

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARIA DOS ANJOS DE OLIVEIRA

**ENSINO DE EVOLUÇÃO ESTELAR PARA O 9º ANO A PARTIR DOS TRÊS
MOMENTOS PEDAGÓGICOS**

CAMPO MOURÃO

2024

MARIA DOS ANJOS DE OLIVEIRA

**ENSINO DE EVOLUÇÃO ESTELAR PARA O 9º ANO A PARTIR DOS TRÊS
MOMENTOS PEDAGÓGICOS**

**Teaching stellar evolution for the 9th year based on the three pedagogical
moments**

Dissertação apresentada como requisito para
obtenção do título de Mestre em Ensino de Física da
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
(UTFPR).

Orientador: Prof. Dr. Gilson Junior Schiavon

Coorientador: Prof. Dr. Michel Corci Batista

CAMPO MOURÃO

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



MARIA DOS ANJOS DE OLIVEIRA

Data de aprovação: 05 de Abril de 2024

ENSINO DE EVOLUÇÃO ESTELAR PARA O 9º ANO A PARTIR DOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ensino De Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Física Na Educação Básica.

Dr. Gilson Junior Schiavon, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Geislana Padeti Ferreira Duminelli, Doutorado - Secretaria de Educação do Estado do Paraná

Dr. Oscar Rodrigues Dos Santos, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 08/04/2024.

Dedico este trabalho a minha família, e em especial ao meu inesquecível pai José Alves de Oliveira (*in memoriam*), que em vida sempre foi o maior incentivador para realização dos meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por me proporcionar força e coragem nos momentos difíceis, que não foram poucos.

Ao prof. Dr. Gilson Junior Schiavon, por toda dedicação ao meu trabalho durante a minha orientação, por seu trabalho impecável de correção, sempre proporcionando momentos de aprendizado no decorrer desta pesquisa.

Ao prof. Dr. Michel Corci Batista, por toda contribuição e dedicação, sempre com muita sabedoria nos ensinamentos e correção deste trabalho.

Agradeço aos amigos que tive o prazer de conhecer e trocar experiências durante o curso. Entre as amigadas, agradeço em especial: Eliane Kovalek Scheifer, Denise Lughy Medeiros Braga, Josiane Peres Pereira, Viviane Dziubate Pittner, Rosemere Issa Rizk e Rosilda Martins Aurélio. Além da troca de experiências, compartilhamos angústias, preocupações e momentos de descontração, sempre acreditando, incentivando-nos mutuamente nos momentos difíceis.

À querida amiga de longa data, Greice Aparecida Facioli Bitencourt pelo apoio e contribuições.

Agradeço aos meus pais Maria de Lourdes Baccas de Oliveira e José Alves de Oliveira (*in memoriam*), que sempre apoiaram e acreditaram em mim, não mediram esforços para a concretização do meus sonhos.

Ao meu marido Mario Batista de Oliveira, por estar sempre ao meu lado, em todo os momentos, pelo apoio e compreensão nos momentos de ausência.

Aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná), que contribuíram para o meu aperfeiçoamento e crescimento profissional, sempre com dedicação e sabedoria.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* de Campo Mourão, pela oportunidade para a realização deste curso de mestrado.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Enfim, a todos os amigos e familiares, pelo apoio e contribuição de forma direta ou indireta para a realização desta pesquisa. Muito Obrigada!

Mesmo as estrelas, que parecem tão numerosas, são como areia, são como poeira ou menos que poeira na enormidade do espaço.”

Carl Sagan

RESUMO

A astronomia é uma ciência que está presente no cotidiano do homem desde os tempos remotos. Desde a antiguidade ele demonstrava interesse e curiosidade de saber a origem e evolução dos corpos celestes. Esse fascínio pela astronomia tinha várias razões, entre elas, a necessidade de medir o tempo. A grande revolução na astronomia aconteceu com Galileu no século XVIII. A partir daí, passou a ser vista como um marco no conhecimento e um constante desafio para o homem. Surgiu aí uma nova era para o desenvolvimento da astronomia. No século XX, com a chegada da era espacial, abriu-se um campo sem limites, com observatórios sofisticados para o estudo das estrelas. A partir desse fato, muitos questionamentos a respeito da evolução do Sol começaram a ser explicados. Diante disso, a necessidade desse ramo do saber passou a fazer parte do cotidiano dos alunos, os quais demonstram interesse e fascínio. Contudo, nem sempre esses conteúdos são trabalhados de forma satisfatória no Ensino Fundamental. Dessa forma, esta pesquisa objetivou investigar os conhecimentos prévios dos alunos, desenvolver, aplicar e avaliar uma proposta de ensino para o ensino de evolução estelar à luz dos Três Momentos Pedagógicos, no 9º Ano do ensino fundamental. A proposta didática foi aplicada em 2023 em uma turma de 9º Ano de um Colégio de Ensino Regular, na região noroeste do Paraná, com 30 alunos. Tal proposta constitui-se como produto educacional do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. A pesquisa está fundamentada na metodologia de pesquisa qualitativa, uma vez que esse trabalho de pesquisa foi desenvolvido diretamente com os alunos. Para isso, foram utilizadas situações problematizadoras, textos, imagens e vídeos. Foram utilizadas 15 aulas de ciências para a implementação da proposta didática. Constatou-se que os alunos tiveram boa aceitação dos materiais e atividades propostas e que essas foram de grande valia para evidenciar a construção do conhecimento. Verificou-se ainda, que os alunos conseguiram compreender e relacionar o processo de evolução estelar com o ciclo de vida do Sol, bem como sua morte e que o final de uma estrela depende de sua massa. Na última parte desse trabalho, os alunos demonstraram a construção do conhecimento de forma significativa e com autonomia. A avaliação pelos alunos foi satisfatória, adquiriram conhecimentos significativos a partir desse trabalho. Mostrou ainda, que um bom trabalho demanda planejamento prévio, com metodologia que envolva o aluno no processo de ensino e aprendizagem, de forma que o conhecimento tenha sentido para o aluno.

Palavras chave: proposta didática; três momentos pedagógicos; astronomia; construção do conhecimento.

ABSTRACT

Astronomy is a science that has been present in man's daily life since ancient times. Since ancient times, he has shown interest and curiosity in knowing the origin and evolution of celestial bodies. This fascination with astronomy had several reasons, including the need to measure time. The great revolution in astronomy happened with Galileo in the 18th century. From then on, it began to be seen as a milestone in knowledge and a constant challenge for man, a new era for the development of astronomy emerged. In the 20th century, with the arrival of the space age, a limitless field opened up with sophisticated observatories for the study of stars. From this fact, many questions regarding the evolution of the Sun began to be explained. Therefore, the need for this branch of knowledge became part of the students' daily lives, who demonstrated interest and fascination. However, these contents are not always covered satisfactorily in Elementary Education. Thus, this research aimed to investigate students' prior knowledge, develop, apply and evaluate a teaching proposal for stellar evolution in light of the Three Pedagogical Moments in the 9th Year of elementary school. The didactic proposal was applied in 2023 in a 9th year class at a Regular Education College, in the northwest region of Paraná, with 30 students. This proposal constitutes an educational product of the National Professional Master's Degree in Physics Teaching. The research is based on qualitative research methodology, since this research work was developed directly with the students, for this, problematizing situations, texts, images and videos were used. 15 science classes were used to implement the didactic proposal. It was found that the students had a good acceptance of the proposed materials and activities, and that these were of great value in demonstrating the construction of knowledge. It was also verified that the students were able to understand and relate the process of stellar evolution with the life cycle of the Sun, as well as its death, and that the end of a star depends on its mass. In the last part of this work, students demonstrated the construction of knowledge in a meaningful and autonomous way. The evaluation by the students was satisfactory, they acquired significant knowledge from this work. It also showed that good work requires prior planning, with a methodology that involves the student in the teaching-learning process, so that the knowledge has meaning for the student.

Keywords: didactic proposal; three pedagogical moments; astronomy; construction of knowledge.

LISTRA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01 – Linhas de Fraunhofer.....	19
Figura 02 – Representação da propagação dos campos magnéticos (E) e magnéticos (B) em uma onda eletromagnética que se propaga no eixo x.....	23
Figura 03 – Exemplos de algumas ondas eletromagnéticas mais reconhecidas pelas pessoas.....	24
Figura 04 – Espectro eletromagnético e sua divisão em diferentes tipos de radiação eletromagnética.....	25
Figura 05 – Divisão das cores que compõe a luz visível em função do comprimento de onda e frequência.....	26
Figura 06 – Dispersão da luz branca do Sol ao passar por um prisma.....	27
Figura 07 – Representação da cavidade de um corpo negro na qual toda a radiação incidente acaba sendo absorvida.....	31
Figura 08 – Curvas espectrais de corpos negros em distintas temperaturas.....	32
Figura 09 – Modelo atômico de Rutherford.....	40
Figura 10 – Linhas de emissão de alguns átomos.....	42
Figura 11 – Diagrama H-R para classificação de astros.....	43
Figura 12 – Espectros observados em 7 estrelas de diferentes temperaturas	46
Figura 13 – Atividade com quadros informativos.....	59
Figura 14 – Nebulosas produzidas pelos alunos.....	60
Figura 15 – Atividade com elementos químicos produzidos pelas estrelas.....	62
Figura 16 – Alunos assistindo vídeo com óculos VR.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação espectral de Haward	48
Quadro 2 - Cronograma de implementação do produto educacional.....	51
Quadro 3 - Organização da proposta didática com datas e horários.....	54
Quadro 4 - Habilidades esperadas para o 9º Ano com o objeto de conhecimento de evolução estelar.....	58

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1	Três Momentos Pedagógicos.....	14
2.2	Uma Introdução a Astrofísica	17
2.2.1	Espectroscopia e os espectros atômicos.....	17
2.2.2	Radiação Eletromagnética.....	22
2.2.3	Espectro Eletromagnético.....	24
2.2.4	Relação entre comprimento de onda e temperatura.....	28
2.2.5	Radiação do Corpo Negro.....	29
2.2.5.1	<u>Evolução histórica da radiação do corpo negro.....</u>	<u>31</u>
2.2.5.2	<u>Aspectos matemáticos da teoria da radiação do corpo negro.....</u>	<u>35</u>
2.2.6	Modelo de Bohr.....	38
2.2.6.1	<u>Evolução histórica do modelo de Rutherford para o modelo de Bohr...</u>	<u>38</u>
2.2.6.2	<u>O modelo de Bohr.....</u>	<u>40</u>
2.2.7	Diagrama H-R.....	42
2.2.8	Classificação espectral das estrelas.....	44
3	ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO.....	49
3.1	Caracterização do trabalho.....	49
3.2	Implementação da proposta.....	50
3.3	Instrumentos de constituição de dados na proposta didática.....	52
3.4	Proposta de ensino apresentada como produto educacional.....	53
4	ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	56
4.1	Desenvolvimento.....	56
4.1.1	Módulo 1.....	57
4.1.2	Módulo 2.....	61
4.1.3	Módulo 3.....	62
4.1.4	Módulo 4.....	63
4.1.5	Módulo 5.....	64
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	70
	REFERÊNCIAS.....	73
	APÊNDICE A – PRODUTO EDUCACIONAL.....	77

1 INTRODUÇÃO

O ensino de ciências não requer apenas que o professor tenha domínio das teorias científicas e de suas relações com as tecnologias, mas é necessário buscar metodologias capazes de levar o aluno a refletir sobre o mundo da ciência e os fenômenos que o cercam.

A área de ciências da natureza precisa garantir aos alunos do ensino fundamental o acesso à diversidade de conhecimento científico produzido ao longo da história.

A Base Nacional Comum Curricular (2019) traz como uma necessidade promover maior aproximação dos processos, práticas e procedimentos da investigação científica. Dessa forma, espera-se que os alunos tenham um olhar consciente sobre o mundo que os cerca, fazendo escolhas e intervenções conscientes, alicerçadas nos princípios do bem comum e da sustentabilidade. Para isso, presume-se elaborar situações de aprendizagem a partir de situações desafiadoras, para que os alunos sejam estimulados e tenham interesse pela curiosidade científica e, assim, possam levantar, analisar e reproduzir resultados, bem como chegar a conclusões, propondo possíveis intervenções.

O componente curricular ciências está organizado em áreas de conhecimento. Dentro da área de conhecimento Terra e Universo, aborda o tema astronomia, que é considerada a mais antiga das ciências.

O ensino de astronomia nos anos finais do ensino fundamental está distribuído nas quatro séries. Mas é no 9º ano que se estuda o ciclo evolutivo do Sol, como base no conhecimento da evolução estelar, considerando os efeitos desse sobre a Terra.

Entretanto, os conteúdos de astronomia no ensino fundamental nem sempre são trabalhados de forma a garantir um conhecimento eficaz, a partir do qual o aluno possa refletir sobre os fenômenos que estão a sua volta, tomando decisões conscientes.

Pesquisas mostram que essa deficiência no ensino de astronomia se deve à falta de formação acadêmica e continuada dos professores. De acordo com Buffon e Neves (2015), os trabalhos publicados entre 1998 e 2013 mostram que, apesar de grande volume, poucos são voltados à formação de professores no ensino de

astronomia. É notável que, nos últimos anos, essa área encontra-se em desenvolvimento, mas há muito ainda a ser feito.

Conforme Langui e Nardi (2012), há falta de formação de professores em relação às novas descobertas e informações a respeito dos fenômenos astronômicos, que são de suma importância e poderiam ser trabalhados em sala de aula.

Essa falta de formação por parte das instituições, segundo Bretones (1999), muitos cursos de formação inicial não oferecem a disciplina de astronomia. Com isso, muitos professores de ciências, dado a sua falta de conhecimento, não trabalham os conteúdos e, quando trabalham, são com aulas expositivas, restringindo apenas ao uso do livro didático, gerando uma aprendizagem mecânica, sem análise e reflexão, ou seja, sem construção do conhecimento.

E isso é lamentável, pois é uma área que os alunos gostam e têm muita curiosidade. Eles estão em contato com o mundo digital da informação, ou seja, têm muitas informações, mas não possuem embasamento científico para construir conhecimento sem o auxílio da educação formal.

Diante dessa necessidade, desenvolvemos uma proposta didática de produto educacional junto ao Mestrado Nacional em Ensino Profissional em Ensino de Física, a qual visa contribuir para o ensino de astronomia, especificamente no objeto de conhecimento evolução estelar.

A elaboração desta proposta está alicerçada nos pressupostos teóricos dos Três Momentos Pedagógicos (TMP), conforme Delizoicov e Angotti (1994).

A abordagem dos Três Momentos Pedagógicos vem justamente com a perspectiva de valorizar o conhecimento prévio do aluno e, a partir desse, construir seu próprio conhecimento.

No primeiro momento, são apresentadas questões para discussão e uma problematização. Esse primeiro momento vem estimular os alunos a falarem o que já sabem a respeito do conteúdo.

No segundo momento, a resolução e a compreensão da problematização inicial serão sistematizadas por meio de definições, conceitos e relações, constituindo a organização do conhecimento.

Por último, ocorre a aplicação do conhecimento. Essa última etapa constitui o terceiro momento pedagógico, que visa a apresentação do conhecimento que vem sendo construído pelo aluno, por meio da problematização inicial e outras situações

que não estejam diretamente ligadas a ela, mas são resolvidos pelo mesmo conhecimento.

