrela nasce de uma nuvem gasosa				
Uma estrela emite radiação apenas devido às altas temperaturas em seu interior.				
Quando uma estrela evolui para uma gigante vermelha estará a poucos segundos de sua morte.				
O Sol é uma estrela considerada como anã branca.				

1. Descreva de forma resumida a evolução estelar.



2. Descreva de forma resumida a evolução estelar.



---

---

---

3. Nas estrelas, o que você entende por Anãs Brancas?



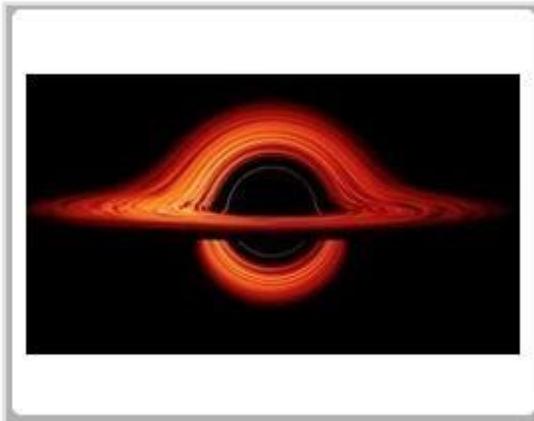
---

---

4. Analise as afirmativas abaixo, e marque a alternativa correta para o conceito de Estrelas de Nêutrons.

- a) Estrela de nêutrons é um estágio na vida de estrelas muito grandes que, depois de consumir todo o hidrogênio em seu núcleo e explodir em uma supernova, pode virar um corpo celeste extremamente denso e compacto onde não há mais átomos, mas um aglomerado de nêutrons. Por isso o nome: estrela de nêutrons.
- b) Estrelas que estão produzindo reações termonucleares no seu núcleo.
- c) São originadas de estrelas com massas inferiores a massa do Sol.
- d) Estrela muito menor que as estrelas comuns e com um brilho pequeno se comparado às demais. Ela representa o estágio após a morte de uma estrela que não era massiva o suficiente para virar uma supernova, e que acabou se transformando em uma nebulosa planetária.

5. Qual das imagens abaixo é a representação mais próxima de um buraco negro?



Opção 1



Opção 2



Opção 3



Opção 4

6. As estrelas formam-se a partir da contração dos gases e poeiras existentes nas:

- a) Anãs castanhas
- b) Nebulosas planetárias Nuvens
- c) Nuvens interestelares
- d) Gigantes Vermelhas

7. O Sol, depois de passar a fase de gigante vermelha, em que se torna?

8. 10 - O que é uma nebulosa planetária?

## **Apêndice C**

### **Produto Educacional**



UNIVERSIDADE FEDERAL DO ACRE  
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA NATUREZA  
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENSINO DE FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL DO ENSINO DE FÍSICA

**UMA OFICINA EXPERIMENTAL PARA O APROFUNDAMENTO DOS  
CONCEITOS DE BURACOS NEGROS NA FÍSICA MODERNA:  
ABORDAGENS E PERSPECTIVAS**

**UM GUIA DE FÍSICA MODERNA PARA O PROFESSOR**

Prof. José Francisco da Silva Nunes  
Prof. Dr. Prof. Dr. Luis Gustavo de Almeida

- 2023-

# Sumário

<b>1. Introdução aos tópicos de Estudo.....</b>	<b>5</b>
<b>1.1 Fundamentação Teórica – Evolução Estelar .....</b>	<b>5</b>
<i>Formação e massa das Estrelas .....</i>	<i>6</i>
<b>1.2 Buracos negros (evolução final).....</b>	<b>18</b>
<b>2. Desenvolvimento do material curricular e das etapas de aplicação.....</b>	<b>21</b>
2.1 O produto Educacional .....	24

## APRESENTAÇÃO

Prezado amigo professor,

É amplamente reconhecido que o mundo tem sido palco de incessantes revoluções tecnológicas, as quais inevitavelmente acarretam transformações no âmbito educacional. A física moderna, por sua vez, tem experimentado uma crescente expansão de sua aplicabilidade na sociedade contemporânea, inclusive incorporando-se aos currículos do ensino médio. Diante do desafio de transmitir um conteúdo tão abstrato e complexo, bem como de demonstrar sua relevância no cotidiano, concebemos este recurso educacional.

Com o propósito de fomentar uma aprendizagem genuinamente significativa, fundamentada na teoria de David P. Ausubel, desenvolvemos a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Esta abordagem pedagógica é respaldada pelo emprego de oficinas experimentais que fazem uso de materiais acessíveis em termos de custos, os quais, quando combinados, resultam no produto educacional apresentado perante a banca de avaliação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, promovido pela Sociedade Brasileira de Física (SBF), em seu polo 59, vinculado à Universidade Federal do Acre (UFAC).

Consequentemente, torna-se evidente que este material foi concebido como um recurso de apoio destinado aos professores, cuja eficácia está intrinsecamente ligada ao emprego de técnicas adequadas e ao desenvolvimento de uma meticulosa programação voltada ao ensino da física moderna. Estamos confiantes de que este recurso pode se mostrar de grande utilidade e permanecemos à disposição para sanar eventuais dúvidas que possam surgir no que tange à sua aplicação.

Os autores

Prof. José Francisco da Silva Nunes  
[josefrancisconunes20@hotmail.com](mailto:josefrancisconunes20@hotmail.com)

Prof. Dr. Luis Gustavo de Almeida  
[lgalmeida@gmail.com](mailto:lgalmeida@gmail.com)

## UNIDADE DE ENSINO POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVO DE FÍSICA MODERNA ATRAVÉS DE OFICINAS

A apresentação significativa e eficaz de ideias e informações, visando a clareza, estabilidade e ausência de ambiguidades, com retenção duradoura de conhecimentos organizados, é identificada como a principal função da pedagogia. Tal tarefa é considerada exigente, criativa e distante de uma abordagem rotineira ou mecânica. A seleção, organização, apresentação e interpretação adequada do conteúdo em termos de desenvolvimento transcende a mera enumeração de fatos. Quando realizada de forma apropriada, representa o trabalho de um professor qualificado e de valor inquestionável.

A arte e a ciência de apresentação de ideias e de informações de modo significativo e eficaz – de forma a surgirem significados claros, estáveis e não ambíguos e a existir uma retenção durante um período de tempo considerável, como um conjunto de conhecimentos organizados – é, na verdade, a principal função da pedagogia. Esta é uma tarefa exigente e criativa e não rotineira nem mecânica. A tarefa de seleção, organização, apresentação e tradução do conteúdo das matérias, de uma forma apropriada em termos de desenvolvimento, exige mais do que uma simples listagem de fatos. Caso seja feita corretamente, trata-se do trabalho de um professor capacitado e dificilmente se pode desdenhar. (AUSUBEL, 2003, p. 52).

As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são seqüências de ensino fundamentadas dentro da Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS), que visam atuar como facilitadora da aprendizagem significativa. Com o objetivo de compreender como este trabalho pode se embasar nas teorias de Ausubel (ALVES, 2015), sua elaboração é fundamentada como uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativo (UEPS).

**Tabela 1:** Oito aspectos sequenciais para elaboração de uma UEPS e sua relação com o conteúdo proposto.

Aspectos sequenciais de uma UEPS de acordo com Moreira.	Desenvolvimento e aplicação da Oficina
<b>Definir o tópico a ser abordado, resgatando o conhecimento prévio, e as relações que podem ser estabelecidas com o novo conhecimento.</b>	A Física Moderna nos Buracos Negros.
<b>Proporcionar situações para externalizar o conhecimento prévio dos alunos.</b>	Essa é a fase de aplicação do questionário
<b>Introduções ao tópico com situações que relacionem a nova informação com o conhecimento prévio (subsúncos) e o novo conteúdo.</b>	Primeira Aula sobre Evolução Estelar para introdução dos conceitos de física.

<b>Apresentar os conteúdos partindo dos assuntos mais gerais para os mais específicos.</b>	Abordagem interativa do professor com aplicação da Sequência didática e uso do produto educacional
<b>Retomada dos aspectos mais gerais dos conteúdos, com progressiva complexidade e interação entre o grupo, envolvendo negociação e significados.</b>	Resolução de exercícios propostos pelo material didático
<b>Abordagem de maior complexidade, com diversificação das atividades em uma abordagem integradora e colaborativa.</b>	Desafio em criar questões sobre o conteúdo
<b>Avaliação Processual e formativa da aprendizagem</b>	O questionário inicial é reaplicado
<b>Avaliação da UEPS, seguindo evidências da Aprendizagem Significativa.</b>	Quantificação de erros e acertos para mapeamento de possíveis melhorias do material

**Fonte:** Adaptada pelo autor ao material didático.

Na presente dissertação, propomos a aplicação da Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel por meio de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) constituída de um conjunto de sequências didáticas dentro de uma oficina sobre o tema de buracos negros.

O primeiro passo é a identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes acerca do tema, permitindo-nos compreender suas concepções iniciais e estabelecer um ponto de partida adequado. Em seguida, encontramos a subsunção, uma ideia central sobre a física de buracos negros que servirá como base sólida para a construção de novos conhecimentos.

Determinamos, então, as ideias derivadas, representando conceitos específicos e essenciais para a compreensão mais profunda do tema. A organização lógica e hierárquica dessas ideias é realizada para que a aprendizagem ocorra de forma progressiva e coerente. Na sequência, selecionamos cuidadosamente materiais e experiências que enriqueçam a compreensão dos conceitos, tornando o aprendizado mais significativo e envolvente.

A etapa crucial da relação entre o novo conteúdo e o conhecimento prévio dos alunos é cuidadosamente planejada para estabelecer conexões e facilitar a assimilação das informações. A UEPS, como um conjunto de sequências didáticas, é aplicada em sala de aula com o intuito de promover a aprendizagem significativa dos conceitos de buracos negros, incentivando os alunos a se tornarem ativos construtores do conhecimento.

Por fim, a avaliação do processo de ensino-aprendizagem é conduzida, permitindo-nos verificar a eficácia da UEPS na promoção do aprendizado significativo sobre a fascinante e complexa temática dos buracos negros

De uma maneira mais geral, podemos escrever as etapas supracitadas no quadro acima como:

- I. **Identificar os Conhecimentos Prévios:** Nesse passo, você precisa identificar os conhecimentos que os estudantes já possuem sobre o assunto (nesse caso, buracos negros). Isso pode ser feito através de questionários, discussões em sala de aula ou pesquisas.
- II. **Encontrar a Subsunçor (ideia inclusora):** A subsunçor é a ideia central e mais abrangente em torno da qual você vai construir o novo conhecimento. É aquela ideia que serve como uma base sólida para a compreensão dos conceitos mais complexos.
- III. **Determinar as Ideias Derivadas:** Essas são as ideias que serão ancoradas na subsunçor. Elas são os conceitos específicos que você deseja ensinar sobre buracos negros e que devem ser relacionados ao conhecimento prévio dos estudantes.
- IV. **Organizar as Ideias para Aprendizagem Significativa:** Nesse passo, você organiza as ideias derivadas em uma estrutura lógica e hierárquica, de modo que a aprendizagem ocorra de forma progressiva e coerente.
- V. **Selecionar Materiais e Experiências:** Escolha os materiais, atividades e experiências que serão utilizados para facilitar a aprendizagem significativa. Isso pode incluir livros, simulações, experimentos, entre outros recursos.
- VI. **Relacionar o Novo Material com os Conhecimentos Prévios:** Essa etapa é crucial para estabelecer as conexões entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio dos estudantes. Ajude-os a perceber como o que estão aprendendo está relacionado com o que eles já sabem.
- VII. **Aplicar a UEPS:** Aqui, você implementa a Unidade de Ensino Potencialmente Significativa, usando os materiais e atividades selecionados para promover a aprendizagem significativa dos conceitos de física de buracos negros.
- VIII. **Avaliar a Aprendizagem:** Por fim, avalie o processo de ensino-aprendizagem para verificar se a UEPS foi eficaz em promover a compreensão significativa dos conceitos de buracos negros. Você pode utilizar testes, questionários, discussões em sala de aula ou outras estratégias de avaliação.

De acordo com SCHINZEL, pg. 32, 2022, com base nas ideias e conceitos apresentados anteriormente, faremos uso desses princípios e abordagens de Ausubel, juntamente com as observações e perspectivas de Moreira, para desenvolver uma sequência didática que visa organizar

hierarquicamente os conceitos, enfatizando a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa.

## **1. Introdução aos tópicos de Estudo**

Nesta seção iremos apresentar explicações sobre conceitos relacionados a Buracos Negros. Tendo em vista a necessidade de inserção dessa temática no currículo, elabora-se um caminho com a prospecção de como esses conteúdos podem ser inseridos no ensino médio e como serão abordados na sequência didática. Bem, como, podem ser ancorados aos subsunçores e conhecimento prévio dos alunos.