Reconhecendo a necessidade e a dificuldade dos professores em trabalhar astronomia no ensino fundamental, esta proposta didática tem como objetivo principal desenvolver, aplicar e avaliar uma proposta de ensino para o tema evolução estelar, a partir dos Três Momentos Pedagógicos no 9º Ano do Ensino Fundamental.

Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os conhecimentos prévios dos alunos por meio da problematização inicial;
- Verificar como a proposta de ensino apresentada impacta na motivação dos alunos para o estudo da física;
- Avaliar os recursos didáticos utilizados e o seu potencial contributivo no para o ensino aprendizagem de evolução estelar.

Dessa forma, a Proposta Didática está organizada em 5 capítulos, sendo que:

O capítulo 1 consiste na Introdução do trabalho¹.

O capítulo 2 constitui-se da Fundamentação Teórica tanto de Física, que aborda os conteúdos relacionados à astrofísica, que sustentam todo o conhecimento construído ao longo da história sobre evolução estelar quanto de ensino, que aborda a proposta dos Três Momentos Pedagógicos.

O capítulo 3 aborda os encaminhamentos metodológicos que fundamentaram nossa pesquisa bem como as estratégias e atividades utilizadas no desenvolvimento do trabalho.

O capítulo 4 é formado pelo relato de experiência, análise e discussão dos resultados encontrados com a implementação da Proposta Didática.

O capítulo 5 é constituído das considerações finais. O texto apresenta as considerações realizadas a partir dos dados levantados e análise por meio do método interpretativo e da observação participante.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma das dificuldades para um(a) professor(a) de ciências é como trabalhar os conteúdos relacionados à astronomia. Considerando que é uma área que os alunos têm muita curiosidade, têm muitas informações adquiridas através de vídeos e meios de comunicação. No entanto, falta conhecimento. Para que o mesmo seja construído, é necessário que essas informações tenham relação com o conhecimento que o aluno já possui, ou seja, com os conhecimentos prévios.

Conforme Moreira (2010), à medida que o conhecimento prévio serve de base para a atribuição de significado a essas novas informações, ele também se modifica. Por outro lado, o(a) professor(a) também apresenta uma dificuldade intrínseca em relação aos conteúdos de astronomia.

Existem várias formas teórico-práticas que trazem e explicam como planejar um conteúdo, e essas diferentes formas variam de acordo com as correntes de aprendizagem.

O objetivo central desta pesquisa é desenvolver, aplicar e avaliar uma proposta de ensino para o tema Evolução Estelar no 9º ano do Ensino Fundamental a partir dos Três Momentos Pedagógicos (TMP) de Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2018) e das correntes de aprendizagem cognitiva a humanista.

2.1 Os Três Momentos Pedagógicos

Os TMP, segundo Muechem e Delizoicov (2014), surgiram da Coleção Magistério do 2º Grau no livro de Física (1990) e tiveram sua propagação graças ao livro de autoria dos professores Demétrio Delizoicov e José André Angotti. Em 2002, os autores publicaram um novo livro com o título “Ensino de Ciências fundamentos e método”, com a participação da professora Marta Maria Pernambuco. Os TMP foram propostos e investigados pelos professores acima citados durante a formação de professores na Região de Guiné-Bissau. Essa proposta surgiu da transposição didática da concepção de Paulo Freire (1987), balizada por temas geradores. A concepção freireana prioriza uma educação dialógica, na qual o professor deve ser mediador entre o conteúdo científico que o aluno estuda e as situações que vivenciam no seu cotidiano.

De acordo com Moreira (2014), a educação dialógica requer:

Apropriação da significação dos conteúdos, a busca de relações entre os conteúdos e entre eles e aspectos históricos, sociais e culturais do conhecimento. Requer também que o educando se assuma como sujeito do ato de estudar e adote uma postura crítica e sistemática (Moreira, 2014, p. 4).

Portanto, ensinar não é transferir conhecimentos, mas criar condições para que o aluno construa seu próprio conhecimento. Nessa perspectiva, a abordagem dos TMP é a que vem ao encontro do objetivo principal desta pesquisa. Sendo eles apresentados como: Problematização Inicial, Organização do conhecimento e Aplicação do Conhecimento.

No primeiro momento tem-se:

Problematização Inicial: apresentam-se questões ou situações reais que os alunos conhecem e presenciam e que estão envolvidas nos temas. Nesse momento pedagógico, os alunos são desafiados a expor o que pensam sobre as situações, a fim de que o professor possa ir conhecendo o que eles pensam. Para os autores, a finalidade desse momento é propiciar um distanciamento crítico do aluno ao se defrontar com as interpretações das situações propostas para discussão, e fazer com que ele sinta a necessidade da aquisição de outros conhecimentos que ainda não detém (Delizoicov; Angotti, 1994, p. 54).

Ao analisar o momento da problematização inicial, percebe-se a importância dessa etapa, pois é o momento de introduzir o conteúdo sem apresentá-lo diretamente. É o momento que estimula a curiosidade ingênua e busca a curiosidade crítica, ou seja, estimula a curiosidade, o querer aprender. Nessa etapa, o professor conhece os conhecimentos prévios dos alunos através das suas falas e suas conjecturas.

De acordo com Moreira (2021), situação problema são situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas para isso o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente.

Nesse sentido, é o momento de deixar os alunos falarem o que sabem sobre o tema, o professor tem a função de instigá-los, questioná-los, levando-os a levantar hipóteses (mas sem dar informações e explicações nesse momento), abrindo espaço para que ele se sinta sujeito do processo, satisfazendo a educação crítico-dialógica transformadora.

No segundo momento dispõe-se:

Organização do Conhecimento: Nesse momento, o conhecimento em Ciências Naturais necessário para a compreensão do tema e da problematização inicial será sistematicamente estudado sob orientação do professor. Serão desenvolvidas definições, conceitos, relações. O conteúdo é programado e preparado em termos instrucionais para que o aluno o apreenda de forma a, de um lado, perceber a existência de outras visões e explicação para as situações e fenômenos problematizados, e, de outro, a comparar esse conhecimento com o seu, para usá-lo para melhor interpretar aqueles fenômenos e situações (Delizoicov; Angotti, 1994, p. 55).

Dessa forma, o conhecimento em ciências e física são necessários para a compreensão do tema e da problematização inicial, que será sistematizado e explorado. É o momento em que os conhecimentos científicos acumulados historicamente serão trabalhados com os alunos, com o professor fazendo a transposição didática, que muitas vezes se faz necessária. Para isso, utilizam-se diversas estratégias metodológicas para o desenvolvimento dos conceitos e a construção do conhecimento pelos alunos.

Nesta proposta, fez-se o uso de textos, estudo em grupos, vídeos, atividades, produção de texto e entrevista.

No terceiro momento pedagógico é realizada a aplicação do conhecimento. Os autores Delizoicov e Angotti (1994, p. 55) afirmam que:

Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelo aluno, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinaram o seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento.

Nesse contexto, é importante destacar que o aluno percebe que o conhecimento é uma construção historicamente determinada, que a partir da problematização inicial, as primeiras conjecturas, feitas por eles, evoluíram para um conhecimento científico construído e internalizado.

Para isso, é necessário oportunizar a exploração e a expansão do conhecimento de forma que o aluno apresente esse conhecimento por meio de atividades.

Dessa forma, nossa proposta didática vem com o objetivo de corroborar para o ensino de Evolução Estelar, utilizando-se de atividades, com as quais é possível verificar a construção e posterior aplicação do conhecimento pelos alunos, a fim de que possam se posicionar como sujeito crítico.

2.2 Uma Introdução a Astrofísica

A astronomia é uma das ciências mais antigas. É um ramo do conhecimento que desde a antiguidade esteve intimamente ligado ao desenvolvimento do pensamento humano. As observações, a determinação das posições, o movimento dos astros, até o conhecimento da natureza física e química desses corpos celestes, vários foram os fatores que impulsionaram as pesquisas e o desenvolvimento da Física.

A física passou por um grande desenvolvimento no século XIX. Os grandes avanços ocorridos nas mais diversas subáreas da Física permitiram que novos estudos começassem a surgir, levando o estudo dos astros a um novo nível, muito mais sofisticado do que a simples observação dos astros por meio de meros telescópios (Rocha, 2011). Surgia assim um novo seguimento da astronomia, a astrofísica estelar.

A astrofísica reúne os conhecimentos de astronomia e física para interpretar e expandir os conhecimentos sobre o universo. A astrofísica estelar estuda a origem e evolução das estrelas, que é o foco principal desta pesquisa.

A Astrofísica utiliza instrumentos eletrônicos bem específicos, juntamente aos cálculos matemáticos para realização de suas observações e interpretação dos fenômenos físicos apresentados pelos corpos celestes. Para que a Astrofísica se desenvolvesse e tivesse êxito, foi imprescindível que ocorresse o desenvolvimento e aperfeiçoamento da Espectroscopia, ou seja, do estudo e compreensão das radiações eletromagnéticas, luz, bem como sua associação com outros entes, como a temperatura dos corpos. Embora pareça simples, tais associações só foram se concretizar após as intervenções de Planck para corrigir a Catástrofe do ultravioleta, ao estudar a Radiação de Corpo Negro (Rocha, 2011), uma das grandes bases para o desenvolvimento da Astrofísica Estelar.

A seguir, serão apresentados conceitos importantes que contribuíram para o desenvolvimento da espectroscopia.

2.2.1 Espectroscopia e os Espectros Atômicos

A espectroscopia é uma técnica que estuda a matéria através de sua emissão, ou então de sua interação com a luz, ou seja, com as ondas eletromagnéticas. Ela

pode ser utilizada para estudar a composição, estrutura e as propriedades dos mais variados tipos de matéria, através de medidas diretas ou indiretas (Valeur, 2001), sendo extremamente útil para a Astronomia, visto que não há outra forma de alcançar ou interagir com os astros, que não através da luz.

Segundo Oliveira e Saraiva (2014, p. 217), a espectroscopia pode ser definida como “o estudo da luz através de suas cores componentes, que aparecem quando a luz passa através de um prisma ou de uma rede de difração. A sequência de cores é chamada de espectro”.

A espectroscopia tem seu início com os experimentos de Issac Newton, por volta de 1670, na observação da luz branca dispersa por um prisma, caracterizando o que chamou-se de “*spectrum*”. Embora pareça simples realizar a decomposição da luz branca, o aperfeiçoamento da espectroscopia só ocorre no início do século XIX (1802), com William Hyde Wollaston, com a confecção do primeiro espectrômetro. Como destacam Oliveira e Saraiva (2014), a espectroscopia faz-se essencial para o desenvolvimento da astronomia pois é possível caracterizar as propriedades físicas e químicas de astros e estrelas através de medidas diretas e indiretas de seus espectros.

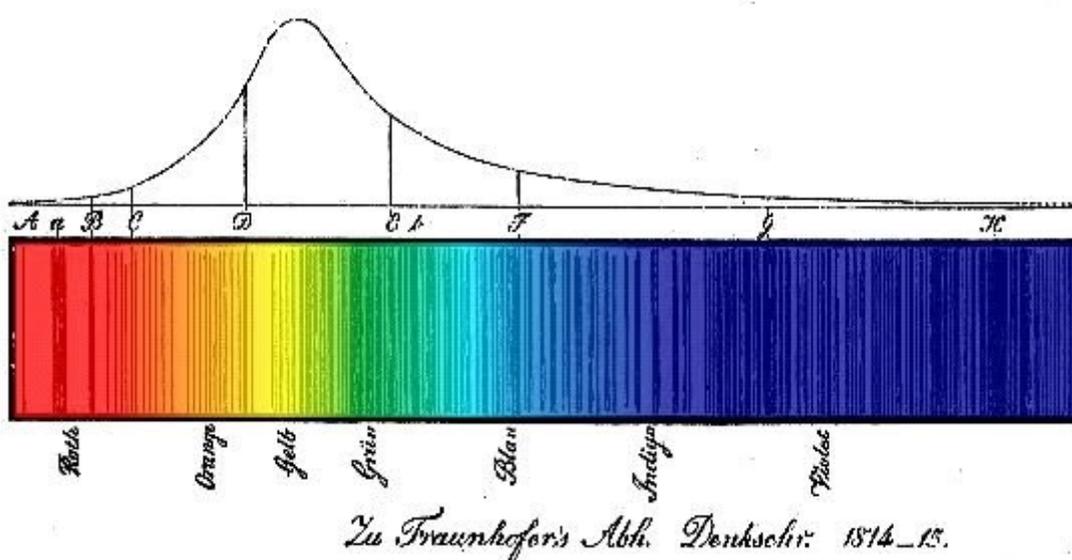
Ao estudar as emissões das estrelas e comparar tais resultados com as emissões dos mais diversos elementos isolados aqui na Terra, faz com que os cientistas consigam caracterizar, com grande precisão, a composição dos mais variados astros luminosos. Tal fato se dá por conta da ideia desenvolvida no modelo atômico de Rutherford-Bohr, que retrata que cada átomo possui camadas e níveis de energia muito bem definidos, nos quais os elétrons orbitam sem que ganhem ou percam energia.

Contudo, uma vez que estes elétrons acabam recebendo quantidades bem definidas de energia $E = h \cdot f$, estes acabam por mudar de camada, retornando, posteriormente para onde estavam inicialmente, e emitindo tal energia para o meio (Eisberg; Resnick, 1979). Desta forma, cada elemento químico acaba por emitir linhas bem características, as quais são utilizadas na espectroscopia para caracterizar os elementos.

Prosseguindo um pouco mais sobre como a espectroscopia acabou por dar origem ao estudo da Astrofísica, em 1814 o físico alemão Josef Von Fraunhofer, um fabricante de lentes, repetiu a experiência de Newton, observando o espectro contínuo do Sol através de uma fenda estreita e de um sistema de prismas, utilizado para

dispersar a luz solar. Entretanto, diferente do que se pensava, o espectro do Sol não era tão contínuo como se esperava. Pelo contrário, ele apresentava centenas de linhas escuras (mais de 600), as quais ficaram conhecidas como linhas de Fraunhofer, como pode ser observado na Figura 1. Ele elaborou normas para a comparação de linhas espectrais, nomeando-as com letras maiúsculas de A até I para as linhas mais fortes, e minúsculas para as linhas mais fracas. Contudo, não foi capaz de explicar o motivo de tal fenômeno.

Figura 1 - Linhas de Fraunhofer



Fonte: Leonardo (2005)

Na Figura 1 é possível observar na parte inferior o espectro de emissão do Sol, juntamente às linhas de Fraunhofer, enquanto na parte superior, observa-se a curva da intensidade (brilho) de emissão em função do comprimento de onda. Tal relação é a base da espectroscopia estudar como se dá a intensidade de luz refletida ou emitida, em função da frequência ou do comprimento de onda.

Fraunhofer, em seus estudos, constatou o que fora retratado aqui, previamente. Os processos físicos e químicos que ocorrem com os corpos celestes são os mesmos que ocorrem na Terra, criados e observados dentro dos laboratórios. Além disso, ele ainda foi capaz de observar as linhas espectrais das estrelas Sirius, Castor, Pollux, Capella, Betelgeuse e Procyon, obtendo resultados distintos do espectro solar. Os resultados diferiam não só no que diz respeito às linhas de Fraunhofer, mas também aos espectros de intensidade em função do comprimento

de onda. Tal fato, entretanto, para ser completamente explicado, iria precisar de mais quase um século de estudos, pois pauta-se na explicação de Planck para a radiação do corpo negro, na qual há uma relação bem definida entre a intensidade de emissão e o pico de emissão de um corpo, não relacionado à sua composição, mas sim a sua temperatura (Eisberg; Resnick, 1979).