### **1.1 Fundamentação Teórica – Evolução Estelar**

Desde os primórdios da humanidade há questionamentos sobre nossa origem e o lugar que ocupamos no Universo. Evidências disso podem ser encontradas em pinturas rupestres e em mitos e lendas de populações ancestrais e tradicionais, por exemplo. Nesse sentido, as estrelas e planetas constituem, dentro de uma perspectiva científica, corpos celestes que podem nos dar contribuições nas respostas sobre nossa origem e também sobre nosso futuro no Universo.

Dessa forma, estudar os corpos celestes, com especial atenção para as estrelas e a evolução destas no Universo, torna-se relevante na medida em que tais conhecimentos, quando originados de uma construção científica, contribuem para a exploração do Universo para além do planeta Terra, além da extrapolação do conhecimento humano para a formulação de hipóteses e posterior busca de suas validações.

O modelo cosmológico do Big Bang, amplamente aceito na comunidade científica, foi proposto por diversos pesquisadores ao longo do tempo, e suas principais contribuições foram fundamentais para a compreensão da origem e evolução do universo. Georges Lemaître<sup>1</sup>, é

---

<sup>1</sup> Georges Lemaître (1894-1966) foi um influente cosmólogo e padre belga conhecido por suas principais obras e formulações na cosmologia. Em 1927, ele propôs a teoria da expansão do universo e sua origem em uma singularidade primordial, que ficou conhecida como o "átomo primordial" ou "ovo cósmico". Suas ideias foram fundamentais para o desenvolvimento do modelo cosmológico do Big Bang. Lemaître também formulou as equações de Friedmann-Lemaître, que descrevem a dinâmica da expansão do universo.

frequentemente creditado por propor pela primeira vez a teoria da expansão do universo e sua origem em uma singularidade primordial em 1927.

Edwin Hubble<sup>2</sup>, astrônomo americano, foi responsável por confirmar a expansão do universo através da observação das galáxias se afastando umas das outras, o que ficou conhecido como a Lei de Hubble. A partir da década de 1940, o modelo do Big Bang foi refinado e desenvolvido por pesquisadores como George Gamow<sup>3</sup>, Ralph Alpher e Robert Herman, que descreveram a nucleossíntese primordial, processo que levou à formação dos elementos químicos mais leves durante os primeiros minutos após o Big Bang.

De acordo com Bertato, (2023)

Lemaître viveu o grande século da Física e foi contemporâneo das grandes discussões que mudaram para sempre o nosso entendimento sobre o Universo sendo mais um dos grandes personagens históricos a quem devemos alguns dos avanços intelectuais mais extraordinários que a humanidade já viu no campo das ciências da natureza. Sua principal contribuição foi lançar as bases para a chamada Teoria do Big Bang. (BERTATO, p. 441, 2023)

A relação entre o modelo do Big Bang e a formação das estrelas está intrinsecamente ligada ao processo de expansão do universo. Após o Big Bang, o universo começou a se expandir e a se resfriar. Esse resfriamento permitiu a formação de átomos, principalmente de hidrogênio e hélio, a partir da matéria primordial presente nos primeiros momentos do universo. Com o tempo, a gravidade começou a agir sobre a matéria distribuída no universo em expansão, levando à formação de estruturas cada vez maiores, como galáxias e aglomerados de galáxias.

### *Formação e massa das Estrelas*

O Big Bang é o evento primordial que proporcionou as condições iniciais para a formação das estrelas, bem como para o desenvolvimento de todo o cosmos observável. Essa interligação entre a teoria do Big Bang e a formação das estrelas é essencial para entendermos a evolução do

---

<sup>2</sup> Edwin Hubble foi um astrônomo americano cujas principais contribuições para a física incluíram a confirmação da expansão do universo e a formulação da Lei de Hubble, que relaciona a velocidade de recessão das galáxias com suas distâncias.

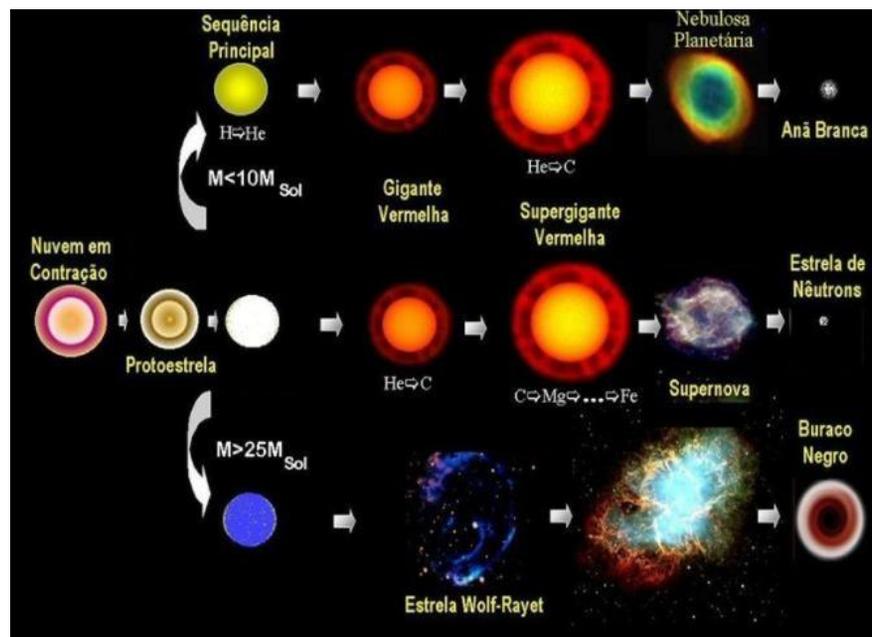
<sup>3</sup> George Gamow, Ralph Alpher e Robert Herman foram físicos cujas contribuições para o campo de estudo incluíram a formulação da teoria da nucleossíntese primordial, que descreveu a formação dos elementos químicos leves nos primeiros minutos após o Big Bang, e a proposta da teoria do átomo primordial, uma ideia precursora do modelo do Big Bang.

universo ao longo do tempo e como as estrelas desempenham um papel fundamental na dinâmica e estrutura do universo em expansão.

As estrelas são formadas a partir do colapso gravitacional de nuvens interestelares compostas principalmente de hidrogênio e hélio. Sob a influência da gravidade, as nuvens se contraem e aquecem, iniciando reações nucleares em seus núcleos que liberam uma enorme quantidade de energia, dando início à fusão nuclear e à formação das estrelas.

Estrelas são estruturas esféricas autogravitantes compostas de gás ionizado, cuja energia é proveniente da transmutação de elementos através de reações nucleares, tais como a fusão nuclear do hidrogênio em hélio e, subsequentemente, em elementos mais pesados. A composição química predominante nas estrelas é de aproximadamente 80% de hidrogênio, 18% de hélio e cerca de 1% a 2% de elementos mais pesados.

**Figura 1:** Imagem Referente ao desenvolvimento teórico da Evolução das estrelas até se tornarem Buracos negros



Fonte: <http://www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/estrelas.htm>

A contração estelar pode ser descrita pela equação de Lane-Emden, desenvolvida por Jonathan Lane<sup>4</sup> e Robert Emden<sup>5</sup>. Essa equação é obtida a partir da solução da equação de equilíbrio hidrostático para a nuvem de gás em contração, sujeita a uma equação de estado politrópica. A equação de Lane-Emden descreve o perfil de densidade da nuvem de gás em relação ao raio, com base na massa e na temperatura. À medida que a nuvem se contrai, aumenta a pressão e temperatura em seu núcleo, iniciando um processo de fusão nuclear que leva à formação da protoestrela.

A equação diferencial de Lane-Emden é dada por:

$$\frac{1}{\zeta^2} \frac{d}{d\zeta} \left( \zeta^2 \frac{d\theta}{d\zeta} \right) + \theta^n = 0 \quad (1)$$

Onde  $\zeta$  é o raio reescalonado:

$$\zeta = r \left( \frac{4\pi G \rho_c^2}{(n+1)P_c} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

e a densidade  $\rho$  é dada como.

$$\rho = \rho_c \theta^n \quad (3)$$

Em 1869, a primeira publicação da equação de Lane foi realizada com o propósito de estimar a temperatura da superfície solar. De fato, a zona de convecção de uma estrela pode ser considerada em equilíbrio convectivo e descrita pela equação de Lane-Emden.

---

4 Jonathan Lane é um astrônomo e professor de astrofísica da Universidade de Birmingham, Reino Unido. Ele é conhecido por suas pesquisas nas áreas de evolução estelar, formação de estrelas e estrelas binárias. Seu trabalho tem contribuído significativamente para o entendimento dos processos de evolução e morte das estrelas, bem como para o estudo da interação de sistemas estelares binários. Lane é um pesquisador ativo e respeitado em sua área, e suas descobertas têm impactado o campo da astronomia estelar.

5 Robert Emden foi um matemático e astrofísico suíço nascido em 1862. Ele é conhecido por suas contribuições na área da estrutura interna de estrelas. Em particular, Emden desenvolveu as equações de Lane-Emden, que descrevem a distribuição de densidade de matéria no interior de uma estrela em equilíbrio hidrostático. Essas equações são essenciais para o estudo da estrutura estelar e fornecem informações importantes sobre como a matéria está distribuída no núcleo e nas camadas externas de uma estrela. As equações de Lane-Emden têm sido amplamente utilizadas em pesquisas em astrofísica e ajudaram a avançar nosso conhecimento sobre a evolução e o comportamento das estrelas.

Já no próximo passo, conforme observado na figura 4, durante a fase de protoestrela, as reações nucleares convertem o hidrogênio em hélio, liberando enormes quantidades de energia na forma de radiação e ventos estelares.

De Acordo com

Eventualmente a nuvem acaba colapsando sob sua própria auto-gravitação. A nuvem começa o colapso de dentro para fora, o material na região central colapsa primeiro e o material externo permanece estacionário. O colapso ocorre, então, nas regiões externas ao núcleo. A taxa de acreção de massa no núcleo cresce com a temperatura inicial da nuvem. Leva cerca de  $10^5$  a  $10^6$  anos para acumular o equivalente a uma massa solar no núcleo da nuvem. A energia potencial gravitacional é convertida em energia térmica aquecendo a superfície da proto-estrela a até milhões de Kelvin. O caroço que se forma no centro é o que chamamos de “proto-estrela”. A proto-estrela não é uma estrela propriamente dita, pois não apresenta ainda reações nucleares em seu interior, mas pode ser considerada um “embrião” de estrela. (DE ALMEIDA, p. 2, 2022).

A evolução da protoestrela é descrita pelas equações de estrutura estelar, que incluem as equações de conservação de massa, momento e energia, juntamente com as equações de estado que descrevem o comportamento termodinâmico do plasma estelar. A equação de Hayashi, proposta por Chushiro Hayashi, é uma das equações de estado utilizadas para descrever a evolução das protoestrelas ao longo do diagrama Hertzsprung-Russell (HR), revelando a trajetória que as protoestrelas seguem até atingirem a sequência principal.

**Figura 2:** Duas protoestrelas nomeadas como HH1 e HH2



**Fonte:** SOBRINHO, 2003.

De acordo com Guimarães, pg. 13, (2004), “Quando a estrela diminui o seu raio, ela passa a ter uma área superficial menor e com isso sua luminosidade cai, mas sua temperatura aumenta.

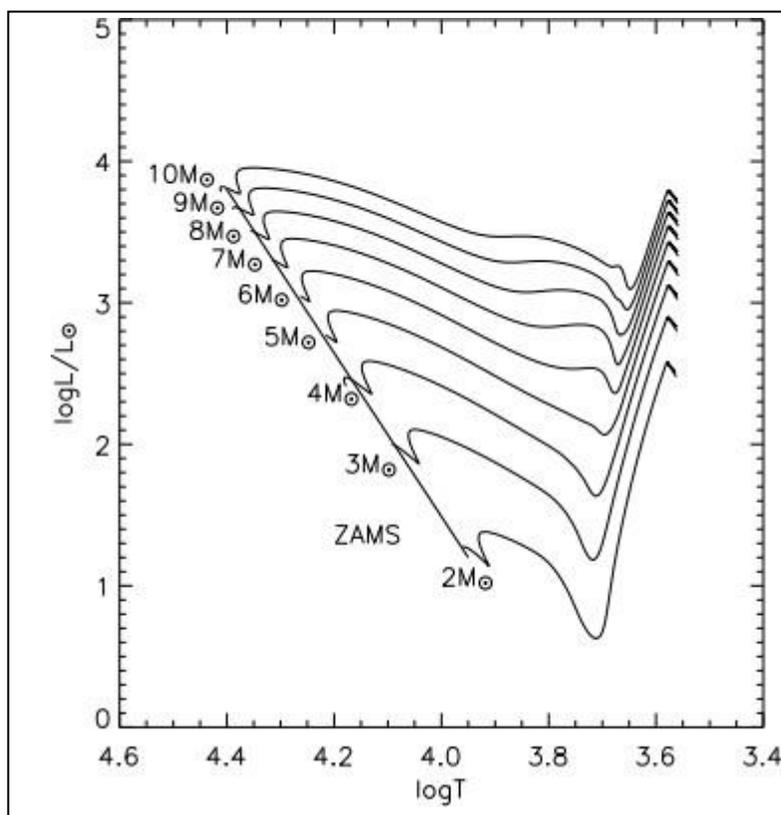
Quando a temperatura no interior aumenta, o transporte de energia por radiação torna-se dominante e desenvolve-se um núcleo radiativo que cresce com a diminuição do raio às custas do envelope convectivo. Estrelas com massa maior que  $0.8 M_{\odot}$  obedecem a uma relação de massa-luminosidade tal que  $L_{\star} \approx M_{\star}^3$ . Dessa forma, à medida que o núcleo se torna radiativo, a contração em direção a sequência principal ocorre com luminosidade praticamente constante. (GUIMARÃES, pg. 14, 2004).