Foi somente em 1859 que os pesquisadores Gustav Kirchhoff e Robert Bunsen explicaram o fenômeno das linhas de Fraunhofer no espectro do Sol. Tais explicações relacionaram-se ao que Bunsen havia observado em sua invenção ocorrida em 1856, um bico de gás, hoje conhecido como bico de Bunsen, o qual apresentava uma chama incolor. Esse equipamento é constituído de um tubo de metal vertical, ligado a uma base com uma fonte de combustível. Ele produz uma chama incolor, de modo que quando um elemento químico era aquecido pela chama do bico de Bunsen, as cores emitidas eram as do elemento químico ali presente e não da chama.

Bunsen e Kirchhoff, realizaram esse procedimento de queima com diversos elementos químicos, e tiveram a ideia de que as cores seriam melhor distinguidas se passadas através de um prisma. Com o auxílio de um prisma, colocado na frente da chama, passaram a identificar as linhas emitidas pelos elementos químicos aquecidos pelo bico. Eles notaram que os gases quentes utilizados nos experimentos não emitiam um espectro contínuo. Eles perceberam que cada elemento gerava uma série de linhas diferentes, eram brilhantes com comprimento de onda específicos para cada elemento, como futuramente seria explicado no modelo de Rutherford-Bohr. As linhas encontradas por Kirchhoff eram brilhantes, enquanto as de Fraunhofer eram escuras. Através de seus estudos, Kirchhoff queria confirmar se as linhas escuras descobertas por Fraunhofer eram linhas de sódio. Segundo Oliveira e Saraiva (2014):

Para isso, ele passou a luz do Sol através de uma chama de sódio, esperando que as linhas do sódio preenchessem as linhas escuras do Sol. Para sua surpresa, as linhas D ficavam mais fortes, mais escuras. Ele, então, substituiu o Sol por um sólido quente. A luz do sólido que passava pela chama apresentava as mesmas linhas escuras do Sol, na posição das linhas do sódio. Ele, então, concluiu que o Sol era um gás ou sólido quente, envolto por um gás mais frio. Essas camadas mais frias produziam as linhas escuras do Sol. Comparando o espectro, descobriu linhas de Mg, Ca, Cr, Co, Zr, Ba, e Ni no Sol (Oliveira; Saraiva, 2014, p. 218).

Kirchhoff foi um dos grandes estudiosos da espectroscopia, como se pode notar nos relatos históricos de seus experimentos. Seguindo seus estudos, ele

elaborou três leis para a espectroscopia, com o objetivo de explicar cada tipo de espectro: espectro contínuo, espectro de absorção e espectro de emissão.

1- Espectro de emissão contínuo: É o espectro produzido por um corpo opaco, quente, sólido, líquido ou gasoso. O espectro contínuo não apresenta linhas, nem brilhantes, nem escuras. Filamento de uma lâmpada de tungstênio, uma corrente de lava fundida ou a luz emitida pela superfície das estrelas, são exemplos desse tipo de espectro (Napoleão; 2018).

2- Espectro de absorção: Esse espectro ocorre quando um espectro contínuo passa por um gás que se encontra a uma temperatura menor. O gás frio faz com que linhas escuras apareçam, as linhas de absorção, que correspondem aos elementos químicos presentes no gás. São exemplos desse espectro, as atmosferas das estrelas (Napoleão; 2018).

3- Espectro de emissão: Esse espectro é produzido por gases pouco densos (transparentes), a altas temperaturas e baixas pressões. Formam-se linhas de emissão brilhantes, sendo que o número e a cor dessas linhas correspondem aos elementos químicos presentes no gás. Esse tipo de espectro pode ser encontrado em uma lâmpada fluorescente (Napoleão; 2018).

Segundo Napoleão (2018), em algumas estrelas podem ser encontrados os três tipos de espectros combinados. É um indicativo das diferentes temperaturas que ocorrem, de acordo com os distintos processos físicos e químicos distintos que nela acontecem.

Pode-se dizer então, que os trabalhos de Kirchhoff e Busen foram essenciais para o desenvolvimento da espectroscopia, impactando profundamente o entendimento sobre os espectros observados nas estrelas. Cada elemento químico apresenta seu espectro único de emissão, o qual pode ser considerado como uma impressão digital deste elemento. Com base na assinatura destes elementos, é possível então determinar a composição das estrelas, com base em suas emissões e na vasta biblioteca de espectros de emissão dos elementos, criada por Kirchhoff e Bunsen. Através do espectro de uma estrela, é possível determinar sua temperatura, os elementos químicos presentes, a luminosidade, densidade e velocidade, saber sua origem e evolução, ou seja, e ainda qual o tempo de vida dessa estrela.

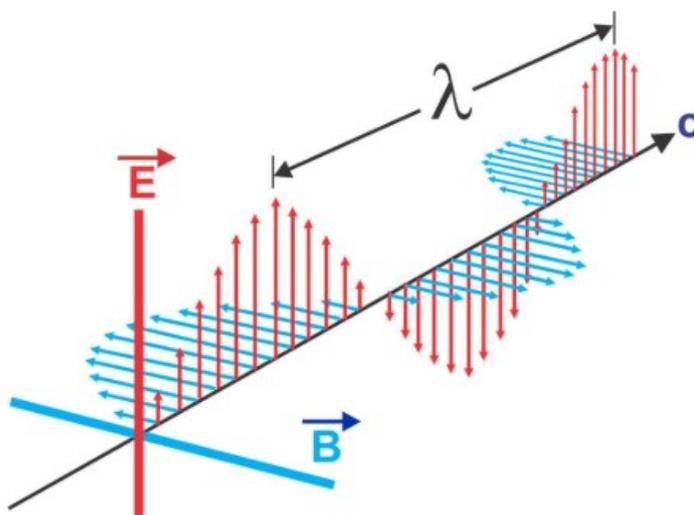
2.2.2 Radiação Eletromagnética

Na segunda metade do século XVII, James Clerk Maxwell, físico escocês, mostrou teoricamente que quando uma carga elétrica está oscilando (acelerando e desacelerando), ela dá origem a campos elétricos e magnéticos que também oscilam enquanto se propagam no espaço. E esses dois campos estariam intimamente ligados um ao outro, de tal modo que não poderiam mais ser considerados separadamente. A tal conjunto de campos foi dado o nome de campo eletromagnético. Vale ressaltar que tais equações e estudos apresentados por Maxwell são, na realidade, resultado de uma série de estudos que já estava sendo desenvolvidos nos campos da eletricidade e magnetismo (Machado, 2002).

A hipótese de Maxwell permitiu prever teoricamente a existência das ondas eletromagnéticas. Hipótese essa que foi confirmada experimentalmente mais tarde, em 1887, após sua morte, pelo físico alemão Heinrich Hertz, que conseguiu pela primeira vez produzir ondas eletromagnéticas.

As ondas eletromagnéticas são formadas pela junção dos campos magnético e elétrico, sendo capazes de transportar energia e informação. Outra característica importante da onda ou radiação eletromagnética são os campos elétrico (E) e magnético (B), que são perpendiculares entre si, e ainda, são também perpendiculares ao eixo pelo qual a onda se propaga, isto é, assim como se apresenta na Figura 2, para o caso de um campo E oscilando no eixo y, e um campo B oscilando no eixo z, tem-se como resultado a onda eletromagnética se propagando no eixo x. Assim, as ondas eletromagnéticas caracterizam-se como ondas transversais (Halliday; Resnick; Walker, 2020a). A Figura 2 mostra a representação de uma onda eletromagnética.

Figura 2 - Representação da propagação dos campos elétrico (E) e magnético (B) em uma onda eletromagnética (luz) que se propaga no eixo x.

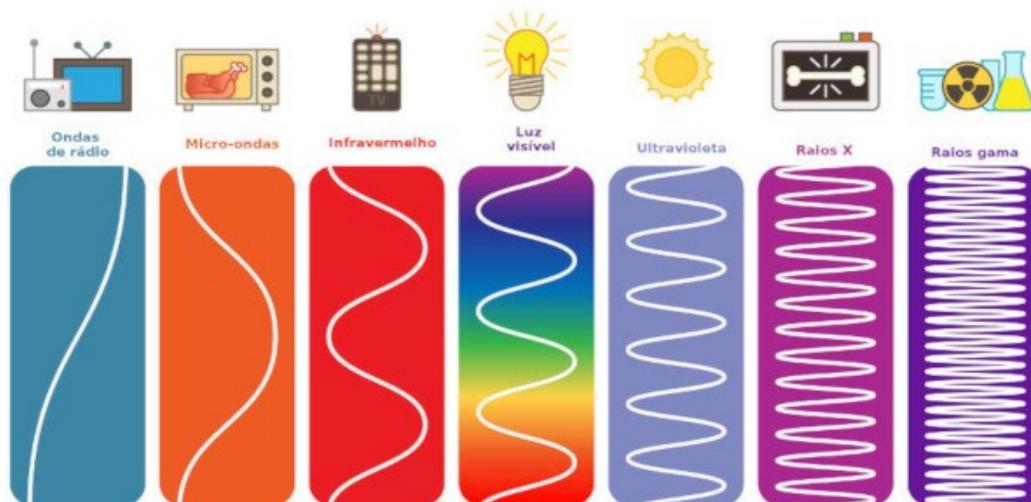


Fonte: Batista et al. (2021)

Embora a ideia de onda possa parecer algo simples, existem na natureza uma infinidade de ondas, as quais diferem entre si por seu comprimento de onda (λ), e/ou sua frequência de oscilação (f). Como retratam Halliday, Resnick e Walker (2020a) em seu texto, as ondas eletromagnéticas possuem como característica muito importante o fato de se propagarem com uma velocidade padrão, quando no ar ou no vácuo, tendo seu valor aproximado de $3,0 \cdot 10^8$ m/s. Desta forma, como já se conhece do estudo da física básica, a velocidade de propagação de uma onda é dada por $v = \lambda \cdot f$. Sendo assim, mantendo-se fixa a velocidade de propagação da onda, há uma infinidade de combinações entre λ e f , de tal forma que existem ondas com algumas dezenas de metros de comprimento (ondas de rádio), e ondas com poucos picômetros (10^{-12} m), cada qual com suas características em especial.

O conjunto de todas as ondas eletromagnéticas acaba sendo dividido em sete principais categorias, de acordo com suas propriedades ou características básicas, sendo elas: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raio X e raio gama. Na Figura 3 são apresentados os sete grupos, bem como uma pequena representação sobre a diferença em seus comprimentos de onda. Vale ressaltar que na figura são feitas representações ilustrativas, de forma a elucidar o que se deseja apresentar.

Figura 3 – Exemplos de algumas ondas eletromagnéticas mais conhecidas pelas pessoas, juntamente a um exemplo representativo dos comprimentos de onda associados a cada uma.



Fonte: Helerbrock (2023a)

Entender um pouco melhor sobre a radiação eletromagnética é crucial para o desenvolvimento da espectroscopia, e conseqüentemente, da Astrofísica Estelar. Mais do que sua utilização simplesmente na caracterização das estrelas e dos demais astros, entender sobre as radiações emitidas por determinados astros é imprescindível para poder entender os perigos envolvidos em determinados processos de transformação estelar.

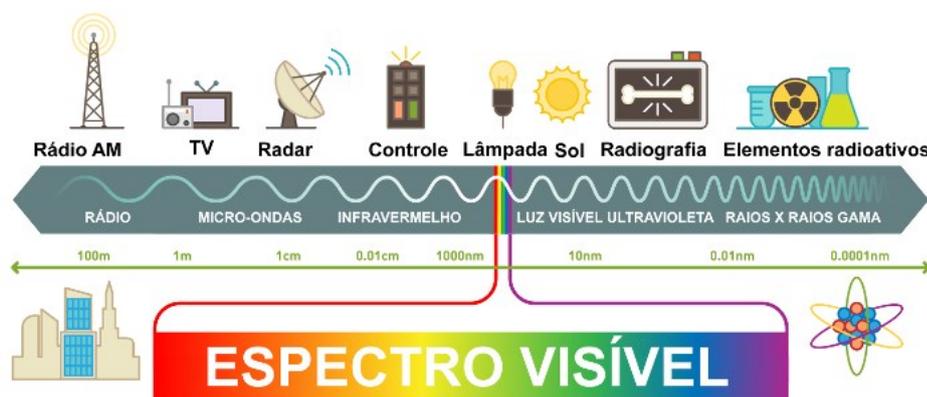
Além disso, é importante destacar que a luz visível nem sempre é tão importante quanto se imagina, quando se fala sobre a descoberta de novos planetas, criação e aniquilação de estrelas, dentre outras coisas. Muitas vezes é necessário dar foco às radiações não visíveis, principalmente quando o intuito é, por exemplo, estudar a explosão de estrelas (Schutz, 2005).

2.2.3 Espectro Eletromagnético

O conjunto de todas as ondas eletromagnéticas recebe o nome de espectro eletromagnético. Este, por sua vez, é formado pelas sete categorias citadas anteriormente, sendo elas: ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, luz visível, radiação ultravioleta, raio X e raio gama. Todas essas radiações têm a mesma natureza, porém diferem-se em relação a frequência e comprimento de onda. Na

Figura 4 são apresentadas estas divisões do espectro eletromagnético, indicando os comprimentos de onda associados a cada faixa de radiação.

Figura 4 - Espectro eletromagnético e sua divisão em diferentes tipos de radiação eletromagnética



Fonte: Helerbrock (2023b)

O espectro eletromagnético está organizado da seguinte forma, segundo o comprimento de onda: à esquerda estão os espectros com comprimento de ondas maiores, menores frequências e menor energia, e com menor poder de penetração; e à direita estão os espectros com menores comprimentos de onda, maior frequência e maior energia, as radiações mais nocivas. Segundo esta divisão, um pouco à esquerda da parte central, observa-se uma pequena região, conhecida como espectro visível, ou seja, a luz que os olhos humanos são capazes de perceber. É importante ressaltar que esta radiação visível está muito próxima aos comprimentos de onda que são considerados nocivos ao ser humano, que são parte do ultravioleta, e todas as ondas de menores comprimentos de onda a partir desta (Okuno; Vilela, 2005).

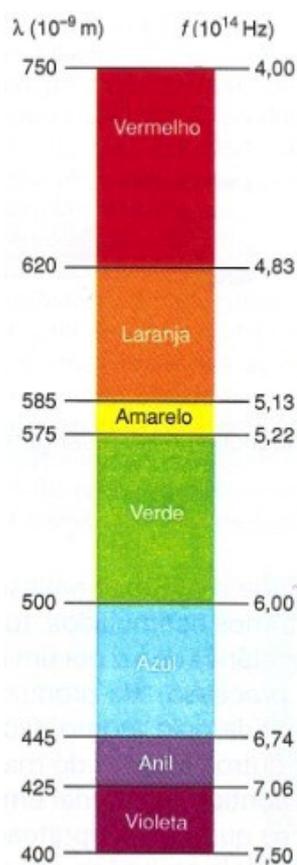
Dentre as radiações, que em doses regulares, não afetam a saúde, têm-se a luz visível, a radiação infravermelha (como radiação térmica, emitida por corpos aquecidos), as micro-ondas e as ondas de rádio. Como suas frequências são muito baixas, e, em consequência, sua energia, tais ondas são consideradas inofensivas ao ser humano. À direita do espectro visível encontram-se os raios ultravioleta (UV), os raios X e os raios gama. Essas radiações são prejudiciais para os organismos vivos, devido a suas frequências serem extremamente altas e, conseqüentemente, possuírem altas energias. É por essa razão, que se utiliza protetor solar na exposição ao Sol, bloqueando os raios UV do Sol. Também por isso que em exames nos quais se utiliza raios X, são utilizados aventais de chumbo de modo a evitar que os raios X

entrem em contato com regiões diferentes da região que se pretende examinar. Os raios gama, que são os de maior frequência e energia, são os mais prejudiciais. Porém, a atmosfera da Terra, felizmente, absorve os raios gamas do espaço bem como a radiação ultravioleta de maior energia, a qual também é potencialmente nociva, protegendo os seres vivos de possíveis danos.

A luz visível é uma pequena faixa do espectro eletromagnético. É emitida tanto por fontes naturais quanto artificiais, sendo o Sol uma das fontes naturais de luz visível mais importantes para o homem. No caso da radiação emitida pelo Sol, esta é conhecida como luz branca, uma vez que engloba todas as sete cores básicas, que, quando unidas, acabam por formar um feixe branco. Em contrapartida à luz solar, natural, têm-se as lâmpadas como fontes artificiais de luz visível.

A Figura 5 apresenta os comprimentos de ondas e as frequências relacionadas a cada uma das sete cores que compõe a luz visível.

Figura 5 - Divisão das cores que compõe a luz visível em função de seu comprimento de onda e frequência

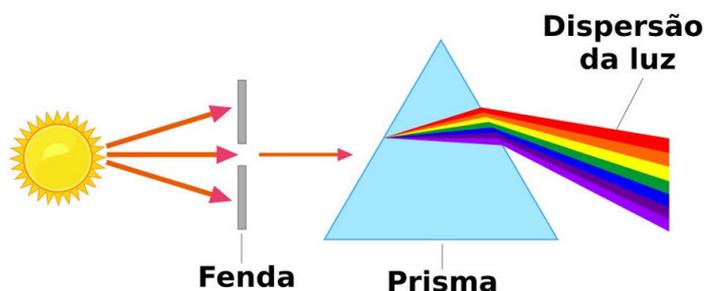


Fonte: Bardine (2023)

As primeiras explicações sobre a luz visível ou espectro visível são do físico Isaac Newton no século XVII. Newton realizou uma série de experimentos e foi em um deles que, em 1671, utilizou pela primeira vez a palavra espectro. Nesse experimento, Newton observou que um feixe de luz solar ao atravessar um prisma de vidro, sofria dispersão e se decompunha em suas diversas cores componentes, as cores do arco-íris. Esse conjunto das diversas cores, distribuídas do vermelho ao violeta, Newton chamou de espectro.

Diante disso, Newton chegou à conclusão de que a luz branca (luz solar) era formada por várias cores visíveis, e que essas cores sofriam um desvio diferente ao atravessar um prisma. O físico notou também que o violeta sofria um desvio maior ao atravessar o prisma em relação ao vermelho, que esse sofria um desvio menor. Ou seja, o vermelho movia-se mais rápido que o violeta. Como resultado disso, criava uma refração menor ao passar por dentro do prisma (Rocha, 2011). As demais cores teriam desvios intermediários, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Dispersão da luz branca do Sol ao passar por um prisma.



Fonte: Helerbrock (2023c)

A partir de seus resultados, Newton criou a hipótese de que a luz era composta por partículas de diversas cores, as quais moviam-se na matéria transparente. Ele chegou a apresentar em 1672 a teoria corpuscular da luz. Ele tentou justificar essa teoria afirmando que a luz se comportava como pequenas esferas, as quais colidiam com uma superfície lisa e refletiam-se elasticamente sobre essa superfície. Porém, ele não conseguiu êxito com essa teoria, abandonando os estudos da luz. Muito tempo depois, após grandes embates, os cientistas finalmente chegaram ao modelo atual sobre a natureza dual da luz, como onda e partícula.

2.2.4 Relação entre comprimento de onda e temperatura

De acordo com Gaspar (2013), a espectroscopia teve um grande avanço entre a segunda metade do século XIX e início do século XX. Apesar disso, algumas questões deixavam físicos e químicos intrigados por não conseguirem dar explicações sobre alguns comportamentos da luz, como: valores inexplicáveis para o comprimento de onda/ frequência para a luz dispersada; espectro contínuo e não quantizado das emissões dos corpos aquecidos.

O desenvolvimento da espectroscopia marcou o início da Astrofísica Estelar. É através da análise das linhas espectrais que é possível saber os elementos químicos presentes nas estrelas e outras muitas informações essenciais para entender a evolução das estrelas.

O fenômeno da radiação térmica desempenhou um papel importante na história da física pois, Max Planck, ao estudar e tentar descrevê-lo, marcou o início da física quântica.

A radiação eletromagnética que um corpo emite surge devido a sua temperatura, ou seja, todos os corpos que se apresentam no estado sólido ou gasoso emitem radiação sob a forma de ondas eletromagnéticas, desde que estejam com temperatura acima do zero absoluto, 0 K, (-273°C). Quando um corpo é aquecido, este absorve energia, fazendo com que a energia cinética de seus átomos aumente e, conseqüentemente, sua temperatura (Halliday; Resnick; Walker, 2020b).

Portanto, a emissão de radiação eletromagnética de um corpo se dá por um efeito térmico e não por sua composição química. Quanto maior a temperatura do corpo, maior o nível das vibrações, e maior a quantidade de energia irradiada (Napoleão, 2018).

Quando a emissão ocorre por efeito térmico, esta se estende por uma grande faixa de comprimento de onda. Dessa forma, o que se observa é um espectro contínuo (ou espectro térmico), ou seja, a energia irradiada é distribuída ao longo de uma grande faixa de comprimentos de onda. O comprimento de onda emitido depende da temperatura do corpo, como descrito pela radiação do corpo negro (Resnick; Eisberg, 1979). Se o corpo estiver à temperatura ambiente, sua emissão estará na região do infravermelho. Aquecendo esse corpo, gradativamente, nota-se que ele assume a cor vermelha; depois laranja e amarela. Continuando a aquecer, o corpo incandescente passa pela emissão branca e, posteriormente, azul. Com isso, conclui-se que quanto

maior a temperatura de um corpo, maior será a energia de radiação emitida e os comprimentos de onda cada vez menores. Assim, um corpo que apresenta coloração branca ou azul, também irá emitir grandes doses de radiação ionizante, ou seja, ultravioleta, e até mesmo raios X.

2.2.5 Radiação do Corpo Negro

A explicação que desvenda a radiação do Corpo Negro pode ser considerada um dos grandes marcos da Física Moderna em sua ruptura com a Física Clássica, a partir das explicações de Max Planck, em 1900, no artigo intitulado “Sobre a teoria da lei de distribuição de energia do espectro normal”. Contudo, qual seria essa grande explicação e por que ela foi capaz de gerar essa grande ruptura? Seria esta explicação algo que mostrava um mundo tão diferente ao que habitualmente se observava?

Para entender o que houve de tão grandioso na teoria apresentada por Planck, é necessário, primeiramente, que seja exposto um pouco mais sobre o Corpo Negro. Naturalmente, todo corpo que se encontra em uma temperatura superior ao zero absoluto (0 K), conforme estabelecido pela termodinâmica, irá emitir radiação para o meio que o cerca bem como irá, também, absorver a radiação que sobre ele incide. Tal radiação é conhecida como *radiação térmica*. Segundo os conhecimentos cotidianos, quanto maior for a temperatura do corpo, maior será a quantidade de radiação por ele emitida. E ainda, caso este corpo acabe emitindo mais radiação do que está absorvendo, isso criará um desequilíbrio, fazendo com que ele aqueça ou esfrie, a depender do que prevalecer no desequilíbrio de absorção e emissão dessa radiação. Quando houver um equilíbrio entre essas taxas, o corpo chegará ao que se chama de equilíbrio térmico.

Este processo de absorver e emitir radiação era algo relativamente simples de se analisar, ao menos em corpos que apresentem uma temperatura relativamente elevada (algumas dezenas de °C). Embora a maioria dos corpos aquecidos não apresentem uma emissão na faixa da radiação visível, muitas das vezes é possível notar sua emissão de calor, ou seja, os corpos continuam se comportando como fontes de luz secundárias, contudo, são passíveis de serem detectados por meio do calor que estão emanando (Halliday, 2020b).

Ainda frente a tal processo de emissão de radiação, os experimentos mostravam que os corpos emitiam radiação segundo um padrão, quase que

independente de sua composição. Para ajudar a ilustrar essa ideia, é possível pensar no caso de uma sala totalmente escura, na qual encontram-se somente o leitor e uma esfera metálica. Caso toda a sala esteja em equilíbrio térmico, o leitor não terá condições de notar a presença da esfera metálica que ali está junto a ele. Mas, caso tal esfera seja aquecida até 100°C , mesmo sem emitir radiação visível, ela poderá ser percebida pelo leitor, caso não esteja tão distante. Isso ocorre porque a esfera irá, independente de seu material, emitir radiação infravermelha, podendo ser notado o aquecimento da região em seu entorno (radiação térmica emanada). Da mesma forma, caso a esfera continue a ser aquecida, chegando aos 500°C , ela não irá ser perceptível somente por meio do calor que irá emanar, mas também devido ao brilho vermelho que ela vai passar a apresentar. Nesse caso, ela deixa de ser uma fonte de luz secundária, e passa a ser uma fonte de luz primária. E ainda, irá emitir uma quantidade de radiação térmica muitas vezes maior do que quando estava a 100°C .

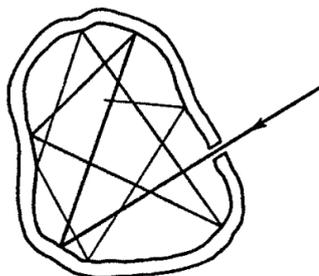
Prosseguindo e aprimorando essa ideia, pode-se dizer que quando um corpo é aquecido, ele passa a emitir radiação eletromagnética em um espectro contínuo, que pode abranger as mais diferentes faixas do espectro eletromagnético, como apresentado na Figura 5. Dessa forma, podemos dizer que a faixa e a intensidade da radiação emitida depende da temperatura do corpo.

Embora o corpo emita radiação pautado em sua temperatura e não em sua composição, há outros fatores que podem afetar a radiação detectada a partir de um corpo aquecido. Em torno de 1860, Kirchhoff estabeleceu o conceito de Corpo Negro, como um objeto que absorve toda a radiação que incide sobre ele, sem refletir nenhuma parte desta radiação (Saraiva, 2014). De acordo com essa definição, um Corpo Negro é um corpo que absorve toda a radiação que nele incide, sem que nenhuma porção desta seja refletida de volta para o meio, e ainda, emite radiação apenas em função da sua temperatura, independente de sua cor e composição, sendo também chamado de corpo ideal.

Um modelo de Corpo Negro pode ser idealizado como uma caixa, ou algo próximo a isso, como apresentado na Figura 7, na qual há uma pequena abertura em uma de suas laterais, onde toda a radiação ali incidente acabará rebatendo nas paredes internas da caixa, até sua completa absorção, sem que ela possa escapar. Além disso, toda a radiação emitida por este corpo provém das paredes aquecidas desse corpo, sem que estas tenham conexão alguma com a radiação que entrou pela

cavidade. O corpo Negro, ao contrário do que se pensa, não é a caixa em si, mas sim a cavidade.

Figura 7 - Representação da cavidade de um corpo, na qual toda a radiação incidente acaba sendo absorvida e ficando confinada em seu interior, até que seja completamente absorvida.



Fonte: Eisberg e Resnick (1979)

Por fim, frente às primeiras definições, vale o destaque sobre o que seria o corpo Negro da vida real. Este corpo leva em consideração o índice de reflexão da radiação incidente, sendo utilizado em casos que se exige maior precisão sobre os dados coletados. Embora seja discutida a existência deste tipo de corpo real, será tratado aqui a discussão em cima de corpos ideais, ou seja, Corpos Negros.

2.2.5.1 Evolução histórica das observações do Corpo Negro

Uma vez definido sobre seus aspectos gerais, é possível iniciar um estudo um pouco mais detalhados a respeito das questões quantitativas apresentadas por Corpos Negros. Conforme Sampaio (2005), em 1879, o físico austríaco Josef Stefan (1835-1893), obteve a primeira expressão matemática a partir dos resultados experimentais obtidos com um idealizado corpo negro. Seu companheiro, o físico Ludwig Boltzmann, cinco anos depois, deduziu teoricamente a expressão. Com isso, formulou a lei conhecida hoje como Lei de Stefan-Boltzmann, que estabelece a relação entre a potência total (**P**) irradiada por um corpo negro, abrangendo todo o espectro eletromagnético, a área da superfície emissora (**ΔS**) e a temperatura absoluta (**T**) na qual encontra-se este corpo, como apresentado:

$$P = \sigma \cdot \Delta S \cdot T^4 \quad 1$$

No qual σ é uma constante universal, denominada como constante de Stefan-Boltzmann, cujo valor é expresso por: $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$.

Conforme apresenta Eisberg e Resnick (1979), uma maneira comum ao se tratar sobre a radiação de corpo negro, é utilizar o que se denomina por *radiância espectral*, ou $R_T(\nu)$, na qual utiliza-se o intervalo de frequência ν , abrangendo todo o espectro eletromagnético, embutindo a ideia da área do corpo negro e sua temperatura na própria radiância espectral, ou seja, a integral ao longo de todo o espectro observado irá fornecer a radiância do corpo:

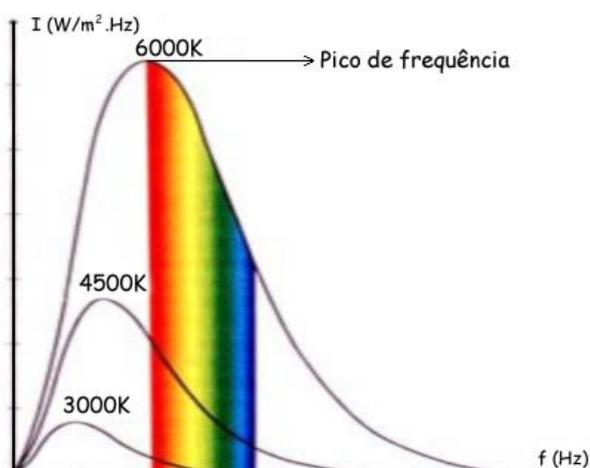
$$R_T = \int_0^{\infty} R_T(\nu) d\nu \quad 2$$

Sendo $R_T = \sigma.T^4$, tendo sido determinada empiricamente, e denominada como lei de Stefan.

Como se pode observar na Figura 8, o espectro dos corpos negros apresenta outra importante característica, evidenciada nas emissões de tais corpos. Conhecida como lei do deslocamento de Wien, a qual retrata o deslocamento do pico de emissão máxima do corpo negro como sendo proporcional à sua temperatura, ou seja, quanto maior a temperatura do corpo, maior a frequência do pico de emissão deste, e por consequência, maior a energia emitida por tal:

$$\nu_{m\acute{a}x} \propto T$$

Figura 8 - Curvas espectrais de Corpos Negros em distintas temperaturas



Fonte: <https://www.pucsp.br/webduino/experimentos/corpo-negro-com-arduino/teoria.html>

Tal relação apresentada por Wien pode ser facilmente observada ao tratar de um pedaço de metal, o qual vai sendo gradativamente aquecido. Inicialmente ele irá

emitir somente radiação térmica; com o passar do tempo, passará a emitir cada vez mais radiação térmica, mas junto a esta, surgirá um brilho vermelho/ alaranjado; até que em temperaturas cada vez maiores, o brilho passará para um branco azulado, além, é claro, de como descrito pela equação de Stefan, atrelado a tal brilho, existirá também uma emissão muito mais intensa de radiação térmica, bem como da quantidade de luz emitida pelo corpo.