A trilha seguida pela protoestrela no diagrama H-R é dada aproximadamente por (Bowers & Deeming, 1984):

$$\log L = 10 \log M - 7.24 \log T_{\text{eff}} + \text{constante} \quad (4)$$

e é conhecida como trilha de Hayashi, cujo exemplo pode ser visto na Figura 5,

**Figura 3:** Diagrama H-R mostrando a localização da trilha de Hayashi e da Sequência Principal.



Fonte: (GUIMARÃES, pg. 14, 2004).

O diagrama Hertzsprung-Russell (HR) é uma ferramenta fundamental na astronomia e astrofísica para estudar e compreender as propriedades das estrelas. Esse diagrama, nomeado em homenagem aos astrônomos Ejnar Hertzsprung<sup>6</sup> e Henry Norris Russell<sup>7</sup>, representa a luminosidade das estrelas em relação à sua temperatura efetiva ou cor, resultando em uma distribuição de estrelas ao longo de uma sequência característica. No eixo horizontal do diagrama, a temperatura efetiva das estrelas é representada, geralmente em ordem crescente da direita para a esquerda, enquanto no eixo vertical é mostrada a luminosidade, expressa em escala logarítmica.

De acordo com Gomes, (p. 96, 2017) os astrofísicos Ejnar Hertzsprung e Henry Norris Russell desenvolveram, independentemente, um diagrama que relaciona a luminosidade de uma

---

<sup>6</sup>Ejnar Hertzsprung foi um astrônomo dinamarquês nascido em 8 de outubro de 1873. Ele é conhecido por suas contribuições pioneiras no campo da astronomia estelar e por ser um dos co-criadores do Diagrama Hertzsprung-Russell (HR).

<sup>7</sup>Henry Norris Russell foi um renomado astrônomo e astrofísico norte-americano, nascido em 25 de outubro de 1877. Ele é amplamente conhecido por suas contribuições significativas na área da astronomia estelar e foi um dos co-criadores do Diagrama Hertzsprung-Russell (HR) em colaboração com Ejnar Hertzsprung.

estrela com sua temperatura superficial, também chamada de temperatura efetiva. Este diagrama é conhecido como diagrama HR. Seu eixo horizontal, representado pela temperatura efetiva, geralmente em Kelvins, tem sentido crescente da direita para a esquerda.

Pela lei de Stefan-Boltzmann, a luminosidade de uma estrela é dada por:

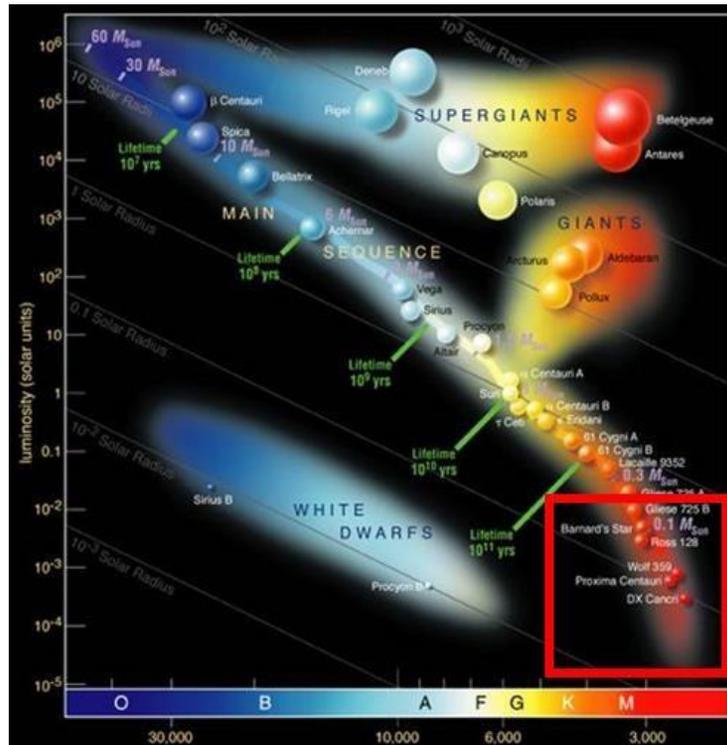
$$L = 4\pi r^2 \sigma T^4 e_{\text{ff}}. \quad (5)$$

- Em que  $r$  é o raio da estrela,
- $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann ( $5,6697 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ )

A lei de Stefan-Boltzmann é uma importante relação física que descreve a taxa de energia radiante emitida por um corpo, como uma estrela, em função de sua temperatura. Essa lei estabelece que a luminosidade (energia irradiada por unidade de tempo) de uma estrela é proporcional à quarta potência de sua temperatura absoluta. Em outras palavras, quanto mais quente uma estrela, maior será sua luminosidade.

Essa relação fundamental permite que os astrônomos determinem a luminosidade de estrelas distantes e compreendam aspectos cruciais de sua evolução e comportamento.

**Figura 4:** Gráfico da luminosidade das estrelas versus sua temperatura de superfície.



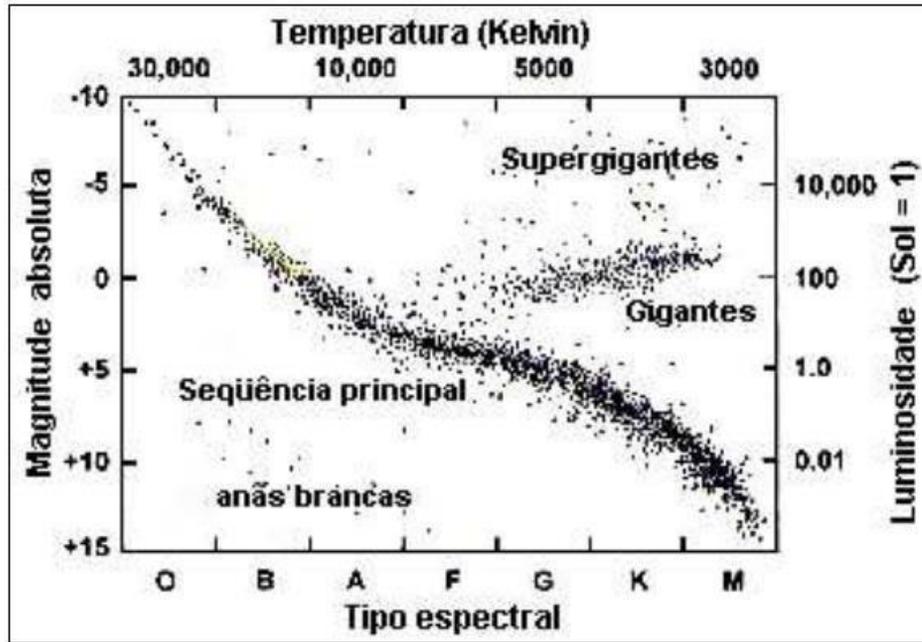
**Fonte:** Gomes, p. 97, 2017

As estrelas que se encontram na sequência principal são amplamente distribuídas pelo Universo, constituindo a maioria das estrelas observadas. Esse estágio representa a maior parte de suas vidas e é marcado por uma faixa distintiva no diagrama Hertzsprung-Russell (HR), localizada no centro deste diagrama.

De acordo com DE ALMEIDA, 2022.

Conhecer as características de uma protoestrela possibilita saber como será seu processo evolutivo, se chegará à sequência principal, se se tornará uma estrela anã, gigante vermelha, estrela de nêutrons, etc. Além disso, o estudo de regiões densas do meio interestelar possibilita saber quais delas são propícias à formação de estrelas. A partir de observações no infravermelho e micro-ondas com telescópios espaciais, podem-se obter dados sobre nuvens moleculares e protoestrelas que permitirão classificá-las para, então, entendermos seus processos evolutivos. (DE ALMEIDA, pg 2, 2022)

Figura 5: Exemplo de Diagrama HR



Fonte: (DE ALMEIDA, pg 2, 2022)

Já diante da sequência principal, temos a representação da fase mais estável da evolução estelar, onde as estrelas passam a converter hidrogênio em hélio em seus núcleos de maneira estável. A evolução das estrelas na sequência principal é regida por equações estruturais estelares, como as equações de conservação de massa e energia, juntamente com as equações de transporte de energia, que descrevem a transferência de energia do núcleo para a superfície estelar através de processos de radiação e convecção. A equação de Vogt-Russell, formulada por Henry Norris Russell e Heinrich Vogt, relaciona a massa, a luminosidade e a temperatura efetiva de estrelas nessa fase. De acordo com Dexheimer (2006),

Quando são dadas a composição química e a massa total  $M$  da estrela, a estrutura e as grandezas características do estado são determinadas e o teorema de Vogt-Russell indica que existem apenas uma solução. No caso da homogeneidade química no interior da estrela, e para produção de energia através de fusão nuclear esse teorema é válido. Para estrelas com distribuição de elementos equivalentes, as quantidades integrais que representam os seus estados apenas dependem da massa total da estrela. Nesse caso vale  $L = L(M)$  e  $T = T(M)$ , de tal forma que existe uma relação rígida entre  $L$  e  $T_{ef}$ , o que se observa de fato na sequência principal no diagrama de Hertzsprung-Russell. Dexheimer, p. 26, 2006

Estrelas são formadas a partir do colapso gravitacional de uma nuvem de gás formada principalmente por hidrogênio molecular (H<sub>2</sub>). A formação de uma estrela inicia-se quando, por algum mecanismo ainda não completamente compreendido, partes de uma nebulosa começam a se aglutinar pela força da gravidade, formando uma complexa estrutura de filamentos de gás.

De acordo com a imagem divulgada pela NASA, ver Figura 7, tirada pelo novo telescópio espacial James Webb, podemos verificar um berçário de estrelas, com a imagem da região de formação estelar mais próxima da terra, descobertas até hoje.

A imagem do primeiro aniversário do Telescópio Espacial James Webb da NASA exibe o nascimento de estrelas como nunca antes visto, cheio de textura detalhada e impressionista. O assunto é o complexo de nuvens Rho Ophiuchi, a região de formação estelar mais próxima da Terra. É um berçário estelar relativamente pequeno e silencioso, mas você nunca o reconheceria pelo close-up caótico de Webb. Jatos saindo de estrelas jovens cruzam a imagem, impactando o gás interestelar circundante e iluminando o hidrogênio molecular, mostrado em vermelho. Algumas estrelas exibem a sombra reveladora de um disco circunestelar, a formação de futuros sistemas planetários. (NASA, 2023)<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> NASA. Webb Celebrates First Year of Science with New Image. Disponível em: <https://www.nasa.gov/feature/goddard/2023/webb-celebrates-first-year-of-science-with-new-image>. Acesso em: 30 jul. 2023.

**Figura 6:** Estrelas na imagem exibem sombras reveladoras indicando discos protoplanetários – potenciais futuros sistemas planetários em formação.



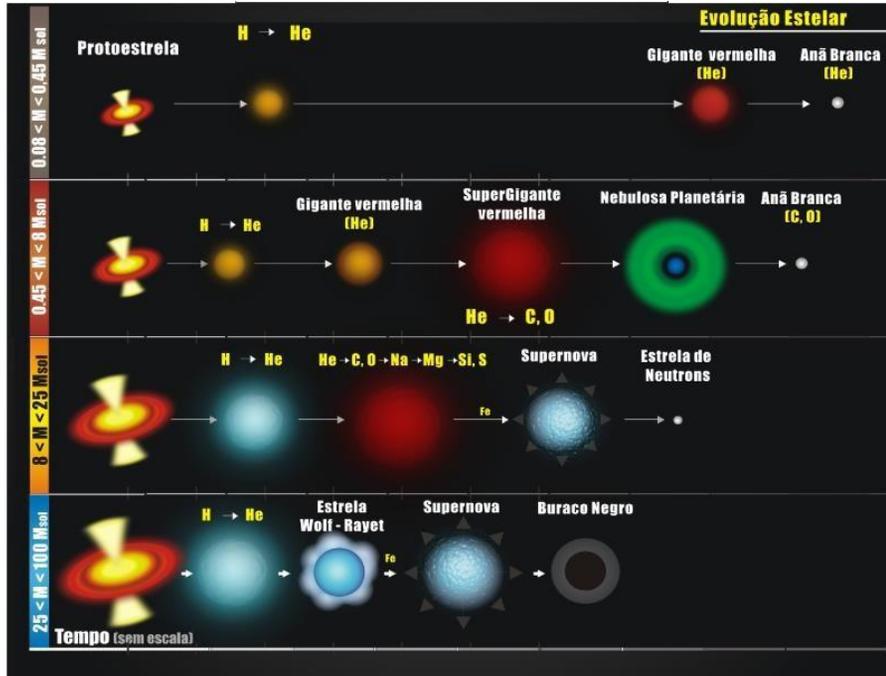
**Fonte:** (NASA. 2023).