Neste momento, então, é que se encontra o grande obstáculo para o desenvolvimento da radiação de Corpo Negro. Como deve ser construída uma equação matemática apropriada para descrever os comportamentos que estavam sendo observados? Pois, embora os corpos emitissem cada vez mais radiação e com energias cada vez maiores, conforme seu aumento de temperatura, sabia-se que tal emissão acabava por decair abruptamente, principalmente na região de altas energias (ultravioleta e superiores). Entretanto, por mais que os dados experimentais assim demonstrassem, os cientistas da época eram incapazes de ajustar tais curvas. Seus resultados acabavam sempre por “explodir” conforme a frequência aumentava, criando o que ficou conhecido como *catástrofe do ultravioleta*.

A catástrofe do ultravioleta é decorrente dos estudos realizados por Rayleigh-Jeans para a radiação do Corpo Negro, sendo sua expressão de ajuste das curvas dada por:

$$\rho_T(\nu, T) d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT d\nu \quad 3$$

tendo **k** o valor de $1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$, e denominado como constante de Boltzman, e **c**, representando a velocidade da luz no vácuo, fora os demais termos já anteriormente apresentados.

Para chegar a essa expressão, os cientistas partiram da ideia básica de um Corpo Negro, como fora anteriormente descrita: uma caixa com um pequeno orifício. Nesse caso, consideraram que a radiação produzida no interior dessa caixa iria então emergir por tal orifício, advindo unicamente da temperatura das paredes internas. Considerou-se que as paredes desta caixa eram metálicas e a radiação que por elas seria gerada advinha do movimento dos elétrons ali presentes. A oscilação destes elétrons iria gerar então uma certa quantidade de ondas estacionárias, cuja quantidade de tais ondas estabelecem-se dentro de um intervalo de frequências, ou

seja, a quantidade de ondas acaba por ser expressa em função da frequência ($N(\nu)d\nu$). Tendo tudo isso em mãos, estabelecem uma energia total média para tais ondas, pautadas na teoria dos gases, chegando à ideia de que a energia total média das ondas ali presentes, segundo a teoria clássica, dependeria exclusivamente da temperatura. Finalmente, o número de ondas dentro da cavidade, multiplicado pela energia média destas ondas e dividido pelo volume da cavidade, chegam à expressão para a densidade de energia, $\rho_T(\nu) d\nu$, que é proporcional (pelo fator volume da cavidade), à expressão $R_T(\nu) d\nu$, apresentada anteriormente.

Ao observar com mais detalhes a expressão proposta por Rayleigh-Jeans, fica evidente que o valor esperado irá, impreterivelmente, aumentar, conforme o aumento da temperatura e frequência, chegando a valores cada vez maiores. O problema é que este aumento, no caso das altas frequências, chegaria a valores extremos, os quais não se observa nos espectros.

Foi somente em 1900 que Max Planck conseguiu resolver este problema, adequando assim a expressão matemática aos dados experimentais, e mesmo sem intenção, revolucionando a Física como esta era conhecida. Vale destacar que toda a modelagem trazida por Planck, diferente do que se pensa, não foi pautada exatamente nos conceitos físicos ali envolvidos, mas sim em questões matemáticas, que, por acaso, eram capazes de adequar o problema à realidade observada. Para explicar sua proposta, Planck considerou a existência de cargas elétricas oscilantes na superfície do corpo negro, que emitem energia radiantes em porções descontínuas, “partículas” (as quais no futuro seriam denominadas por fótons) que transportam uma quantidade de energia bem definida. Ou seja, a energia não podia ter qualquer valor, ela era quantizada (pacotes de energia), apresentando-se em múltiplos de uma dada constante, representada por **h**, denominada constante de Planck, cujo valor foi estabelecido como $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$.

Desta forma, Planck determina que a densidade de energia não seria simplesmente o valor clássico e contínuo antes definido por Stefan-Boltzman, de KT , mas sim algo discreto, $E = nh\nu$, sendo que **n** deve adotar somente valores inteiros.

Destaca-se que Planck não alterou o que fora proposto anteriormente. Ele simplesmente considerou que o comportamento, antes contínuo, agora deveria ser tratado de forma discreta. Além disso, é de suma importância destacar que, embora pareça algo tão simples, esta pequena alteração por ele proposta acaba impactando

profundamente nos cálculos que existem por detrás do espectro, e que não são comuns como pode acabar parecendo.

Finalmente, o que Planck trouxe como decorrência de sua teoria é basicamente que os pacotes emitidos teriam sua energia atrelada à frequência das ondas emitidas. Quanto maior a frequência da onda (tendendo ao azul, ao violeta,...), maior sua energia e vice-versa.

Com essa fundamentação, Planck dá uma nova visão para a Física, iniciando o caminho para a construção da Física Moderna, na qual os fenômenos não mais podiam ser corretamente explicados por base em toda a teoria clássica. Embora pareça algo muito simples, e ainda, embora seja uma constante com valor tão ínfimo, a constante de Planck acaba sendo utilizada para explicar diversos outros casos, mostrando-se fundamental para a ruptura com o clássico. Um caso no qual ela acaba sendo utilizada é o que será tratado a seguir, com os postulados de Bohr. Porém, de forma a dar uma visão mais aprofundada a tal leitura, apresenta-se aqui uma relação matemática acerca da radiação do corpo negro.

2.2.5.2 Aspectos matemáticos da teoria da radiação do Corpo Negro

Como apresentado anteriormente, a expressão de Rayleigh-Jeans pode ser escrita tanto com base na radiância em função do comprimento de onda (λ), como em função da frequência (ν), diferindo simplesmente na forma como tal expressão será lida, uma vez que $c = \lambda \cdot \nu$, sendo c a velocidade da luz no vácuo. Dessa forma, reapresenta-se a proposta clássica para a radiação do corpo negro, sendo que o resultado final para um corpo dar-se-á pela simples integração da radiância, em função do volume, em toda a faixa de frequência que se deseja analisar.

$$\rho_T(\nu, T) d\nu = \frac{8\pi\nu^2}{c^3} kT d\nu \quad 4$$

Ou, caso seja desejado um aspecto mais geral, como comumente também pode ser encontrado nos livros, transformando a questão de densidade de energia para algo geral. Além disso, aproveita-se para retirar também a questão do $d\nu$. A mágica aqui vista é a simples associação $\rho_T(\nu, T) \cdot \frac{c}{4\pi} = R_T(\nu, T)$.

$$R_T(\nu, T) = \frac{2\nu^2}{c^2} kT \quad 5$$

Planck, ao trabalhar com tal expressão, acabou conduzindo-a para algo que, inicialmente, pode parecer muito distinto, mas que pouco difere do que já está apresentado.

$$\rho_T(\nu, T) \rho_T(\nu, T) = \frac{8h\nu^3}{c^2} \frac{1}{e^{(h\nu/kT)} - 1} \quad 6$$

Embora nesse caso surja todo o termo $\frac{1}{e^{(h\nu/kT)} - 1}$ no lugar do que antes se apresentava como kT , bem como o uso da constante h , deve-se atentar que essa simples adequação foi suficiente para resolver os grandes problemas da catástrofe do ultravioleta.

Planck chega a expressão da energia média:

$$\bar{\epsilon}(\nu) = \frac{h\nu}{e^{(h\nu/kT)} - 1} \quad 7$$

Onde é possível reescrever que $e^{(h\nu/kT)} \rightarrow 1 + h\nu/kT$.

Com tal situação, os dois extremos ficam abrangidos, resultando em:

$$\lim_{\nu \rightarrow 0} \bar{\epsilon}(\nu) = kT$$

e

$$\lim_{\nu \rightarrow \infty} \bar{\epsilon}(\nu) = 0$$

Ou seja, tudo que Planck faz na realidade é alterar o valor, antes fixo, de kT , para uma expressão que pode se moldar à situação. Tudo isso, é claro, não surge de forma tão simples. Para chegar a tal relação para a energia média $\bar{\epsilon}(\nu)$, utiliza-se a lei da equipartição, a qual pode, de forma geral, ser associada à distribuição de Boltzmann:

$$\langle v \rangle = \frac{\int_0^{\infty} \varepsilon P(\varepsilon) d\varepsilon}{\int_0^{\infty} P(\varepsilon) d\varepsilon} \quad 8$$

sendo $P(\varepsilon) = \frac{e^{(-\varepsilon/kT)}}{kT}$, sendo a probabilidade de se encontrar um certo elemento do sistema com energia definida entre dado intervalo $\varepsilon \pm d\varepsilon$.

Contudo, mais do que resolver o problema de Rayleigh-Jeans, tal proposta de Planck deve também demonstrar que o observado e descrito por Wien é válido, ou seja, o comprimento de onda máximo de um espectro de corpo negro deve ser inversamente proporcional à temperatura, ou então, a frequência de emissão ser proporcional à temperatura. Para tal comprovação, seguiremos os passos de Guimarães, 2018. De posse da equação proposta por Planck, basta encontrar seu ponto de inflexão, dado por:

$$\frac{d \rho_T(v, T)}{d v} = 0 \quad 9$$

Ou então em sua forma

$$\frac{d \rho_T(\lambda, T)}{d \lambda} = 0 \quad 10$$

Esse ponto de inflexão pode ser um máximo ou mínimo, a depender do que se obtém a partir de sua aplicação na expressão de segunda derivada da função. Em caso de valor positivo, este demonstra um ponto de mínimo, e no caso de valor negativo, um ponto de máximo.

Embora possa parecer algo simples, os valores obtidos ao realizar tal operação recaem em uma equação transcendental, do tipo

$$3(-1 + e^x) x e^x = 0 \quad \text{com } x = \frac{h\nu}{kT} \text{ para o caso da expressão } \frac{d \rho_T(v, T)}{d v}$$

a qual só aceita resolução numérica, levando a um valor de $x \cong 2,82$, o qual pode ser utilizado para resolver o termo x :

$$x = \frac{h\nu}{kT} \approx 2,82 \quad 11$$

$$\nu = \frac{2,82 \cdot k \cdot T}{h} \approx \frac{2,82 \cdot (1,38 \cdot 10^{-23}) \cdot T}{6,63 \cdot 10^{-34}} \quad 12$$

$$\nu_{max} \approx 5,8 \cdot 10^{10} \left[\frac{Hz}{K} \right] \cdot T [K] \quad 13$$

ou, no caso do comprimento de onda

$$\lambda_{max} \approx \frac{2,898 \cdot 10^{-3} [m \cdot K]}{T [K]} \quad 14$$

Valores estes que correspondem ao que se encontra tabelado.

Para encerrar o capítulo, destaca-se que a ideia trazida por Planck é de suma importância para entender sobre o comportamento das emissões dos corpos, mas no caso do interesse para o ensino na Astronomia, é importante destacar que o principal por detrás do corpo negro é que através de um espectro de emissão, é possível caracterizar o tipo de corpo celeste que está emitindo a radiação, classificando-o por base em sua temperatura. Além disso, como visto em outros momentos, é possível, ainda através do espectro de emissão, determinar também a composição do corpo, com base nas linhas espectrais que possam estar ausentes neste espectro. Para entender um pouco melhor sobre este conceito, é apresentado o Modelo Atômico de Bohr.

2.2.6 Modelo de Bohr

2.2.6.1 Evolução histórica do modelo de Rutherford para o modelo de Bohr

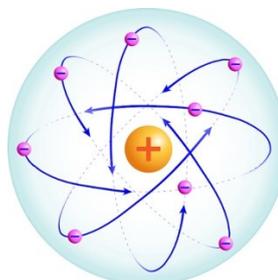
Entender o mundo, macro e microscópico, sempre foi um dos grandes desafios para o homem. Nas tentativas de descrever o mundo microscópico (ou no caso, muito menor do que isso), muitos foram os modelos atômicos apresentados ao longo dos anos, até chegar ao modelo de Rutherford que, embora sabidamente errôneo, ainda representa um dos melhores modelos didáticos que se tem atualmente. Proposto em 1911, o modelo de Rutherford é conhecido como modelo planetário e sugere que o átomo é constituído por um núcleo maciço, positivamente carregado, o qual é orbitado por elétrons (cargas negativas), movendo-se em órbitas circulares, muito próximo ao que temos como modelo do sistema solar. Contudo, o modelo em questão não explicava sobre a distribuição dos elétrons nessas órbitas.

Além disso, embora trouxesse ideias inovadoras, bem como uma explicação demasiadamente coerente com o que se observava experimentalmente, o modelo ainda apresentava mais alguns problemas no que diz respeito ao comportamento dos elétrons, que orbitavam em torno do núcleo. Já era sabido na época, por meio dos experimentos, que partículas carregadas irradiam energia; e como no modelo proposto os elétrons giram ao redor do núcleo, era esperado que estes perderiam energia gradativamente, diminuindo cada vez mais suas órbitas até colapsar no núcleo. Esse foi um grande dilema científico na época. Embora trouxesse boas explicações e apresentasse um modelo um tanto quanto sucinto, este ainda apresentava falhas, como todos os modelos apresentados antes dele, conforme salienta Magron (2021):

Para explicar as indagações relacionadas aos aspectos (emissão e absorção) e a estabilidades do átomo, o modelo atômico de Rutherford precisava passar por modificações. Esse modelo não conseguia explicar como um átomo podia emitir ou absorver determinadas frequências características da radiação eletromagnética e outras não (Magron, 2021, pag. 26).

Dessa forma, o modelo proposto não era capaz de explicar aspectos que já eram bem conhecidos e utilizados desde o final do século XIX.

Na Figura 9 é apresentado o conceito geral do modelo atômico de Rutherford, com as representações do núcleo e dos elétrons que orbitam ao seu redor.

Figura 9 - Modelo Atômico de Rutherford

Fonte: Lima (2023)

Como discutido anteriormente, embora o modelo fosse um grande avanço frente aos demais, ele ainda era insatisfatório, pois os átomos são estáveis, além do mais, já era conhecido que os átomos emitem radiação de forma discreta, com frequências bem estabelecidas, de acordo com cada elemento químico, e não de maneira contínua, abrangendo todos os comprimentos de onda, como se esperava por conta do movimento e perda de energia dos elétrons, enquanto orbitam o núcleo (Saraiva, 2014).

2.2.6.2 O modelo de Bohr

Tomando por base toda a modelagem apresentada por Rutherford, em 1913, Bohr propõe modificações no modelo, tentando corrigir suas instabilidades, usando a ideia de quantização de energia, tendo como base o átomo de hidrogênio. O modelo de Bohr foi o primeiro modelo que não era inteiramente pautado na física clássica. É um modelo misto, que aplica as ideias da Física Quântica (Física Moderna) proposta por Planck e Einstein, pouco tempo antes. Bohr contorna o problema da instabilidade do modelo de Rutherford através de quatro postulados e, a partir disso, renomeia-se o modelo para Modelo de Rutherford-Bohr.

I. Os elétrons em um átomo se movem em órbitas circulares em torno do núcleo e cada órbita apresenta um determinado valor de energia, bem específico e constante. Essas órbitas foram chamadas de níveis de energia ou camadas eletrônicas. Quanto mais próximo do núcleo, menor a energia do elétron e vice-versa.

II. A energia é quantizada, ou seja, um elétron só pode se mover em determinada órbita com valores constantes de energia. Um elétron que se move em uma dessas órbitas, mesmo estando acelerado, não emite radiação eletromagnética.

O elétron não pode orbitar qualquer órbita. Existem restrições que limitam quais órbitas (energia) um elétron pode ter (quantização do momento angular) e, por consequência, a quantização de energia nas órbitas dos átomos. Ou seja, existe uma quantidade de energia que um elétron pode ter ao orbitar o núcleo. Dessa forma, quando ele emite energia, esta irá se apresentar com um comprimento de onda bem específico, como era observado nos experimentos de espectroscopia.

III. A radiação eletromagnética é emitida (ou absorvida) quando o elétron troca de órbita de forma descontínua (o salto quântico). A frequência da radiação emitida ou absorvida é proporcional à diferença da energia associada em cada órbita.

$$E_f - E_i = h\nu$$

Um elétron pode estar numa órbita de alta energia e quando se move para uma de baixa energia, emite radiação na forma de um fóton, assim como Einstein acabara propondo em seus estudos sobre o efeito fotoelétrico.

IV. Por fim, Bohr introduz a quantização do momento angular, ou seja, o tamanho das órbitas permitidas a um elétron é condicionada ao movimento angular orbital do elétron em torno do núcleo, que são permitidos apenas certas quantidades de energia para o elétron com valores múltiplos inteiros da constante de Planck.

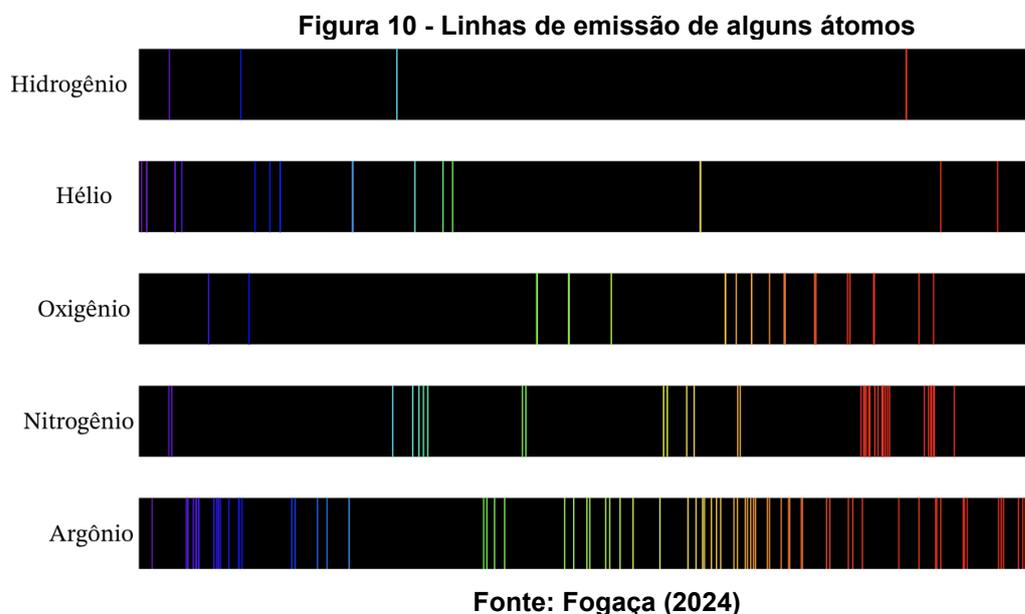
$$L = n\hbar ; \text{ onde } \hbar = h/2\pi \quad 15$$

O modelo de Bohr foi um grande avanço na compreensão da estrutura da matéria, na explicação das linhas de emissão e na absorção do espectro do átomo de hidrogênio. Esse modelo deixou claro que a radiação emitida durante os saltos quânticos não estava relacionada com a frequência do movimento circular do elétron, mas sim com a diferença de energia entre as órbitas, sendo tal aspecto refletido frequência do fóton absorvido ou emitido. Além disso, nota-se que as linhas de absorção e emissão dos átomos são as mesmas, ou seja, a quantidade de energia que se fornece para que o elétron possa mudar de órbita, será a que ele irá, após um dado tempo, acabar emitindo na forma de um fóton com energia $E = h\nu$.

Segundo Magron (2021), com o modelo de Bohr foi possível explicar os espectros atômicos e compreender que átomos de elementos químicos diferentes emitem radiações em diferentes comprimentos de ondas (ou frequências) e,

consequentemente, luminosidades diferentes, pois realizam saltos quânticos diferentes.

Para exemplificar o que está sendo discutido, apresenta-se a Figura 10 que retrata algumas linhas de emissão de determinados átomos.



É imprescindível destacar que o modelo de Bohr funciona perfeitamente para o átomo de hidrogênio, contudo, para os demais átomos, ele ainda apresenta falhas, uma vez que existem muitos outros fatores que acabam por interferir nas linhas de emissão dos átomos

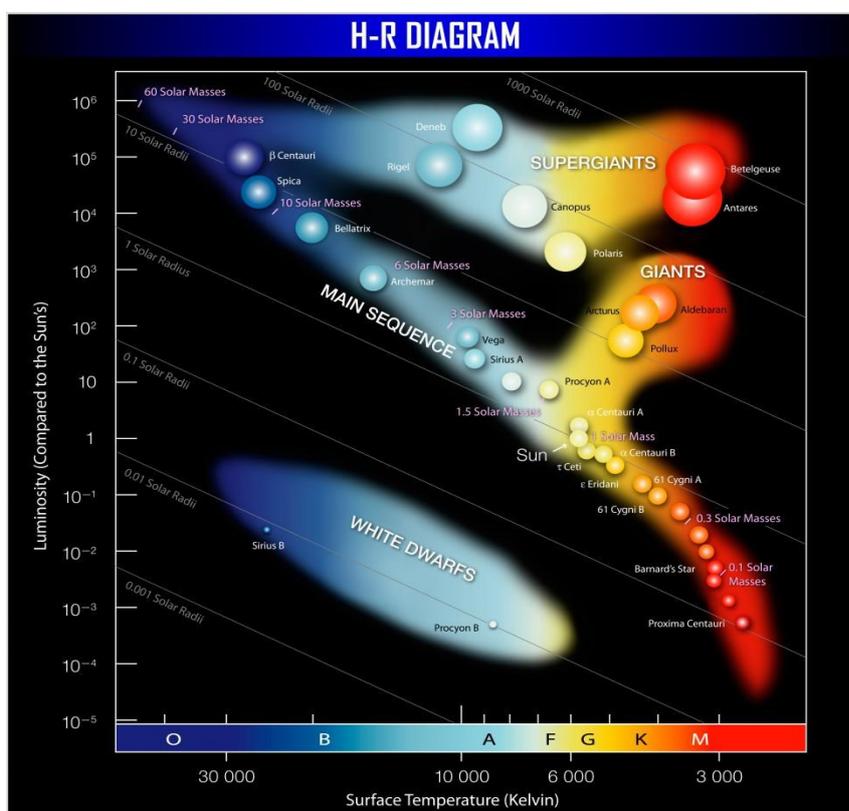
2.2.7 Diagrama H-R

As estrelas são agrupadas num diagrama que relaciona luminosidade e temperatura, denominado diagrama Hertzsprung-Russell, conhecido de forma resumida como diagrama H-R. Esse diagrama recebeu essa denominação em homenagem aos dois astrônomos, o dinamarquês Ejnar Hertzsprung e o norte-americano Henry Norris Russell.

Entre 1911 e 1913, esses astrônomos, ambos de forma independente, analisando o espectro das estrelas, concluíram que a temperatura e o brilho das estrelas estavam relacionados ao seu tamanho. Hertzsprung descobriu que estrelas da mesma cor podiam ser divididas entre luminosas, as quais ele chamou de gigantes, e as estrelas de baixa luminosidade chamou de anãs brancas (Saraiva, 2014).

No digrama H-R, convencionou-se colocar no eixo das ordenadas (eixo y) a luminosidade (magnitude absoluta), e no eixo das abcissas (eixo x) a temperatura (sequência de tipos espectrais). A escala de temperatura, nesse caso, é invertida, ou seja, as temperaturas maiores ficam à esquerda e as menores ficam à direita do gráfico. As estrelas não se encontram espalhadas no diagrama, mas aglomeradas em determinadas faixas. A maioria das estrelas estão localizadas em uma faixa central, formando uma faixa diagonal, que vai do lado superior esquerdo ao lado inferior direito da base, chamada de Sequência Principal. É nesta Sequência Principal que as estrelas permanecem a maior parte da sua vida (90% do tempo é gasto na queima e transformação de hidrogênio em hélio), ou seja, é a fase duradoura das estrelas. De acordo com a sua evolução, mudam de posição no diagrama HR, como pode ser visto na Figura 11.

Figura 11 - Diagrama H-R para classificação de astros. No eixo vertical, a Luminosidade – comparada ao Sol, e no eixo horizontal, a temperatura de superfície da estrela em Kelvin.



Fonte: Fantuzzi (2024)

As estrelas de alta luminosidade são chamadas Supergigantes, e localizam-se na parte superior, acima da Sequência Principal. Já as estrelas mais luminosas e de baixa temperatura são denominadas Gigantes Vermelhas e localizam-se no lado

direito, acima da Sequência Principal. As estrelas relativamente quentes, mas com baixa luminosidade (comparadas ao nosso Sol) são conhecidas como Anãs Brancas, e localizam-se na parte inferior esquerda. Estrelas que fazem parte da Sequência Principal, são chamadas de Anãs ou simplesmente de Estrelas “Normais”, por serem mais comuns.

É importante dizer que a Sequência Principal não se refere a posição das estrelas no espaço, mas sim a sua localização no diagrama H-R em relação a sua temperatura e luminosidade (Saraiva, 2014).

O diagrama H-R é um importante instrumento para o estudo da evolução estelar. As estrelas iniciam sua formação e evolução na Sequência Principal, passam por transformações, tornam-se Gigantes ou Supergigantes e se extinguem, transformando-se em Anãs-Brancas ou, em casos mais raros, de forma explosiva em Estrelas de Nêutrons e Buracos Negros, que não constam no diagrama.

Antigamente o diagrama H-R podia parecer algo simples e que serviria basicamente para classificar as estrelas. Hoje em dia, ele apresenta uso muito importante para a Astronomia. Com base em uma coletânea de dados já adquiridos, nos dias atuais, é possível estimar a distância de uma estrela em função de sua classificação e emissão, segundo o diagrama H-R. Para tal, compara-se a intensidade de emissão aparente da estrela às magnitudes de emissão de outras estrelas de mesma categoria, já conhecidas, com intensidade de emissão e distância catalogadas. A partir disso, é possível realizar o “ajuste da sequência principal”, através do qual estabelece-se a distância da estrela observada.

Por fim, ainda sobre o diagrama H-R, é interessante destacar que a explicação sobre como as estrelas se encaixam nele, assim como a forma como elas acabaram por transitar através dele, foi sugerida em uma publicação de Arthur Eddington, antes mesmo da descoberta e fundamentação teórica sobre a fusão nuclear, sendo posteriormente comprovadas e embasadas pelas teorias que surgiram para outras áreas da Física.

2.2.8 Classificação Espectral das Estrelas

Estrelas são esferas auto gravitantes de gás ionizado, cuja fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e, posteriormente, do hélio em elementos químicos mais pesados (Oliveira; Saraiva, 2014).

As estrelas são objetos de estudo do homem desde a antiguidade. Saber como são formadas, sua cor, sua temperatura e como produzem energia, são motivos de estudo dos astrônomos desde os primórdios.

De acordo com Jane Gregório-Hetem (2011, p. 177):

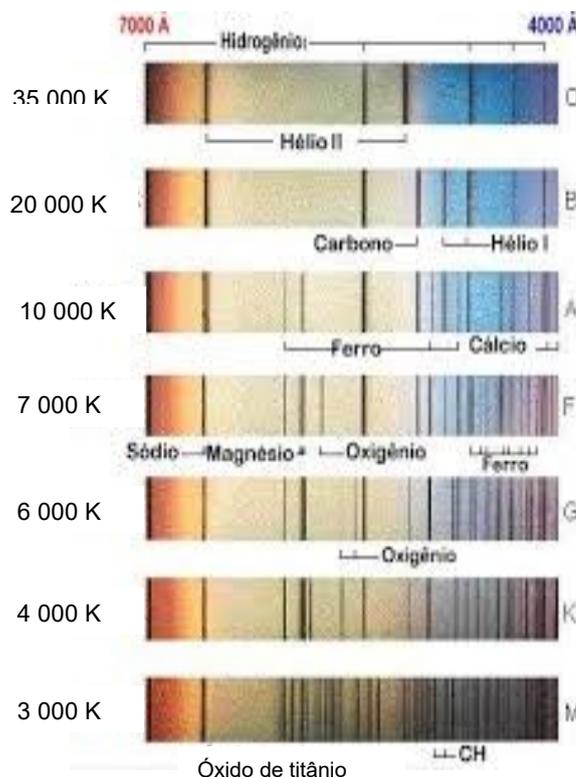
Conhecer as características das estrelas e a sua evolução, permite decifrar o passado e prever o futuro do Sol. Além disso, as estrelas encontram-se em condições físicas que nenhum laboratório reproduz, como por exemplo, o ambiente que permite a síntese dos elementos químicos e a produção de energia, indispensáveis à vida na Terra.

A luminosidade é uma propriedade intrínseca das estrelas, independe do seu movimento e de sua localização. Quando é observado uma estrela, não é medido sua luminosidade, mas sim o seu fluxo de energia detectada numa dada superfície coletora, em um certo intervalo de tempo. Esse fluxo medido é diretamente proporcional à luminosidade e inversamente proporcional ao quadrado da distância (Hetem, 2011).

Para obter o espectro de uma estrela, a radiação chega ao telescópio em forma de luz e, através de um espectrógrafo, a luz é dispersada em comprimento de onda e é registrada de forma eletrônica, atualmente digital (Hetem, 2011).

Portanto, estrelas com condições físicas diferentes, obrigatoriamente apresentam espectros diferentes. Por isso, os astrônomos perceberam que os espectros de absorção das estrelas apresentavam semelhanças e diferenças entre elas. E que algumas estrelas possuíam linhas de absorção de hidrogênio bem-marcadas, ao passo que com outras não acontecia o mesmo, porém apresentavam linhas fortes, indicando a presença de outros elementos químicos. A Figura 12 apresenta o espectro de sete estrelas. Todos os espectros apresentam linhas de absorção (linhas escuras), sobrepostas a um contínuo, sendo que para cada espectro, o conjunto de linhas é diferente, de acordo com o comprimento de onda de algumas estrelas, as linhas aparecem mais fortes que outras.

Figura 12 - Espectros observados em 7 estrelas de diferentes temperaturas.



Fonte: Adaptado de Oliveira; Saraiva (2022)

A primeira classificação espectral das estrelas, desenvolvida por Edward Charles Pickering (1846-1919), foi baseada na intensidade das linhas de hidrogênio. Foi feita uma classificação para as classes espectrais de acordo com a sequência que variava do ponto A até o ponto P, onde estrelas do tipo A tinham a intensidade das linhas de hidrogênio mais fortes, a intensidade ia diminuindo até chegar no ponto P (Hetem, 2011).