As estrelas nas fases estáveis estão em equilíbrio pois a queima nuclear produz uma pressão que agirá oposta à contração gravitacional fazendo-a parar. Começa assim suas fases até seus possíveis destinos. As estrelas têm três possíveis fins, e isso tudo depende da sua formação inicial que no caso será sua massa inicial. Elas podem tornar-se anãs brancas, estrelas de nêutron ou buracos negros.

Após a passagem pela sequência principal de uma estrela com massa inicial entre 1 e 10 massas solares, ocorre a perda de grande parte de sua massa, resultando em uma anã branca com menos de uma massa solar.

O tempo de evolução e fim de uma estrela depende muito da sua massa inicial, estrelas mais massivas tem um tempo de vida menor do que as de menores massas, além de serem mais brilhosas e serem mais quentes. As de menores massas tem um tempo de vida mais longo, pois demoram mais para concluir todo o seu ciclo de evolução.

**Figura 7:** Figura com a evolução das estrelas de acordo com as suas massas iniciais e seus possíveis fins evolutivos.



Fonte: OLIVEIRA FILHO E SARAIVA (2023)  
 disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node14.htm>

A cor de uma estrela está intrinsecamente relacionada com sua temperatura. Esse fenômeno se deve ao fato de que as estrelas emitem radiação eletromagnética em diferentes faixas do espectro visível, dependendo de sua temperatura superficial. As estrelas mais quentes tendem a emitir mais radiação na faixa do azul e do ultravioleta, o que confere a elas uma tonalidade mais azulada. Por outro lado, as estrelas mais frias emitem mais radiação na faixa do vermelho e do infravermelho, resultando em uma coloração mais avermelhada. Portanto, a análise das cores das estrelas é uma ferramenta fundamental na astronomia para determinar suas temperaturas e entender as propriedades físicas desses corpos celestes.

Considerado o primeiro possível caminho dado a evolução estelar, após a sequência principal depende de maneira principal da massa do aglomerado de gases. Estrelas com massa inferior a 8 vezes a massa do Sol, após a fase de sequência principal, tornam-se gigantes vermelhas e evoluem para anãs brancas em nebulosas planetárias.

Por outro lado, estrelas com massa maior que 8 vezes a massa solar enfrentam uma explosão chamada de supernova, resultando em remanescentes estelares como estrelas de nêutron ou, caso a massa seja suficiente, buracos negros.

## 1.2 Buracos negros (evolução final)

A formação de buracos negros é um dos fenômenos mais intrigantes e complexos da astrofísica. Esse processo começa com a aglutinação gravitacional de uma nuvem de gás interestelar, composta principalmente de hidrogênio e hélio. As interações gravitacionais conduzem à contração da nuvem, resultando na formação de uma protoestrela.

Albert Einstein (1879-1955) terminou a formulação de sua teoria de gravitação, a Teoria da Relatividade Geral (TRG), em novembro de 1915. O astrofísico alemão Karl Schwarzschild (1873-1916) leu o artigo de Einstein, publicado numa revista científica prussiana, em circunstâncias dramáticas: ele servia o exército alemão durante a I Guerra Mundial, na frente russa. Imediatamente pôs-se a calcular as consequências da teoria para a gravitação causada por uma estrela isolada. Obteve então a primeira solução exata das equações de campo de Einstein para o espaço exterior a uma distribuição esférica e estática de massa  $M$ . Enviou os seus resultados a Einstein que se admirou do feito de Schwarzschild: ele mesmo não acreditava ser possível chegar a uma solução analítica e exata de suas equações dadas as enormes complexidades matemáticas envolvidas. Schwarzschild teve a engenhosidade de escolher um sistema simples, de alta simetria, para empreender a primeira e mais notável solução particular da TRG. (THORNE, p. 129, 1994)<sup>9</sup> – Traduzido pelo autor.

A formação de buracos negros ocorre após uma supernova, na qual o núcleo da estrela entra em colapso gravitacional irreversível. A *equação de Schwarzschild*<sup>10</sup>, desenvolvida por *Karl Schwarzschild*, é a solução para a métrica de espaço-tempo em torno de um buraco negro não-rotativo. Essa equação revela a existência de uma singularidade gravitacional no centro do buraco negro, conhecida como *singularidade de Schwarzschild*, e define o raio crítico conhecido como *raio de Schwarzschild*, que representa o horizonte de eventos, onde a gravidade é tão intensa que nem a luz pode escapar. De acordo com (STEINE, pg. 3 2010)

A solução que Schwarzschild encontrou contém uma característica curiosa. Se pensarmos na fórmula da aceleração da gravidade produzida a uma distância  $r$  de um corpo de massa  $M$ , ela é facilmente obtida pela fórmula de Newton [...]. No entanto, a solução de Schwarzschild introduz uma correção sobre a fórmula de Newton. Quando o raio é muito pequeno, essa correção pode ser apreciável. Em caso extremo, o termo de correção pode ter um denominador nulo! Em outras palavras, surge uma singularidade. Para uma dada massa, isso ocorre a um raio chamado de Raio de Schwarzschild. Se uma estrela tivesse um raio menor do que esse valor, não poderíamos vê-la. Os raios de luz por ela emitidos seriam “refletidos” pela aceleração infinita. Para um observador externo, o objeto não

---

<sup>9</sup> K. Thorne, *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy* (W.W. Norton & Company, New York, 1994)

<sup>10</sup> Karl Schwarzschild foi um físico e astrônomo alemão, nascido em 9 de outubro de 1873. Ele é conhecido por suas contribuições significativas para a física teórica, especialmente no campo da relatividade geral. Schwarzschild estudou na Universidade de Estrasburgo e posteriormente trabalhou em vários observatórios e instituições científicas ao longo de sua carreira.

pareceria uma estrela, mas um “buraco negro” no espaço. Essa singularidade por muito tempo foi considerada uma curiosidade matemática. (STEINE, pg. 3 2010)

Albert Einstein não conseguiu encontrar a solução completa que descreveria o campo gravitacional de um corpo esférico na teoria da Relatividade Geral. No entanto, ele fez importantes avanços ao descrever as correções à teoria newtoniana do potencial gravitacional. No caso específico de um corpo esférico e homogêneo de massa  $M$  localizado na origem das coordenadas cartesianas  $(x, y, z)$ , o potencial gravitacional é representado de forma simplificada por uma expressão concisa:

$$\Phi(x, y, z) = - \frac{GM}{\sqrt{x^2+y^2+z^2}} \quad (6)$$

De acordo com SAA, pg. 5, (2016), a Relatividade Geral (RG) é uma teoria radicalmente diferente da Gravitação Universal de Newton. Em particular, a interação gravitacional não é mediada por um potencial como descrito na equação 6, mas pelas propriedades geométricas do Espaço-Tempo, conceito fundamental que havia sido introduzido em 1908 pelo colega de Schwarzschild em Gottingen H. Minkowski. Ainda de acordo com este Autor,

As propriedades geométricas em questão são as descritas pelo chamado tensor métrico, com o qual pode-se escrever o equivalente de uma noção infinitesimal de comprimento para o Espaço-Tempo, o chamado elemento de linha. Curiosamente, Schwarzschild escreve sua solução já na forma “moderna” em coordenadas espaço-temporais esféricas  $(t, r, \theta, \phi)$ , nas quais o elemento de linha da solução é dado por: (SAA, pg. 5, 2016)

$$ds^2 = \left(1 - \frac{r_s}{r}\right) dt^2 - \frac{dr^2}{1 - \frac{r_s}{r}} - r^2(d\theta^2 + \text{sen}^2\theta d\phi^2) \quad (7)$$

Entretanto, a interpretação correta desse conceito ainda levaria mais tempo para se desenvolver. Em um segundo trabalho publicado por Schwarzschild em abril de 1916, ele passou a considerar não apenas o caso de uma massa pontual, mas também uma distribuição esférica e homogênea de matéria. Foi nesse estudo que ele finalmente identificou sua constante  $r_s$  como:

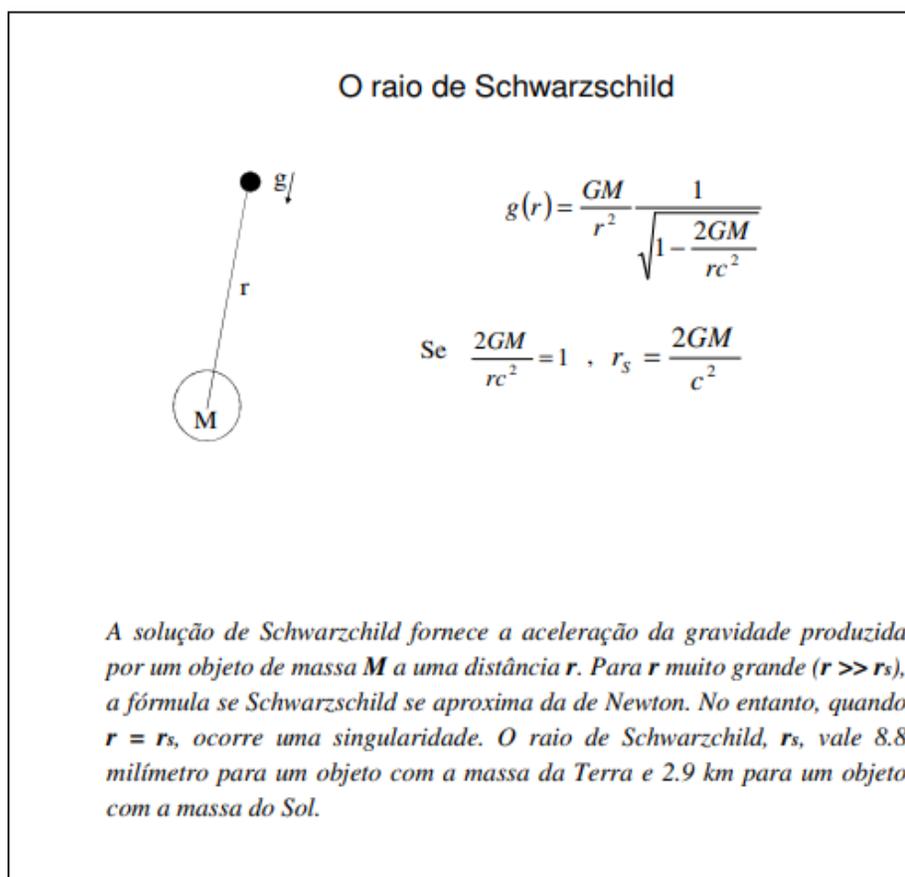
$$r_s = \frac{2GM}{c^2} \quad (8)$$

Considerando  $C$  a velocidade da luz no vácuo.

Albert Einstein, um dos cientistas mais renomados da história, é notavelmente conhecido por sua economia em citações científicas, sendo que em seu trabalho seminal sobre a Relatividade Geral, ele fez menção a apenas duas referências: o primeiro artigo de Schwarzschild e um de Hilbert. Karl Schwarzschild, foi citado através de seu estudo e contribuição sobre o campo gravitacional de uma distribuição esférica e homogênea de matéria.

Além disso, é importante ressaltar o papel significativo de Felix Klein no desenvolvimento das geometrias não-euclidianas, conceitos essenciais para o avanço da Física e da Matemática no Século XX. Suas contribuições, em particular, foram fundamentais para a formulação da teoria da Relatividade Geral, representando um dos pilares no desenvolvimento dessa importante área da ciência. Através do trabalho de Einstein, Schwarzschild e outros cientistas pioneiros, a Relatividade Geral foi estabelecida como uma teoria fundamental na compreensão do Universo em escalas cósmicas e continua a ser uma das principais teorias da física moderna.

**Figura 8:** A equação de Schwarzschild atenta ao olhar esférico junto a sua constante.



**Fonte:** STEINER, 2010.

A criação de buracos negros é um processo complexo que envolve uma série de estágios, desde a contração de uma nuvem de gás até o colapso gravitacional irreversível. As equações fundamentais, creditadas a seus respectivos postuladores, fornecem uma base teórica sólida para entender a evolução das estrelas ao longo do tempo e o fascinante fenômeno da formação de buracos negros no universo. O estudo detalhado desses processos é fundamental para a compreensão da astrofísica e da evolução das estrelas em diferentes massas, contribuindo para uma visão mais abrangente da estrutura e dinâmica do cosmos.

## **2. Desenvolvimento do material curricular e das etapas de aplicação.**

No presente estudo, foi conferida uma atenção minuciosa ao processo de aplicabilidade do produto e ao levantamento de dados em todas as suas etapas. Essa abordagem foi considerada essencial, uma vez que é nessa fase que se realizam análises qualitativas da aprendizagem do aluno,

permitindo a comparação entre o teste inicialmente aplicado e os resultados obtidos no teste final. Nesse sentido, destacam-se as seguintes fases do processo:

- I. Na primeira etapa, procedeu-se à construção do produto educacional, compreendendo a análise de como ocorreriam as transposições didáticas no contexto das oficinas de aprendizagem, e como essas transposições seriam relacionadas ao novo conteúdo, alinhadas ao plano pedagógico da disciplina e aos conhecimentos prévios ou subsunçores dos alunos.
- II. O período de aplicação do produto se estendeu entre o segundo e o terceiro bimestre, uma vez que o pós-teste só pôde ser realizado após o retorno das férias do meio do ano.
- III. A aplicação do pré-teste foi planejada para evitar cansaço e intimidação dos alunos em relação aos temas abordados. Assim, o pré-teste foi administrado como o primeiro passo em sala de aula, precedido por uma conversa com os coordenadores pedagógicos e a turma, a fim de explicar a importância e seriedade do trabalho. A aplicação foi programada para durar aproximadamente 50 minutos em cada encontro.
- IV. Durante a aplicação do produto, os temas relacionados à física dos buracos negros foram apresentados e explorados. Em seguida, a sequência didática planejada foi conduzida, envolvendo a resolução de exercícios, debates, exposição de contextos históricos e outras ferramentas de ensino, com o suporte das oficinas de aprendizagem.
- V. Após a aplicação do produto, foi realizado o pós-teste para avaliar a eficácia da intervenção escolar no ensino e aprendizagem de física moderna.
- VI. Para a análise dos dados, os resultados obtidos nas aplicações dos testes foram apresentados por meio de gráficos, a fim de observar possíveis indícios de aprendizagem significativa. O Google Formulários foi utilizado para coletar as respostas dos alunos, e sua ferramenta de envio por e-mail no formato de planilha no Excel facilitou o tratamento dos dados.

**Tabela 2:** Tabela de aplicação do produto educacional e formulários

<b>Cronograma de aplicação</b>	<b>Dias realizados</b>
Aplicação do Pré-Teste	30 de maio de 2022
Aplicação da Sequência didática com uso do produto educacional	30 de maio de 2022 a 17 de junho de 2022.
Aplicação do Pós Teste	04 de agosto de 2022

Fonte: Próprio Autor

A evolução estelar é a mudança que as estrelas fazem ao longo de sua vida, nas suas transformações através das fases em que se encontram. A sequência (Apêndice A), trabalha o ciclo de evolução das estrelas e também conteúdos relacionados com o tema, até chegarmos aos possíveis fins das mesmas.

No final da sequência, os estudantes devem compreender o conceito de estrelas e que elas têm um ciclo de vida, ou seja, elas vivem e “morrem”. Esses conteúdos serão desenvolvidos por meio de explicações acompanhadas de leituras de texto e exibição de imagens e/ou material audiovisual, elaboração e sistematização do conteúdo em esquemas, pesquisa e elaboração de maquete ou vídeo, além da introdução do produto educacional dentro da sequência.

A atividade será desenvolvida em 4 encontros, totalizando, aproximadamente, 8 horas de aplicação da sequência didática.

**Tabela 3:** Evolução dos conteúdos utilizados na sequência didática de acordo com o tempo proposto.

<b>Nº</b>	<b>Temas</b>	<b>Tempo (min.)</b>
01	Introdução a evolução estelar	120 (duas Aulas)
02 e 03	Formação e massas das estrelas	120 (duas aulas)
04 e 05	Anãs brancas, estrelas de nêutron e buracos negros (evolução final)	120 (duas aulas)
06	Aferição dos objetivos de aprendizagem	120 (duas aulas)

Fonte: Próprio Autor

Através do desenvolvimento cuidadoso do material curricular e das etapas de aplicação, é possível alcançar uma abordagem educacional mais abrangente e eficaz. Ao integrar estratégias pedagógicas como a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, o uso de sequências didáticas detalhadas e a incorporação de apresentações de slides que envolvam todos os fatores sensoriais do aluno, é possível promover uma aprendizagem mais significativa e engajadora. A construção de Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) e a consideração cuidadosa das diferentes fases do processo, como a aplicação de pré e pós-testes, garantem uma avaliação abrangente do progresso dos alunos. O embasamento teórico e a aplicação prática dessas estratégias, como discutido em nossa conversa, têm o potencial de enriquecer a experiência educacional, tornando-a mais eficiente e alinhada com as necessidades dos alunos. Em síntese, ao unir teoria e prática, o desenvolvimento do material curricular e das etapas de aplicação contribui significativamente para o aprimoramento do ensino e para o avanço do processo de aprendizagem dos estudantes.

## **2.1 O produto Educacional**

A presente subseção tem como propósito oferecer uma explicação detalhada do produto educacional desenvolvido neste estudo. O referido produto foi concebido com o intuito de proporcionar uma abordagem inovadora no ensino de física moderna, com ênfase na compreensão dos ciclos das estrelas. Por meio dessa explanação, será possível compreender como o material curricular foi estruturado, as estratégias didáticas utilizadas e como ele visa potencializar a aprendizagem dos alunos. Nesse sentido, serão apresentados os elementos que compõem o produto, bem como as etapas de aplicação que foram cuidadosamente planejadas para estimular o envolvimento ativo e significativo dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem.

No decorrer das aulas, a sequência didática seguiu o modelo apresentado na tabela:

Tabela 4: Modelo exemplificativo do plano de aula abordado e utilizado na pesquisa.

Pré-Aula	A <i>pré-aula</i> é sempre constituída de uma curiosidade em forma de vídeo ou qualquer outra interação que possa despertar no aluno o interesse pela aula que será aplicada, além de aguçar os subsunçores para o momento da aula.
Aula	A <i>aula</i> é o momento de ancorar os novos conteúdos ao que o aluno apresentou como subsunçor; é o desenvolvimento da aula a partir do tema que está sendo proposto.
Mão na Massa	Já o “Mão na Massa”, é o momento que o aluno desenvolve uma atividade para fixação do conteúdo recém apresentado. Podendo ser exercícios de fixação, uso de simuladores, ou softwares e experimentos.
Fechamento da aula	Por fim, o fechamento da aula é um modo de recapitular tudo que foi visto até aquele presente momento, como uma cola para fixação do conteúdo ancorado ao subsunçor do aluno. Por conseguinte, o Pós-Aula, é a revisão de maneira lúdica, para dar a garantia que os alunos irão rever o conteúdo apresentado naquela aula em casa.
Pós -Aula.	O pós-aula pode ser as vezes o reuso da pré-aula, agora sob uma nova óptica do conhecimento do conteúdo, como pode ser um complemento ou curiosidade aquém do uso do material e conteúdo usado em sala de aula. A estratégia é que os alunos visualizem aquele conteúdo proposto novamente em um novo momento antes de novos conteúdos da próxima aula.

**Fonte:** Próprio Autor

A utilização das sequências didáticas de maneira detalhada desempenha um papel fundamental no processo de ensino e aprendizagem. Ao estruturar o planejamento pedagógico de forma sequencial e minuciosa, os educadores podem oferecer aos estudantes uma experiência educacional mais significativa e eficaz.

As sequências didáticas detalhadas permitem uma abordagem cuidadosamente planejada, proporcionando uma progressão lógica e coerente de conteúdos, atividades e avaliações. Isso

permite que os alunos desenvolvam habilidades, conhecimentos e competências de forma progressiva, construindo uma base sólida para o aprendizado futuro. Além disso, a abordagem detalhada das sequências didáticas permite que os educadores identifiquem e atendam às necessidades individuais dos alunos, oferecendo suporte adequado e ajustando o ritmo de ensino conforme necessário. De acordo com Franco, 2018.

Por meio da sequência didática, o docente que tenha fragilidade em algum conhecimento pode ter a oportunidade de adquiri-lo enquanto se prepara para lecionar tal tema. A sequência didática vem como uma sugestão da ação pedagógica. A todo momento, o docente pode intervir para a melhoria no processo ensino e aprendizagem, oportunizando situações para que o educando assuma uma postura reflexiva e se torne sujeito do processo de ensino e aprendizagem. (FRANCO, p. 153, 2018).

Ao incorporar as sequências didáticas detalhadas em sua prática pedagógica, os educadores têm a oportunidade de promover a motivação dos alunos, tornando o processo de aprendizagem mais envolvente, eficiente e enriquecedor.

Dada a primeira aplicação, disponibilizou-se as sequências didáticas para a coordenação escolar validar junto ao professor regente da turma de física, de maneira a estar dentro dos padrões e normas requisitadas pela escola para o bom desenvolvimento dos momentos de estudos dos alunos em sala de aula. Uma vez aprovada seguimos com as aplicações, conforme versam as tabelas abaixo:

**Tabela 5:** Desenvolvimento e aplicação da primeira sequência didática apresentada.

Primeira aula (120 min)
PRÉ-AULA: Os alunos deverão acessar o formulário disponível no google forms, para levantamento dos subsunçores.
AULA: O professor contará com alguns recursos de imagens e vídeos para mostrar aos alunos, sem contar qual será o conteúdo abordado, na ideia de gerar uma expectativa pelo conteúdo que será apresentado. A ideia é despertar a curiosidade e aguçar os subsunçores levantados na aplicação do pré-teste. Logo depois, começará uma exposição dialogada sobre o que eles viram, e com essa conversa, determinar de maneira intrínseca os conhecimentos prévios dos alunos.
MÃO NA MASSA: Um desafio para que os alunos em uma folha em branco, desenhem, sem pesquisar, como eles acham que é o ciclo de vida de uma estrela. E na sequência trocarem os desenhos com outros colegas para a comparação entre os alunos e suas percepções.
FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com uma exposição dialogada revisada a respeito dos conteúdos que foram abordados no primeiro encontro. Com uma pequena abertura para que os alunos falem sobre a experiência de responderem ao pré-teste.
PÓS-AULA: Como pós-aula os alunos deverão assistir a qualquer vídeo de seu interesse no <i>you tube</i> que fale a respeito do ciclo de uma estrela até que ela se torne um buraco negro.

**Fonte:** Próprio Autor

Os desenhos dos ciclos estelares representam uma forma visualmente atrativa e intuitiva de apresentar as diversas etapas evolutivas das estrelas, desde a sua formação até o seu término. Ao incorporar essas representações gráficas nas aulas, os educadores podem proporcionar aos estudantes uma compreensão mais profunda e significativa dos fenômenos astrofísicos envolvidos.

Além disso, ao participarem ativamente do processo de criação dos desenhos dos ciclos estelares, os alunos têm a oportunidade de construir e consolidar seus conhecimentos por meio do levantamento dos subsunçores, ou seja, a identificação e associação dos novos conceitos aos conhecimentos prévios já existentes. Assim, os desenhos dos ciclos estelares desempenham um

papel crucial no enriquecimento da aprendizagem e no desenvolvimento da compreensão conceitual em física moderna. De acordo com Da Silva, 2021.

A utilização dessas atividades de aprendizagem, trabalhando a parte cognitiva e persuasiva dos alunos, contribui para uma aprendizagem mais eficiente. Através da confecção dos mapas mentais, aquele conteúdo antes chamado de “inacessível”, geralmente apresentado pelo método tradicional de ensino, passa a despertar maior interesse, dado que, além de tirar aquele acúmulo de conteúdos abordado, cria-se, também, uma facilidade, pela simples organização de ideias, como também a produção de desenhos, imagens, entre outros, em uma simples folha, estimulando a sua criatividade. Ao produzir o mapa mental, a facilidade é tamanha que conceitua até um assunto mais complexo – a percepção que este se torna mais fácil após uma organização de ideias. (DA SILVA, p. 4, 2021)

Infelizmente durante a aplicação não se conseguiu realizar as fotografias dos desenhos das estrelas feitas pelos alunos, pois os mesmos permaneceram em seus cadernos para as posteriores anotações que surgissem no formato da aula, e para que então os mesmos pudessem reformular seus próprios desenhos de acordo com o desenvolvimento da sequência. Abaixo registramos na Figura 10, o momento em que os alunos se apresentam concentrados nos desenhos proposto pelo *Mão na Massa*.

**Figura 9:** População de estudo no momento de enriquecimento dos subsunçores para o discorrer da sequência didática.



**Fonte:** Próprio Autor

**Tabela 6:** 2ª Sequência didática utilizada no segundo encontro juntamente com a população de estudo.

Segunda e Terceira aula (120 min)
PRÉ-AULA: Assistir ao vídeo no Youtube sobre Formação e Massas das estrelas. Disponível no Link: <a href="https://youtu.be/ZMKjm41mwJk">https://youtu.be/ZMKjm41mwJk</a>
AULA: Iniciaremos a aula com uma pequena revisão sobre o que foi feito e as conclusões que os alunos chegaram na última aula, na tentativa de revisar o conteúdo exposto, criando assim uma ponte com o conteúdo que será apresentado nessa aula. Questionar-se-á ao aluno se depois da execução dos pós aula e da pré-aula de hoje, os alunos conseguiram ver muita diferença do desenho que foi feito com a sua nova percepção sobre o nascimento das estrelas. Anunciando que pela primeira vez, os alunos verão a simulação de um buraco negro. E que este por sua vez será apresentado na próxima aula.  Após isso, o professor se utilizará de uma apresentação do powerpoint de maneira lúdica e com muitas imagens para tentar trazer do abstrato as percepções acerca do universo, para que assim os alunos usem da visão para aguçar a sua curiosidade, como previsto no escopo teórico da TAS.
MÃO NA MASSA: Para essa aula os alunos deverão construir um mapa mental em papel de fichamento, dessa vez com a nova percepção sobre a evolução das estrelas.
FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com uma exposição dialogada com os alunos sobre o tema, fazendo uma revisão sobre o que foi abordado na aula de hoje, e sobre as evoluções dos desenhos para os planos de aula.
PÓS-AULA: Postar uma foto dos seus mapas mentais nas redes sociais.