A classificação espectral usada atualmente foi desenvolvida no Observatório de Harvard, nos Estados Unidos, no início do século XX, por um grupo de astrônomos, como o próprio Edward Charles Pickering, Antônia Caetana de Paiva Pereira Maury (1886- 1952), e principalmente por Annie Jump Cannon (1863-1941), que classificou 225 000 estrelas entre 1918 e 1924. Annie percebeu que as estrelas iam de azuis esbranquiçadas a avermelhadas e classificou seus espectros de acordo com as linhas de hidrogênio. Chamou de classe A, a classe com linhas mais fortes e classe B, a classe seguinte, depois classe C e assim sucessivamente (Saraiva, 2014).

Atualmente, com mais conhecimento dos sub níveis da estrutura atômica, uma nova nomenclatura foi adotada para a classificação espectral, levando em

consideração a temperatura das estrelas. Essa nova classificação, de 1910, se deve a Annie Jump Cannon (Hetem, 2011). Nessa nova classificação, Cannon manteve o sistema de letras originais. Apenas algumas letras foram suprimidas e alterada a ordem de outras, resultando na sequência O, B, A, F, G, K, M. Essa classificação é conhecida como Classificação de Harvard e está em ordem decrescente de temperatura, ou seja, as estrelas da classe O são classificadas como as mais quentes e as da classe M, as mais frias (Napoleão, 2018).

Além da classificação alfabética, Cannon criou também um subgrupo com 10 algarismos, que varia de 0 a 9, para cada tipo espectral, indicando a temperatura superficial da estrela que faz parte do mesmo grupo. Ou seja, após cada letra, adiciona-se um algarismo que vai de 0 a 9, sendo o 0 para a estrela mais quente e 9 para a estrela mais fria (Napoleão, 2018).

Conforme Napoleão (2018), o trabalho do grupo Harvard foi grandioso, foram mais de 20 anos de trabalho, constituindo o *Henry Draper catalogue*, que continha as magnitudes, as posições e os tipos espectrais de mais de 225300 estrelas, (hoje conhecido como Catálogo HD), publicado entre 1918 e 1924. Cannon continuou seu trabalhando incansavelmente até sua morte, em 1941, o total geral já chegara a 395 mil estrelas.

Os catálogos HD, produzidos em Harvard, bem como toda a classificação utilizada nele, embasam toda a espectroscopia estelar até os dias de hoje.

O quadro 1 apresenta a classificação espectral de Harvard:

Quadro 1 - Classificação Espectral de Harvard

Tipo Esp.	Cor	T _{sup} (K)	Linhas proeminentes de absorção	Exemplos
O	Azul	30.000	He ionizado (fortes), elementos pesados ionizados (OIII, NIII, SiIV), fracas linhas de H	
B	Azulada	20.000	He neutro (moderadas), elementos pesados 1 vez ionizados	Rigel (B8)
A	Branca	10.000	He neutro (muito fracas), ionizados, H (fortes)	Vega (A0) Sirius (A1)
F	Amarelada	7.000	Elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros (FeI, CaI), H (moderadas)	Canopus (F0)
G	Amarela	6.000	Elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros, H (relativamente fracas)	Sol (G2) Alfa Cen (G2)
K	Laranja	4.000	Elementos pesados 1 vez ionizados, metais neutros, H (fracas)	Arcturus (K2) Aldebaran (K5)
M	Vermelha	3.000	Átomos neutros (fortes), moleculares (moderadas), H (muito fracas)	Betelgeuse (M2)

Fonte: Hetem; Pereira (2010)

A temperatura e a cor das estrelas são parâmetros fundamentais na classificação das estrelas (estão correlacionados), assim como o peso e altura de uma pessoa para classificar seu tipo físico, espera-se que pessoas mais altas tenha maior peso. Portanto, a cor da estrela está diretamente relacionada a sua temperatura.

3 ENCAMINHAMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta a organização da pesquisa e de que forma está embasada. Para tal, é de suma importância um planejamento inicial, a escolha do público-alvo e de que forma será a coleta e análise de dados.

Assim sendo, apresentamos a análise de dados, a caracterização da pesquisa, os instrumentos que compõe a pesquisa e a proposta de produto educacional.

3.1 Caracterização do trabalho

Este trabalho está sustentado nos pressupostos teóricos da pesquisa qualitativa tipo descritiva e, de acordo com suas características de investigação, configura-se como uma observação participante.

A abordagem qualitativa da pesquisa justifica-se pelo fato de o pesquisador encontrar-se em contato direto com os sujeitos da pesquisa, pois conforme Bortoni-Ricardo (2008, p. 49), o objetivo da pesquisa qualitativa é descobrir o que está dentro da “caixa preta” no dia a dia da sala de aula, identificando processos que, por serem rotineiros, tornam-se despercebidos para os atores que dela participam.

Conforme Minayo (2014), a pesquisa qualitativa trabalha com o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, busca um universo mais profundo que não pode ser mensurado.

Levando em consideração ainda, que a pesquisa parte da nossa própria prática em sala de aula bem como de situações pertinentes ao cotidiano da disciplina e do conhecimento prévio dos alunos sobre o conteúdo abordado, tendo em vista atingir a construção do conhecimento e aplicação do conteúdo, coadunam com as palavras de Moraes (2003), quando trata da pesquisa qualitativa:

A pesquisa qualitativa pretende aprofundar a compreensão dos fenômenos que investiga a partir de uma análise rigorosa e criteriosa desse tipo de informação, isto é, não pretende testar hipóteses para comprová-las ou refutá-las ao final da pesquisa; a intenção é a compreensão (Moraes, 2003, p.191)

A pesquisa apresenta ainda, como método de investigação, a modalidade observação participante, em razão de o observador e observados encontrarem-se em um mesmo ambiente, em uma relação de interação, pois de acordo com Becker e Geer (1969, pag. 322), é um método em que o observador participa do dia a dia das pessoas que estão sendo pesquisadas. Essa participação pode acontecer secretamente, de forma disfarçada ou abertamente, sempre com o intuito de observar e ouvir o que é dito ou questionado.

Conforme Minayo, a observação participante:

[...] se realiza através do contato direto do pesquisador com o fenômeno observado, para obter informações sobre a realidade dos atores sociais em seus próprios contextos. O observador, enquanto parte do contexto de observação, estabelece uma relação face a face com os observados (Minayo, 2001, pag. 59).

Assim sendo, é um método empírico, ou seja, exige-se que o pesquisador experiencie a realidade vivenciada pelos observados e, com isso, seja capaz de apresentar conclusões.

3. 2 Implementação da proposta

A proposta foi implementada em um Colégio Estadual no município de Araruna, na região Oeste do Paraná, em uma turma de 9º Ano do Ensino Fundamental, que contava com 30 alunos devidamente matriculados e frequentando, sendo 17 meninos e 13 meninas, na faixa etária que vai de 14 a 16 anos. O Colégio Estadual é de Ensino Regular e trabalha com Ensino Fundamental Anos Finais e Ensino Médio. No ano de 2023, contava com 748 alunos matriculados no período diurno, divididos em oito turmas e três turmas do Ensino Médio na Modalidade Educação de Jovens e Adultos (EJA).

A aplicação do produto educacional ocorreu no final do segundo trimestre e início do terceiro trimestre, do ano letivo de 2023, permeando os meses de agosto e setembro. Iniciando no dia 14/8 e encerrando o trabalho no dia 12/9. A proposta didática foi aplicada no decorrer das aulas. Foram necessárias 15 aulas de 50 minutos do Componente Curricular Ciências.

A seguir apresentamos o Quadro 2 com o cronograma da implementação do Produto Educacional.

Quadro 2 – Cronograma de implementação do produto educacional

MÓDULO 1	Carga horária 4 horas/aulas – Dia 14, 15 e 21/08
Modalidade	Síncrona
Objetivos	Identificar as características de um conjunto de poeira cósmica para a formação de uma nebulosa; Classificar os estágios de evolução das estrelas, o processo de fusão nuclear e os processos químicos.
Conteúdos	As Nebulosas; O Nascimento das Estrelas.
Materiais	Imagem de uma nebulosa; Texto “O que são Nebulosas”; Vídeo “Uma viagem 3D pela Nebulosa de Órion”; Texto “Ciclo de vida das Estrelas”; Quadros informativos da evolução estelar; Mapa conceitual das etapas da Evolução Estelar; Tinta guache cor preta e azul; Algodão.
MÓDULO 2	Carga horária 3 horas/aulas – Dia 22 e 28/08
Modalidade	Síncrona
Objetivos	Identificar os elementos produzidos no interior das estrelas; Conhecer como ocorre o fim de uma estrela com a explosão de uma supernova; Conhecer como acontece a formação de um Buraco Negro e suas consequências.
Conteúdos	Supernovas: Colapso das Estrelas; O Buraco Negro.
Materiais	Texto “O que é um Buraco Negro?”; Texto “Tudo o que você precisa saber sobre o Buraco Negro”; Vídeo: “Entrando em um Buraco Negro” Imagem do Núcleo de uma Estrela; Óculos de realidade virtual.
MÓDULO 3	Carga horária 2 horas/aulas – Dia 29/08
Modalidade	Síncrona
Objetivos	Explorar a importância do Sol para a vida na Terra; Relacionar a importância do Sol para os ciclos biogeoquímicos; Relacionar modelos ambientais e o final da catástrofe ocorrida com o asteroide no planeta.
Conteúdos	O Sol e os processos vitais; O Sol e a extinção.
Materiais	Texto “Ciclos biogeoquímicos” Imagem dos Ciclos biogeoquímicos; Vídeo 3D: Explorando o Espaço; Óculos de realidade virtual.
MÓDULO 4	Carga horária 3 horas/aulas – Dia 04 e 05/09
Modalidade	Síncrona
Objetivos	Comparar os elementos químicos presentes nas estrelas com a capacidade de criar átomos dos quais somos todos constituídos;

	Explicar a origem de estrelas cadentes.
Conteúdos	Composição química do Universo; Desmistificando as estrelas cadentes.
Materiais	Texto: “Quantos átomos formam o corpo humano”; Texto “Estrelas cadentes”; Vídeo: “Via Látea- Space 360°”; Óculos de realidade virtual.
MÓDULO 5	Carga horária 3 horas/aulas – 11 e 12 /09
Modalidade	Síncrona
Objetivos	Relacionar o conceito de erupções solares e seus impactos para os seres vivos; Identificar os efeitos das erupções solares.
Conteúdos	Ciclo de vida do Sol: efeitos das erupções solares na Terra; Tempestades Cósmicas no espaço.
Materiais	Reportagem e imagem “Erupções Solares”; Imagem de uma explosão solar a nível médio; Vídeo: “Exploração do Sistema Solar 360° - parte III – O Sol”; Óculos de realidade virtual.

Fonte: Autoria própria (2023)

3.3 Instrumentos de constituição de dados

Durante a implementação desta proposta utilizamos as seguintes técnicas e instrumentos para a constituição de dados: situação-problema inicial, diário de campo do pesquisador e a observação.

A situação problema inicial compõe-se de questões utilizadas para introduzir o conteúdo de cada módulo. Essas questões foram planejadas e elaboradas com o objetivo de verificar os conhecimentos que os alunos possuíam relacionados ao conteúdo a ser trabalhado. As questões são do tipo problematizadora, cumprindo outro objetivo que é levar o aluno a pensar e relacionar com os conhecimentos e situações do seu cotidiano. Conforme Delizoicov e Angotti (1994), a situação problema inicial instiga o aluno a levantar hipóteses e a buscar uma solução para o problema a ser resolvido.

Também utilizamos o diário de campo do pesquisador, material onde relatamos todos os momentos da aula, registrando detalhadamente toda a implementação da proposta didática.

O diário de campo é um dos instrumentos de coleta de dados de fácil utilização, estando presente desde tempos remotos, conforme enfatizam Batista e Gomes (2021):

O diário de campo é um dos instrumentos mais básicos de registro de dados do pesquisador, inspirado no trabalho dos primeiros antropólogos, que ao estudar sociedades distantes utilizavam um caderno, no qual registravam as práticas cotidianas, as viagens, os experimentos (Batista; Gomes, 2021, p. 253).

Para a formação do diário de campo, assim como para outros instrumentos de coleta de dados, utilizamos a observação e o acompanhamento das discussões em grupo bem como alguns registros através de fotos.

A observação é um instrumento de coleta de dados utilizada para esboçar outras técnicas de pesquisa, conforme Fontana e Rosa destacam:

A observação é uma técnica para coleta de dados engendável a diversas metodologias de pesquisa por oportunizar ao pesquisador o estudo do comportamento e de diferentes aspectos do público estudado, angariando, assim, respostas mais fidedignas, justamente porque elimina a influência de questões circunstanciais que podem distorcer o levantamento de dados (como pode ocorrer, por exemplo, na execução de uma entrevista que não tenha um pesquisador apto para realizá-la, ou então, que tenha um roteiro mal formulado) (Fontana; Rosa, 2021, p. 178).

Além dos instrumentos utilizados como a situação problema, o diário de campo e a observação, utilizamos também produção de texto e atividades durante toda a implementação da proposta didática.

3.4 Proposta de ensino apresentada como produto educacional

Este trabalho teve como objetivo desenvolver, aplicar e avaliar uma proposta didática para o ensino de Evolução Estelar para o 9º Ano do Ensino Fundamental.

Nossa proposta está pautada na metodologia dos Três Momentos Pedagógicos de Delizoicov e Angotti (1994), que traz como atividade inicial o levantamento dos conhecimentos prévios por meio da problematização inicial, constituindo dessa forma o primeiro momento. No segundo momento, apresenta a

organização do conhecimento, no qual ocorre a construção do conhecimento. E por último, o terceiro momento, apresentado como aplicação do conhecimento, por meio das atividades propostas. Aborda o conhecimento que vem sendo sistematicamente construído pelo aluno, analisando e interpretando a problematização inicial.

Organizamos esta proposta em cinco módulos, para um total de quinze aulas, mas esse número pode ser alterado caso haja necessidade.

A proposta didática apresenta atividades iniciais diagnósticas, apresentadas como situação-problema inicial, com o objetivo de levantar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o conteúdo proposto. Para a organização do conhecimento, apresentamos textos, imagens, reportagens e vídeos, com o intuito de levar o aluno à construção do seu conhecimento, a partir da relação com os conhecimentos do cotidiano. E para verificar a construção do conhecimento, apresentamos atividades, trabalhos em grupos, produção de texto e trabalhos em forma de seminário.

A organização da proposta didática, com as datas e horário das aulas, está apresentada no Quadro 3.

Quadro 3 - Organização da proposta didática com datas e horários da implementação

Cronograma para implementação da Proposta Didática		
14 de Agosto	5ª aula início (16h25min) Término (17h15min)	Vespertino
15 de Agosto	5ª aula início (15h57min) 6ª aula término (17h20min)	Vespertino
21 de Agosto	5ª aula início (16h25min) Término (17h15min)	Vespertino
22 de Agosto	5ª aula início (15h57min) 6ª aula término (17h20min)	Vespertino
28 de Agosto	5ª aula início (16h25min) Término (17h15min)	Vespertino
29 de Agosto	5ª aula início (15h57min) 6ª aula término (17h20min)	Vespertino

4 de Setembro	5ª aula início (16h25min) Término (17h15min)	Vespertino
5 de Setembro	5ª aula início (15h57min) 6ª aula término (17h20min)	Vespertino
11 de Setembro	5ª aula início (16h25min) Término (17h15min)	Vespertino
12 de Setembro	5ª aula início (15h57min) 6ª aula término (17h20min)	Vespertino

Fonte: Autoria própria (2023)

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Os encontros aconteceram no horário normal das aulas e a assiduidade dos alunos foi muito positiva. Toda a implementação aconteceu no decorrer de quatro semanas e meia, com a duração de 15 aulas.