**Fonte:** Próprio Autor

**Figura 10:** Exposição dialogada com uso de apresentação do Power Point para apresentação dos conteúdos



**Fonte:** Próprio Autor

As apresentações de slides têm se mostrado uma ferramenta pedagógica valiosa no ensino de física, uma vez que permitem o uso de todos os fatores sensoriais do aluno para a construção do conhecimento. Ao combinar elementos visuais, auditivos e, em alguns casos, táteis, as apresentações de slides proporcionam uma experiência de aprendizagem mais rica e significativa. Através de imagens, gráficos, animações e vídeos, os conceitos abstratos da física podem ser ilustrados e visualizados de forma concreta, tornando-os mais compreensíveis para os estudantes. Além disso, o uso de elementos sonoros, como narração ou música de fundo, pode estimular a audição dos alunos e reforçar a assimilação dos conteúdos. Ao incorporar todos esses fatores sensoriais nas apresentações de slides, os educadores podem engajar os alunos de maneira mais efetiva, promovendo uma aprendizagem mais profunda e duradoura.

O uso de mapas mentais revela-se de extrema importância no contexto educacional, pois permite a aplicação das Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) e a promoção da aprendizagem significativa. Essa ferramenta gráfica e visual facilita a organização e conexão dos conteúdos, possibilitando aos alunos a construção de relações entre ideias e conceitos, bem como a identificação de padrões e estruturas relevantes.

Através dos mapas mentais, os estudantes são incentivados a relacionar novos conhecimentos com suas experiências prévias, fomentando a criação de significados pessoais e a

ancoragem dos conteúdos em suas estruturas cognitivas. Dessa forma, o uso de mapas mentais alinha-se perfeitamente com a abordagem da aprendizagem significativa de Ausubel, proporcionando um ambiente propício para a compreensão profunda e duradoura dos conteúdos, além de potencializar a construção de conhecimento com base na estrutura de conhecimentos prévios dos alunos.

O uso de mapas mentais também está intimamente relacionado aos subsunçores no processo de aprendizagem. Os subsunçores são os conhecimentos prévios ou conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno. Ao elaborar e utilizar mapas mentais, os estudantes têm a oportunidade de identificar seus subsunçores relevantes e, assim, conectar os novos conteúdos a esse conhecimento prévio. De acordo com Saraiva, 2017

Com esta ideia, a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) proposta por David Ausubel vai se concretizando quando o conteúdo apresentado pelo professor passa a se conectar ao que o discente já conhece, favorecendo um conceito relevante, promovendo uma facilidade na aquisição deste conhecimento, considerando todos os fatores que rondam a sala de aula e que possam influenciar na qualidade da aprendizagem. (SARAIVA, et all, 2017).

Ao fazer essas conexões significativas, os mapas mentais atuam como um mecanismo que ajuda a consolidar e expandir os subsunçores existentes, construindo uma rede de informações mais elaborada e abrangente. Dessa forma, os mapas mentais permitem que os subsunçores sejam ativados e integrados ao processo de aprendizagem, contribuindo para uma compreensão mais profunda e significativa dos conceitos apresentados. A interação entre os mapas mentais e os subsunçores potencializa a aprendizagem, tornando-a mais personalizada, envolvente e efetiva.

**Figura 11:** Explicação dialogada a respeito de como acontece os processos de difusão de uma estrela e quais os seus possíveis fins



**Fonte:** Próprio Autor

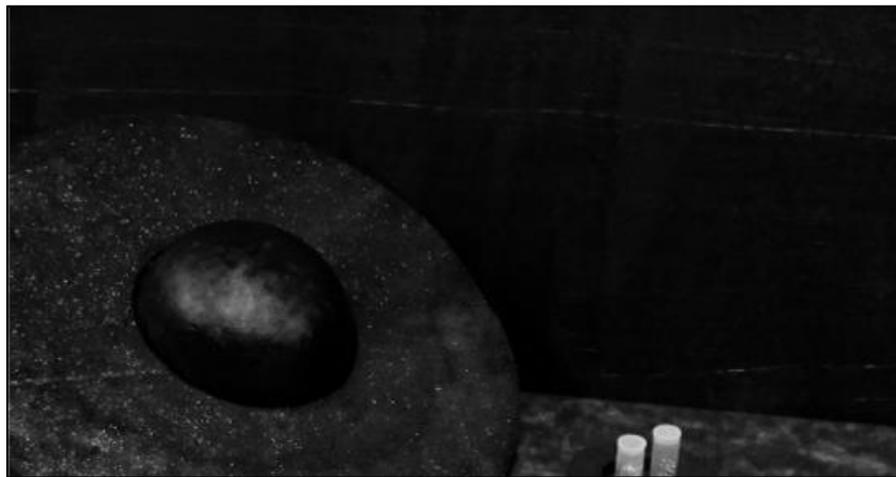
**Tabela 7:** 3ª Sequência didática utilizada no segundo encontro juntamente com a população de estudo.

Quarta e Quinta aula (120 min)
PRÉ-AULA: Assistir ao vídeo no Youtube sobre Evolução Estelar. Disponível no Link: <a href="https://youtu.be/n6ju2MLxIUI">https://youtu.be/n6ju2MLxIUI</a>
AULA: Iniciaremos a aula perguntando aos alunos quantas bilhões de estrelas eles acreditam que exista no nosso sistema solar, a ideia é trazer a reflexão de que o nosso sistema solar tem apenas uma estrela, o SOL.
MÃO NA MASSA: Nessa aula os alunos receberão isopor, tinta guache e pincéis, e deverão construir uma protótipo de um buraco negro tridimensional.
FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com a aplicação do produto educacional, o protótipo que simulará a execução do buraco negro. Faremos um link de informação de como uma nuvem em contração pode vir a se tornar uma anã branca e como pode se tornar um buraco negro.

**PÓS-AULA:** Os alunos deverão escrever um pequeno texto de no mínimo 10 linhas de como eles imaginam ser o interior de um buraco negro, e se é possível viajar a uma outra dimensão através dele, como preveem muitas ficções científicas no ramo cinematográfico.

**Fonte:** Próprio Autor

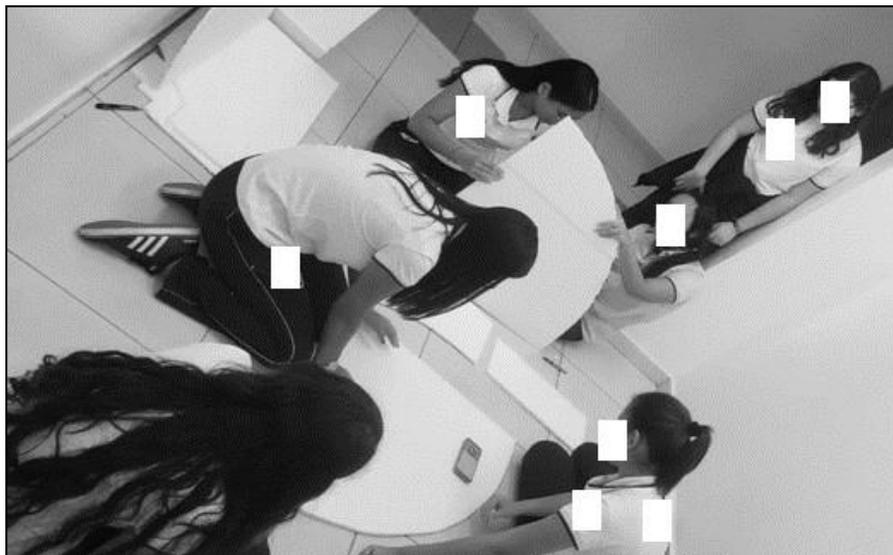
**Figura 12:** Maquete feita pelos alunos com folhas de isopor e afins para demonstração de um buraco negro tridimensional



**Fonte:** Próprio Autor

As maquetes feitas de isopor se destacam como uma ferramenta altamente benéfica na simulação de estrelas e buracos negros no contexto do ensino de física moderna. Essas representações tridimensionais proporcionam uma abordagem tangível e visualmente atrativa para apresentar conceitos complexos e abstratos do universo astrofísico.

**Figura 13:** Alunos durante a execução do Mão na massa, construindo uma exemplificação de um buraco negro tridimensional.



**Fonte:** Próprio Autor

Através das maquetes, os estudantes podem visualizar de forma concreta as características das estrelas, como sua formação, evolução e fenômenos associados, bem como compreender a estrutura e os efeitos dos buracos negros.

A natureza tátil das maquetes permite que os alunos explorem e interajam com os modelos, favorecendo a compreensão conceitual por meio da aprendizagem experiencial. Além disso, as maquetes de isopor podem ser facilmente adaptadas e personalizadas, tornando-se uma ferramenta versátil e flexível para auxiliar o processo de ensino-aprendizagem. Ao utilizar maquetes de isopor para simulação de estrelas e buracos negros, os educadores criam uma experiência educativa mais imersiva, que estimula o interesse, a curiosidade e o engajamento dos alunos, resultando em uma aprendizagem mais significativa e duradoura.

O uso de experimentos para exemplificar os buracos negros representa uma estratégia valiosa no ensino de física moderna. Ao proporcionar uma abordagem prática e concreta, os experimentos permitem que os alunos vivenciem, de forma controlada e segura, fenômenos relacionados aos buracos negros. Através dessas atividades experimentais, os estudantes podem observar e analisar as propriedades singulares desses objetos astronômicos, compreendendo conceitos como a curvatura do espaço-tempo, a singularidade e o horizonte de eventos. Além disso,

os experimentos permitem que os alunos explorem as implicações da teoria da relatividade geral de Einstein e sua relação com os buracos negros. Dessa forma, ao utilizar experimentos para exemplificar os buracos negros, os educadores enriquecem a experiência educacional, estimulando o pensamento crítico, a curiosidade científica e o interesse pela física moderna. Essa abordagem prática e interativa promove uma aprendizagem mais significativa e estimula os alunos a desenvolverem uma compreensão mais profunda e conceitualmente sólida sobre esse intrigante fenômeno cósmico.

*Figura 14: Momento da experiência onde os alunos simulam o funcionamento de um vórtice de buraco negro usando materiais de baixo custo*



**Fonte:** Próprio Autor

**Figura 15:** Momento de tira dúvidas e produção com professor regente da sala, atuante de maneira direta na aplicação do produto.



**Fonte:** Próprio Autor

**Tabela 8:** 4ª sequências didáticas utilizada no segundo encontro juntamente com a população de estudo.

Sexta Aula (120 min)
PRÉ-AULA: Os alunos deverão revisar os conteúdos abordados na aplicação da oficina para realização do pós-teste.
AULA: A aula será a aplicação do pós-teste, que será o mesmo formulário de aplicação do pré-teste, todavia os alunos só descobrirão isso no momento de realização do teste. Para tanto, utilizaremos o laboratório de informática da instituição.
MÃO NA MASSA: Resolução do pós-teste.
FECHAMENTO DA AULA: Fecharemos a aula com uma revisão dialogada de todo conteúdo proposto até aqui, e com os agradecimentos aos alunos por participarem da pesquisa.
PÓS-AULA: Não há pós aula previsto para esse dia, dado o término de aplicação da sequência didática.

**Fonte:** Próprio Autor

A aplicação de um formulário pós-teste é de extrema importância para medir a aprendizagem significativa no processo educacional. Esse instrumento de avaliação permite que os educadores avaliem o nível de compreensão e retenção dos conteúdos pelos alunos após a intervenção pedagógica. Ao comparar os resultados obtidos no pós-teste com os dados do pré-teste, é possível identificar o progresso individual e coletivo dos estudantes, bem como analisar a eficácia das estratégias de ensino adotadas.

Além disso, o pós-teste é uma ferramenta valiosa para verificar se os conhecimentos foram realmente internalizados e se houve a construção de significados pessoais em relação aos conceitos abordados. Através desse feedback, os educadores podem ajustar suas abordagens pedagógicas, oferecendo suporte adicional aos alunos que ainda necessitam de reforço e aprimorando o planejamento para futuras intervenções educacionais. Em suma, a aplicação de um formulário pós-teste é fundamental para mensurar a aprendizagem significativa, garantindo uma avaliação mais abrangente e embasada do processo educacional.

## **Avaliação da UEPS**

A avaliação da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) segue um protocolo que se baseia na administração do questionário inicial, que é aplicado previamente à exposição dos conteúdos programáticos. Este processo avaliativo adota uma abordagem bidirecional, na qual os alunos são submetidos a avaliações tanto por meio da demonstração de seu progresso na resolução dos quizzes quanto por meio da comparação de seus desempenhos com os resultados obtidos no questionário inicial.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAGNANO, Nicola. Dicionário de filosofia (Trad. Alfredo Bosi). 2. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

ALVARENGA, Flávio Gimenes; NETO, José Izaías Moreira Scherrer; COELHO, Geide Rosa. Processo de validação de uma sequência de ensino investigativa para o ensino de física moderna e contemporânea: da gravitação aos buracos negros. **Experiências em Ensino de Ciências**, v. 17, n. 2, p. 66-90, 2022.

ALVES, R. M. M. et al. O Quiz como recurso pedagógico no processo educacional: apresentação de um objeto de aprendizagem. In: **XIII Congresso Internacional de Tecnologia na Educação. Pernambuco**. 2015.

AUSUBEL, D. P. **A aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. São Paulo: Moraes, 1982.

AUSUBEL, David P. Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. **Lisboa: Plátano**, v. 1, 2003.

AUSUBEL, David P. The psychology of meaningful verbal learning. 1963.

AUSUBEL, David Paul et al. Educational psychology: A cognitive view. 1978.

AUSUBEL, David Paul. **The acquisition and retention of knowledge: A cognitive view**. Springer Science & Business Media, 2012.

BARBOSA, Patrynie Garcia; AQUINO, Arthur Marques; CALHEIRO, Lisiane Barcellos. Representações sociais de alunos da educação básica sobre buracos negros. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 32, p. 135-142, 2020.

BARBOSA, Patrynie Garcia; AQUINO, Arthur Marques; CALHEIRO, Lisiane Barcellos. Representações sociais de alunos da educação básica sobre buracos negros. **Revista de Enseñanza de la Física**, v. 32, p. 135-142, 2020.

BERTATO, Fábio Maia et al. Lemaître e a sua histórica entrevista sobre a teoria do big bang – transcrição e tradução. **Revista Brasileira de História da Matemática**, v. 23, n. 46, p. 440-461, 2023.

BNCC. **Base Nacional Curricular Comum**. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br> acesso em: 23 de nov de 2021.

BOWERS, Richard L.; DEEMING, Terry. Astrophysics. **Boston: Jones and Bartlett**, 1984.

BRASIL. BNCC. Base Nacional Comum Curricular, 2017. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com\\_docman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category\\_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192](http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=85121-bncc-ensino-medio&category_slug=abril-2018-pdf&Itemid=30192). Acesso em: 17 de set de 2023..

DA ROSA, Cleci Werner; PEREZ, Carlos Ariel Samudio; DRUM, Carla. Ensino de física nas séries iniciais: concepções da prática docente. **Investigações em ensino de ciências**, v. 12, n. 3, p. 357-368, 2016.

DA SILVA, João Batista. David Ausubel's Theory of Meaningful Learning: an analysis of the necessary conditions. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 4, p. 3, 2020.

DA SILVA, Brenno Ramy Teodósio; VASCONCELOS, Ana Karine Portela; DE OLIVEIRA, Aurelice Barbosa. A utilização de mapas mentais no ensino-aprendizagem de ciências: um caso de alunos nos anos finais, numa escola privada em Fortaleza-Ceará. **Revista Prática Docente**, v. 6, n. 3, p. e096-e096, 2021.

DALFOVO, Michael Samir; LANA, Rogério Adilson; SILVEIRA, Amélia. Métodos quantitativos e qualitativos: um resgate teórico. **Revista interdisciplinar científica aplicada**, v. 2, n. 3, p. 1-13, 2008.

DE ALMEIDA, Luis Gustavo. EJECAO DE MASSA EM PROTO-ESTRELAS DE NÊUTRON INDUZIDA POR ESCAPE DE NEUTRINOS. **Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas (MCT)**, p.1-133, 2022.

DE OLIVEIRA, Érik Rocha; DA COSTA PINHEIRO, Antônio Romero; LIMA, Carlos Henrique Moreira. Quiz com Aplicativo Socrative para o Desenvolvimento de Conceitos de Física Moderna. **Revista do Professor de Física**, v. 6, n. 3, p. 12-32, 2022.

DEXHEIMER, Veronica Antocheviz. Compressibilidade da matéria nuclear em estrelas de nêutrons. 2006.

FERREIRA, M.; SILVA FILHO, O. L.; MOREIRA, M. A.; FRANZ, G. B.; PORTUGAL, K. O.; NOGUEIRA, D. X. N. Unidade de Ensino Potencialmente Significativa sobre óptica geométrica apoiada por vídeos, aplicativos e jogos para smartphones. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, n. 1, p. 1-13, 2021a. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2020-0057>.

FERREIRA, M.; COUTO, R. V. L.; SILFA FILHO, O. L.; PAULUCCI, L.; MONTEIRO, F. F. Ensino de astronomia: uma abordagem didática a partir da Teoria da Relatividade Geral. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. 43, p. 1-13, 2021b. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0157>.

FREITAS, Henrique et al. O método de pesquisa survey. **Revista de Administra&ccdeil; ão da Universidade de São Paulo**, v. 35, n. 3, 2000.

G. L. Pilbratt et al, Herschel Space Observatory: An ESA facility for far-infrared and submillimetre astronomy. *A&A*, 518 L1, 2010.

GAMA, Marcelo Cristino. A Equação de Lane-Emden-Fowler em Teoria Clássica de Campos e Astrofísica Estelar. 2008.

GOMES, Érica Cupertino, et all. Uso de simuladores para potencializar a aprendizagem no ensino da física. Araguaína, TO. EDUFT, 2020.

GOMES, Hugo Ataiades; FERREIRA, Ivan Soares. Análise de protoestrelas com dados observacionais abertos. *Physicae Organum. Revista dos Estudantes de Física da UnB*, v. 3, n. 2, 2017.

GONÇALVES, Marina Paim. **Oficina astronômica: uma proposta de atividades utilizando materiais potencialmente significativos para ensino médio.** 2014.

GRIEBELER, Adriane. Inserção de tópicos de física quântica no ensino médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa. 2012.

GUIMARAES, Marcelo Medeiros. Estudos de eventos de acreção de matéria em estrelas pré-sequência principal Ae/Be de Herbig. 2004.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Rio Branco – Acre. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ac/rio-branco/panorama>>. Acesso em: 06 de agosto de 2023.

INSIDER, Tech. Conditions of A Black Hole Were Created In A Giant Bathtub. Disponível em: <https://youtu.be/XYiZW-j1ywc> . Acesso em: 28 de Nov. 2021

JOÃO, Herbert Alexandre. Aulas-oficina de física moderna integrando TIC e demonstração experimental. **Universidade Federal de São Carlos.** 2016.

JONCEW, Consuelo Chaves; CENDON, Beatriz Valadares; AMENO, Nádia. Websurveys como método de pesquisa. **Informação & Informação**, v. 19, n. 3, p. 192-218, 2014.

JORNAL UNESP. **Física de buracos negros pode ajudar a explicar engavetamentos no trânsito.** *Jornal UNESP.* [S.l.], 08 set. 2022. Disponível em: <https://jornal.unesp.br/2022/09/08/fisica-de-buracos-negros-pode-ajudar-a-explicar-engavetamentos-no-transito/>. Acesso em: 17 jul. 2023.

K. THORNE, *Black Holes and Time Warps: Einstein's Outrageous Legacy* (W.W. Norton & Company, New York, 1994)

MIDDLESEX. Middlesex 2020. Find your promise. Disponível em: <https://www.mxschool.edu/about-mx/mission-and-history/>. Acesso em: 24 de março de 2020.

MOREIRA, Marco A. *A Teoria da Aprendizagem Significativa Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências.* Porto Alegre, Brasil, 2016.

MOREIRA, Marco Antônio. *Aprendizagem significativa em mapas conceituais.* Porto Alegre: UFRGS, Instituto de Física, 2013.

MOREIRA, Marco Antonio. *Aprendizagem significativa, campos conceituais e pedagogia da autonomia: implicações para o ensino.* **Anais online do IX Colóquio Internacional Educação e Contemporaneidade**, p. 4, 2015.

MOREIRA, Marco Antonio. Aprendizagem significativa. Brasília: Ed. da UnB, 1998.  
<http://moreira.if.ufrgs.br/oqueefinal.pdf>> Acesso em: 04 out.2020.

MOREIRA, Marco Antonio. Unidades de enseñanza potencialmente significativas–UEPS. **Aprendizagem Significativa em Revista**, v. 1, n. 2, p. 43-63, 2011.

NASA. **Webb Celebrates First Year of Science with New Image**. Disponível em:  
<https://www.nasa.gov/feature/goddard/2023/webb-celebrates-first-year-of-science-with-new-image>. Acesso em: 30 jul. 2023.

NETO, João Pereira; TEIXEIRA, Ricardo Roberto Plaza. Uso de vídeos em atividades de divulgações científica sobre buracos negros e ondas gravitacionais. **Revista Hipótese**, p. e022003-e022003, 2022.

OLIVEIRA, Fabio Ferreira de; VIANNA, Deise Miranda; GERBASSI, Reuber Scofano. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 29, p. 447-454, 2007.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. **Investigações em ensino de ciências**, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2016.

PELIZZARI, Adriana et al. Teoria da aprendizagem significativa segundo Ausubel. **revista PEC**, v. 2, n. 1, p. 37-42, 2002.

PEREIRA, Denis Rafael de Oliveira; AGUIAR, Oderli. Ensino de física no nível médio: tópicos de física moderna e experimentação. **Revista Ponto de Vista**, v. 3, n. 1, p. 65-81, 2006.

SAA, Alberto. Cem anos de buracos negros: o centenário da solução de Schwarzschild. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 38, 2016.

SARAIVA, FranciscoAlberto. Concentração de Soluções no Ensino Médio: **O uso de Atividades Experimentais para uma Aprendizagem Significativa**. 2017. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Fortaleza, 2017. Disponível em:  
<http://pgecm.fortaleza.ifce.edu.br/wp-content/uploads/2017/06/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Alberto-Saraiva-2017.pdf>. Acesso em: 30 jun. 2021

SARAIVA, Maria de Fátima. **Etapa Evolutiva das Estrelas**. Disponível em:  
[www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/estrelas.htm](http://www.if.ufrgs.br/~fatima/ead/estrelas.htm). Acesso em: 26 Nov. 2021.

SCHINZEL, Guilherme Henrique. Buracos negros: uma proposta de sequência didática em forma de UEPS para o Ensino Médio. 2022.

SEEL, Norbert M. (Ed.). **Encyclopedia of the Sciences of Learning**. Springer Science & Business Media, 2011.

SILVA, S. M. et al. O Uso do Questionário Eletrônico na Pesquisa Acadêmica: Um Caso de Uso na Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, II Semead – Seminários em Administração do Programa de Pós-Graduação em Administração da FEA/USP, 1997. p.408- 421.

SOARES, Domingos. De Schwarzschild a Newton. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, 2020.

SOBRINHO, J. L. G. Estrelas: origem, evolução e morte. Formação Contínua de docentes: Introdução à Astronomia, 17pp, **Universidade da Madeira** (2013) <http://www3.uma.pt/Investigacao/Astro/Grupo/Publicacoes/Abstracts/putb2013estrelas2.htm>, 2013.

SOUZA, Graziela Ferreira; PINHEIRO, Nilcéia Aparecida Maciel. Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) na pesquisa brasileira: identificando tendências e traçando possibilidades, **Revista Tecné, Episteme y Didaxis**. 2018.

STEINER, João E. Buracos Negros: sementes ou cemitérios de galáxias. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 27, n. 4, p. 723-742, 2010.

TEIXEIRA, Joel Antônio. Existência de soluções positivas para sistemas de Lane-Emden. 2019.

W. J. Maciel, Introdução à Estrutura e Evolução Estelar. **Editora da Universidade de São Paulo**, 1999.

## Apêndice A

### SEQUÊNCIA DIDÁTICA - APLICAÇÃO DO PRODUTO

PROFESSOR(A): José Francisco da Silva Nunes  
ORIENTADOR: Prof. Dr. Luis Gustavo de Almeida  
COMPONENTE CURRICULAR: FÍSICA  
ANO/TURMA: 2ª Série – EM

**AULAS PREVISTAS: 6**

#### DESENVOLVIMENTO DAS ATIVIDADES DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA MÊS \_\_\_\_\_

AULA 01 – DATA: ___/___/___ ( x ) Síncrona ( ) Assíncrona	
<b>OBJETO DO CONHECIMENTO</b>	1. Introdução a evolução estelar
<b>HABILIDADES</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• (EF09CI17) Analisar o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) baseado no conhecimento das etapas de evolução de estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta.</li><li>• (EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.</li><li>• Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Compreender conceitos fundamentais e estruturas explicativas das Ciências da Natureza, bem como dominar processos, práticas e procedimentos da investigação científica, de modo a sentir segurança no debate de questões científicas, tecnológicas, socioambientais e do mundo do trabalho, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.</li></ul>

**PRÉ-AULA:** Os alunos deverão acessar o formulário disponível no google forms, para levantamento dos subunçores.

**AULA:** O professor contará com alguns recursos de imagens e vídeos para mostrar aos alunos, sem contar qual será o conteúdo abordado, na ideia de gerar uma expectativa pelo conteúdo que será apresentado. A ideia é despertar a curiosidade e aguçar os subunçores levantados na aplicação do pré-teste. Logo depois, começará uma exposição dialogada sobre o que eles viram, e com essa conversa, determinar de maneira intrínseca os conhecimentos prévios dos alunos.

**MÃO NA MASSA:** Um desafio para que os alunos em uma folha em branco, desenhem, sem pesquisar, como eles acham que é o ciclo de vida de uma estrela.

**FECHAMENTO DA AULA:** Fecharemos a aula com uma exposição dialogada revisada a respeito dos conteúdos que foram abordados no primeiro encontro. Com uma pequena abertura para que os alunos falem sobre a experiência de responderem ao pré-teste.

**PÓS-AULA:** Como pós-aula os alunos deverão assistir a qualquer vídeo de seu interesse no youtube que fale a respeito do ciclo de uma estrela até que ela se torne um buraco negro.

<b>AULA 02 e 03 – DATA:</b> ____ / ____ / ____      ( x ) Síncrona   ( ) Assíncrona	
<b>OBJETO DO CONHECIMENTO</b>	2. Formação e Massas das estrelas
<b>HABILIDADES</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• (EF09CI17) Analisar o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) baseado no conhecimento das etapas de evolução de estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta.</li><li>• (EM13CNT101) Analisar e representar, com ou sem o uso de dispositivos e de aplicativos digitais específicos, as transformações e conservações em sistemas que envolvam quantidade de matéria, de energia e de movimento para realizar previsões sobre seus comportamentos em situações cotidianas e em processos produtivos que priorizem o desenvolvimento sustentável, o uso consciente dos recursos naturais e a preservação da vida em todas as suas formas.</li><li>• Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.</li></ul>

**PRÉ-AULA:** Assistir ao vídeo no Youtube sobre Formação e Massas das estrelas. Disponível no Link: <https://youtu.be/ZMKjm41mwJk>

**AULA:** Iniciaremos a aula com uma pequena revisão sobre o que foi feito e as conclusões que os alunos chegaram na última aula, na tentativa de revisar o conteúdo exposto, criando assim uma ponte com o conteúdo que será apresentado nessa aula. Questionar-se-á ao aluno se depois da execução do pós aula e da pré aula de hoje, os alunos conseguiram ver muita diferença do desenho que foi feito com a sua nova percepção sobre o nascimento das estrelas. Anunciando que pela primeira vez, os alunos verão a simulação de um buraco negro. E que este por sua vez será apresentado na próxima aula.

Após isso, o professor se utilizará de uma apresentação do powerpoint de maneira lúdica e com muitas imagens para tentar trazer do abstrato as percepções acerca do universo, para que assim os alunos usem da visão para aguçar a sua curiosidade, como previsto na escopo teórico da TAS.

**MÃO NA MASSA:** Para essa aula os alunos deverão construir um mapa mental em papel de fichamento, dessa vez com a nova percepção sobre a evolução das estrelas.

**FECHAMENTO DA AULA:** Fecharemos a aula com uma exposição dialogada com os alunos sobre o tema, fazendo uma revisão sobre o que foi abordado na aula de hoje, e sobre as evoluções dos desenhos para os planos de aula.

**PÓS-AULA:** Postar uma foto dos seus mapas mentais nas redes sociais.

<b>AULA 04 e 05 – DATA: _____ / _____ / _____ ( x ) Síncrona ( ) Assíncrona</b>	
<b>OBJETO DO CONHECIMENTO</b>	3. Anãs brancas, Estrelas de nêutrons e Buracos negros (evolução final)
<b>HABILIDADES</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● (EF09CI17) Analisar o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) baseado no conhecimento das etapas de evolução de estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta.</li> <li>● Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Exercitar a curiosidade intelectual e recorrer à abordagem própria das ciências, incluindo a investigação, a reflexão, a análise crítica, a imaginação e a criatividade, para investigar causas, elaborar e testar hipóteses, formular e resolver problemas e inventar soluções com base nos conhecimentos das diferentes áreas.</li> <li>● Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Compreender conceitos fundamentais e estruturas explicativas das Ciências da Natureza, bem como dominar processos, práticas e procedimentos da</li> </ul>

	<p>investigação científica, de modo a sentir segurança no debate de questões científicas, tecnológicas, socioambientais e do mundo do trabalho, continuar aprendendo e colaborar para a construção de uma sociedade justa, democrática e inclusiva.</p>
<p><b>PRÉ-AULA:</b> Assistir ao vídeo no Youtube sobre Evolução Estelar. Disponível no Link: <a href="https://youtu.be/n6ju2MLxIUI">https://youtu.be/n6ju2MLxIUI</a></p> <p><b>AULA:</b> Iniciaremos a aula perguntando aos alunos quantas bilhões de estrelas eles acreditam que exista no nosso sistema solar, a ideia é trazer a reflexão de que o nosso sistema solar tem apenas uma estrela, o SOL.</p> <p><b>MÃO NA MASSA:</b> Nessa aula os alunos receberão bolinhas de isopor, tinta guache e pincéis, e deverão construir uma protótipo da nossa Anã Amarela, o SOL.</p> <p><b>FECHAMENTO DA AULA:</b> Fecharemos a aula com a aplicação do produto educacional, o protótipo que simulará a execução do buraco negro. Faremos um link de como uma nuvem em contração pode vir a se tornar uma anã branca e como pode se tornar um buraco negro.</p> <p><b>PÓS-AULA:</b> Os alunos deverão escrever um pequeno texto de no mínimo 10 linhas de como eles imaginar ser o interior de um buraco negro, e se é possível viajar a uma outra dimensão através dele, como prevêm muitas ficções científicas no ramo cinematográfico.</p>	

<p><b>AULA 06 – DATA:</b> ____ / ____ / ____      ( x ) Síncrona   ( ) Assíncrona</p>	
<p><b>OBJETO DO CONHECIMENTO</b></p>	<p>4. Aferição dos objetivos de aprendizagem</p>
<p><b>HABILIDADES</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Competência Específica BNCC Ciências da Natureza - Agir pessoal e coletivamente com autonomia, responsabilidade, flexibilidade, resiliência e determinação, tomando decisões com base em princípios éticos, democráticos, inclusivos, sustentáveis e solidários.</li> </ul>

**PRÉ-AULA:** Os alunos deverão revisar os conteúdos abordados na aplicação da oficina para realização do pós-teste.

**AULA:** A aula será a aplicação do pós-teste, que será o mesmo formulário de aplicação do pré-teste, todavia os alunos só descobrirão isso no momento de realização do teste. Para tanto, utilizaremos o laboratório de informática da instituição.

**MÃO NA MASSA:** Resolução do pós-teste.

**FECHAMENTO DA AULA:** Fecharemos a aula com uma revisão dialogada de todo conteúdo proposto até aqui, e com os agradecimento aos alunos por participarem da pesquisa.

**PÓS-AULA:** Não há pós aula previsto para esse dia, dado o término de aplicação da sequência didática.

## Apêndice B

### Questionário Pré teste e Pós Teste

Caríssimo (a) aluno, este questionário faz parte de um levantamento realizado pelo mestrando José Francisco da Silva Nunes, discente do Mestrado Nacional Profissional do Ensino de Física (MNPEF). Um dos seus principais objetivos consiste em buscar subsídios para o entendimento do seu cognitivo a respeito do conteúdo de física moderna. E, subsidiar a construção de novas metodologias de execução para o ensino, que tenham como preocupação assegurar o ensino aprendizagem com qualidade. As informações que você registrará servirão de base para um diagnóstico, cujo objetivo é levantar um perfil cognitivo do seu entendimento sobre física moderna Buracos Negros. Suas respostas são importantes para compormos um quadro avaliativo da situação e dos desafios enfrentados no seu cotidiano de estudante. Os dados que nos forem apresentados neste questionário não serão divulgados individualmente, sendo tratados somente por processos estatísticos e relatórios analíticos. Desde já agradecemos a sua colaboração e nos colocamos a sua disposição para quaisquer dúvidas e/ou informações complementares.

Em caso de aceite com os termos supracitados, selecione a opção ACEITO. Em discordância do método exposto, por favor marcar DISCORDO.

( ) ACEITO

( ) DISCORDO

Que dia você está realizando este teste ?

---

*Exemplo: 7 de janeiro de 2019*

1 - As estrelas passam a maior parte do tempo na fase de:

Marcar apenas uma oval.

Gigante Vermelha

Sequência principal

Anã castanha

Gigante azul

Outro: \_\_\_\_\_

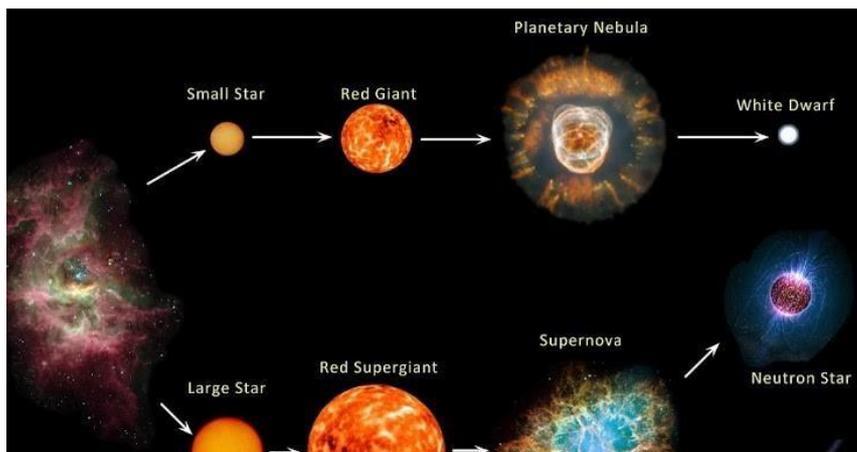
Quando é que a estrela em formação começa a brilhar?

Relacione as colunas abaixo de acordo com cada conceito

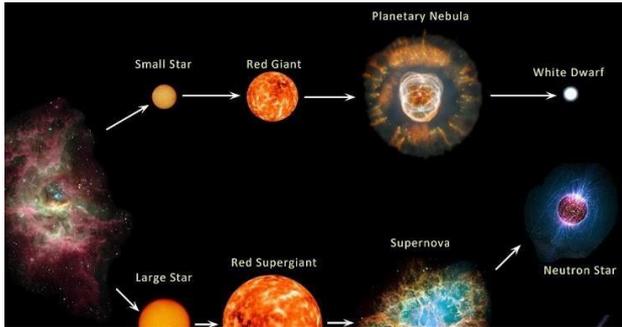
Marcar apenas uma oval por linha.

Alternativas	Verdadeiro	Falso	Incorreto	Correto
Uma estrela nasce de uma nuvem gasosa				
Uma estrela emite radiação apenas devido às altas temperaturas em seu interior.				
Quando uma estrela evolui para uma gigante vermelha estará a poucos segundos de sua morte.				
O Sol é uma estrela considerada como anã branca.				

1. Descreva de forma resumida a evolução estelar.



2. Descreva de forma resumida a evolução estelar.



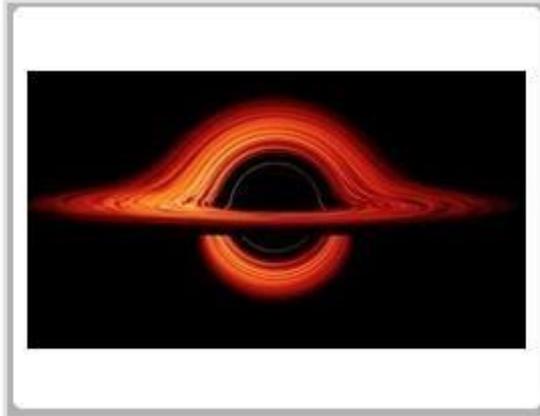
3. Nas estrelas, o que você entende por Anãs Brancas?



4. Analise as afirmativas abaixo, e marque a alternativa correta para o conceito de Estrelas de Nêutrons.

- a) Estrela de nêutrons é um estágio na vida de estrelas muito grandes que, depois de consumir todo o hidrogênio em seu núcleo e explodir em uma supernova, pode virar um corpo celeste extremamente denso e compacto onde não há mais átomos, mas um aglomerado de nêutrons. Por isso o nome: estrela de nêutrons.
- b) Estrelas que estão produzindo reações termonucleares no seu núcleo.
- c) São originadas de estrelas com massas inferiores a massa do Sol.
- d) Estrela muito menor que as estrelas comuns e com um brilho pequeno se comparado às demais. Ela representa o estágio após a morte de uma estrela que não era massiva o suficiente para virar uma supernova, e que acabou se transformando em uma nebulosa planetária.

5. Qual das imagens abaixo é a representação mais próxima de um buraco negro?



Opção 1



Opção 2



Opção 3



Opção 4

6. As estrelas formam-se a partir da contração dos gases e poeiras existentes nas:

- a) Anãs castanhas
- b) Nebulosas planetárias Nuvens
- c) Nuvens interestelares
- d) Gigantes Vermelhas

7. O Sol, depois de passar a fase de gigante vermelha, em que se torna?

8. 10 - O que é uma nebulosa planetária?