O colégio tem como função social a formação integral dos alunos, preparando-os para ingressar no ensino médio com uma boa formação bem como obter aprovação nos vestibulares. Ademais, preparar os alunos para a vida, como cidadão crítico e responsável de sua função social no mundo que o cerca.

4.1 Desenvolvimento

A proposta didática foi aplicada nos horários da disciplina de ciências, nos dias de de segunda-feira na 5ª aula e nas terças-feiras nas 5ª e 6ª aulas, com duração de 50 minutos cada uma das aulas.

Para melhor desenvolvimento e organização dos conteúdos, optamos por estruturar o trabalho em cinco módulos.

Foram encontros dialogados, nos quais utilizamos material em slides, impressos, vídeos 3D e imagens, para a melhor compreensão dos alunos.

Os conteúdos propostos foram trabalhados conforme os Três Momentos Pedagógicos de Delizoicv e Angotti, e estão de acordo com o Currículo da Rede Estadual Paranaense (CREP) e pautados nas habilidades e competências da Base Nacional Comum Curricular (BNCC), conforme o quadro 4.

**Quadro 4 - Habilidades esperadas para o 9º ano com o objeto de conhecimento
Evolução Estelar**

Unidades temáticas	Objetos de conhecimento	Habilidades
Terra e Universo	Evolução Estelar	(EF09CI17) Analisar o ciclo evolutivo do Sol (nascimento, vida e morte) Baseado no conhecimento das etapas de evolução das estrelas de diferentes dimensões e os efeitos desse processo no nosso planeta.

Fonte: BNCC (2017)

4.1.1 Módulo 1: As Nebulosas e o Nascimento das Estrelas

Iniciamos a implementação no dia 14/8/2023, com o período de três aulas semanais, com duração de 50 minutos cada aula. Sendo na segunda-feira apenas uma aula, (5ª aula) e duas aulas conjugadas na terça-feira (5ª e 6ª aulas). Anteriormente a essa data, já havíamos apresentado a proposta didática do produto educacional, falamos ainda do objetivo desse trabalho e de que forma seriam trabalhados, bem como a importância da participação deles para o êxito dos resultados. A proposta foi bem aceita pelos alunos, demonstraram interesse e empolgação pelo conteúdo a ser trabalhado.

Nessa primeira aula, do dia 14/8, iniciamos apresentando a imagem da Nebulosa de Órion na TV educatron, fazendo as seguintes perguntas: Vocês conhecem este tipo de imagem? Onde você já viu esta imagem? O que ela representa? E as estrelas, onde são formadas? Como ocorre a formação de uma estrela? O Sol é uma estrela? Qual a diferença entre o Sol e as outras estrelas para nós no planeta Terra? Em cada questão apresentada, após feitos os questionamentos, foi oportunizado um tempo para pensarem, levando-os a refletir e falar o que pensam, com o intuito de levantar os conhecimentos prévios.

As respostas dos alunos foram anotadas no quadro, sem que a professora falasse se estavam corretas ou não. Alguns alunos responderam que viram aquele

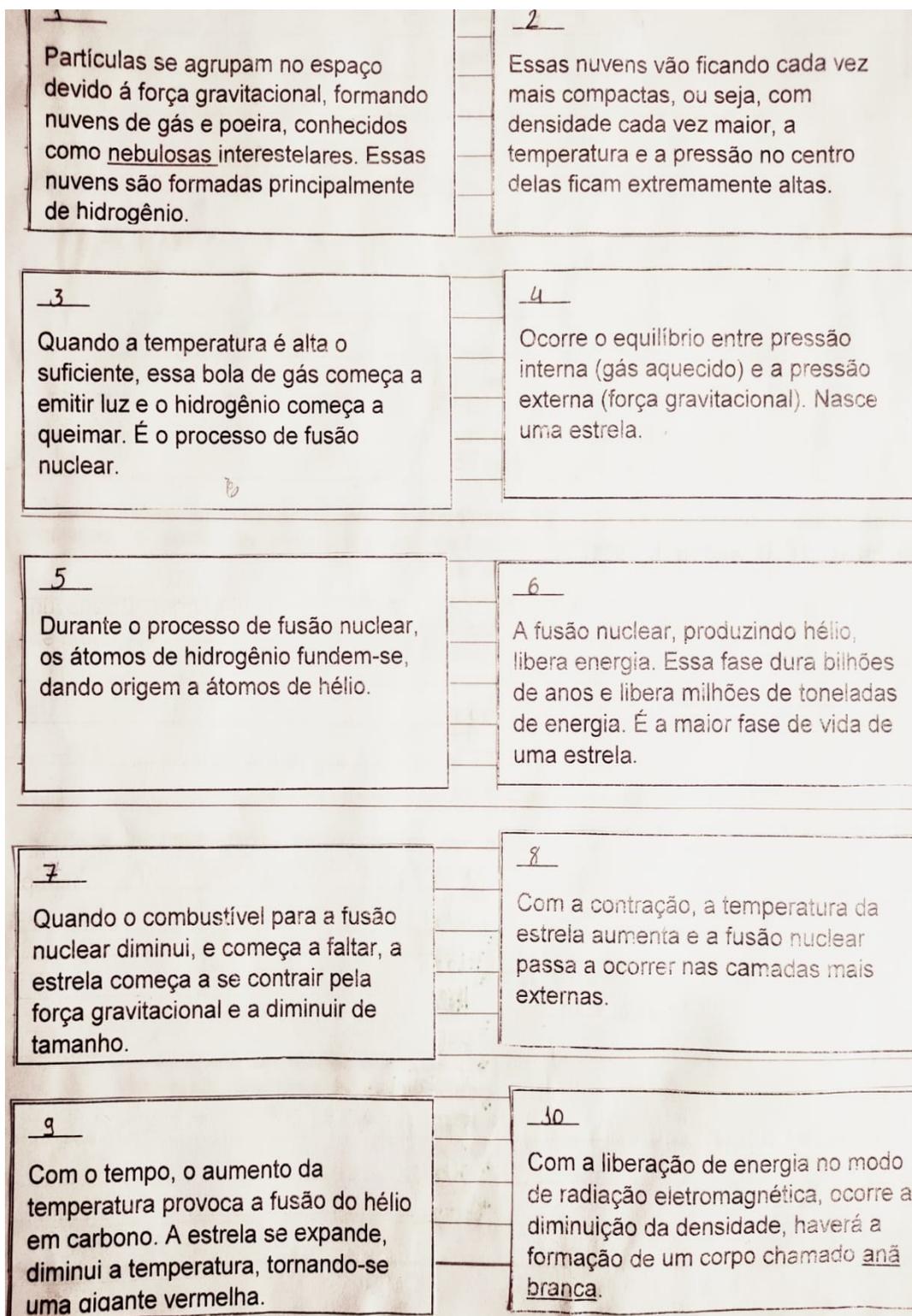
tipo de imagem (nebulosa) na internet, outros que viram no site da Nasa. Alguns alunos disseram que a imagem representa uma galáxia, ou um buraco negro, outros disseram que representa o céu, um satélite e/ou um eclipse. Ao perguntar como e onde ocorre a formação de uma estrela, todos desconheciam. E ao perguntar se o Sol é uma estrela, a maioria da turma disse que sim, apenas dois alunos disseram não. E sobre a pergunta qual a diferença entre o Sol e as outras estrelas, disseram que o Sol é maior que as outras estrelas, que gira mais rápido. Apenas dois alunos disseram que está mais perto da Terra.

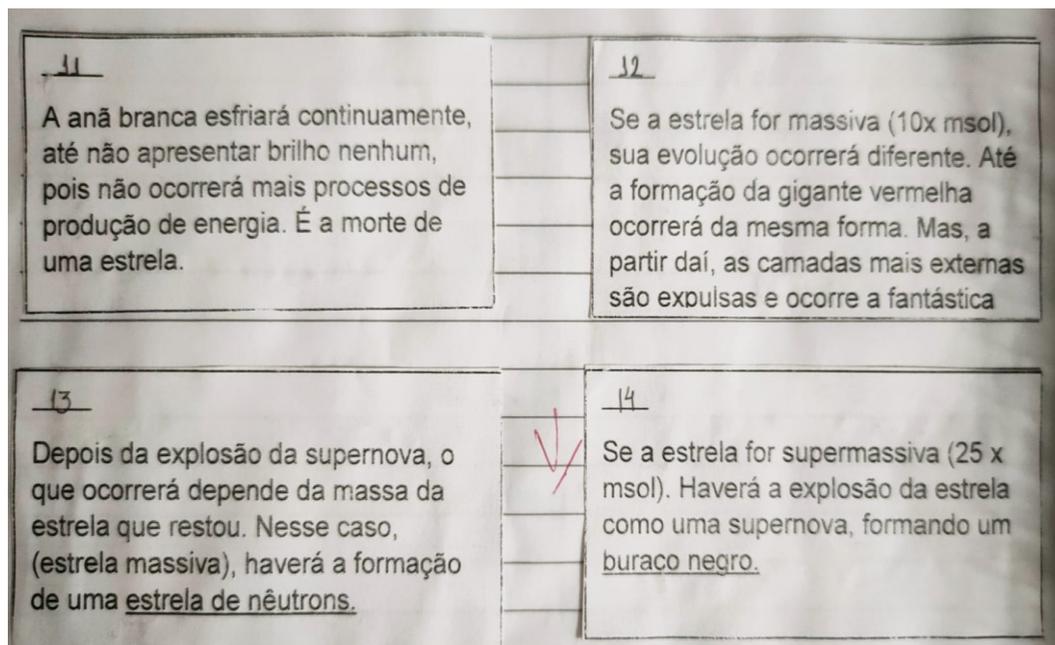
Em seguida, trabalhamos o texto “O que são nebulosas”, por meio da leitura compartilhada, depois o texto “Ciclo de Vida das Estrelas”.

No dia 15/8/23, com duas aulas conjugadas, entregamos para os alunos um mapa conceitual mostrando o ciclo de vida das estrelas e o seu fim, de acordo com sua massa. Foi feita uma explanação dialogada e na sequência entregamos os óculos VR, com os quais solicitamos aos alunos que assistissem ao vídeo “Uma viagem 3D pela nebulosa de Órion”.

Essa atividade demandou mais tempo do que o planejado, devido à dificuldade de acesso a internet. A internet que o governo disponibiliza aos alunos não suporta a demanda. Outra dificuldade foi a adaptação de alguns smartphones aos óculos VR. Os alunos, os quais seus smartphones não eram compatíveis com os óculos VR, aguardaram para que assistissem com o celular do colega ao lado. Nessa mesma aula, entregamos para os alunos uma folha com quadros informativos, os quais deveriam ser recortados e colados no caderno, enumerando-os de acordo com a ordem dos acontecimentos que ocorrem no processo de evolução estelar. Nessa atividade, apresentada na Figura 13, os alunos tiveram um pouco de dificuldade para realizá-lo, precisando recorrer aos textos trabalhados. Alguns que demonstraram maior compreensão dialogaram e auxiliaram os demais.

Figura 13 - Atividade com quadros informativos





Fonte: Aatoria própria (2023)

A aula seguinte, no dia 21/8, ainda no primeiro módulo, organizamos os alunos com os materiais (cartolina, tinta e algodão), direcionamos até o pátio, onde há mesas maiores, com o objetivo de facilitar o trabalho em equipe e solicitamos que produzissem a imagem de uma nebulosa. Para essa atividade, eles usaram seus smartphones para pesquisarem formas e cores de nebulosas.

Observamos que alguns alunos com maior inquietude em sala, foram os que se dedicaram mais e tiveram facilidade para desenvolver essa atividade. Esse é um importante resultado, visto que nem todos os alunos aprendem da mesma forma. Assim, proporcionamos diferentes atividades com o objetivo de desenvolver diferentes habilidades e respeitar a forma como cada um aprende. A Figura 14 apresenta a imagem de duas nebulosas produzida pelos alunos.

Figura 14 – Nebulosas produzidas pelos alunos



Fonte: Aatoria própria (2023)

Com essas duas últimas atividades de aplicação do conhecimento, encerramos o primeiro módulo.

4.1.2 Módulo 2 – Supernovas: Colapso das estrelas e o Buraco Negro

No dia 22/8/2023, com duas aulas conjugadas, iniciamos a aula apresentando os seguintes questionamentos: O que leva à destruição de uma estrela? De onde vem o poder de um Buraco Negro? Os alunos responderam que a destruição de uma estrela se deve à perda de massa, queima de combustível e fim do combustível, evidenciando um conhecimento prévio já com um certo grau de cientificidade. E à pergunta sobre o poder do buraco negro, responderam que era da morte de uma estrela, da gravidade e da morte de uma estrela supermassiva, aqui também já associaram o buraco negro à morte de uma estrela supermassiva. Essas respostas com argumentos científicos já corretos estão associados ao texto trabalhado no módulo anterior.

As respostas apresentadas pelos alunos foram anotadas no quadro. Em seguida, apresentamos e fizemos a leitura da frase “Nós somos poeira das estrelas” de Carl Sagan. Com essa frase questionamos os alunos “Como podemos dizer que somos feitos de poeira das estrelas?” Deixamos eles, em pequenos grupos, levantarem algumas hipóteses e na sequência apresentamos o texto na TV “Agora é oficial: somos feitos de estrelas”, fizemos a leitura e discussão com os alunos, relacionando o texto e os elementos químicos produzidos pelas estrelas.

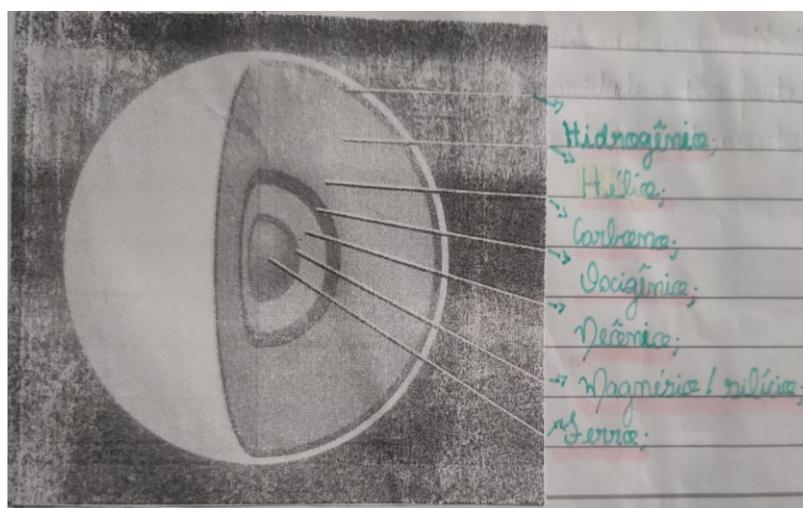
Ao final, solicitamos que comparassem os resultados apresentados no texto com as hipóteses levantadas pelos grupos, a fim de tomar consciência dos argumentos utilizados e dos erros em alguns casos cometidos, pois acreditamos que o erro possui uma grande importância no processo de aprendizagem (Batista, Fusinato e Blini, 2009).

Prosseguindo, dividimos a turma em quatro equipes. Entregamos o texto “O que é um buraco Negro” para duas equipes e “Tudo o que você precisa saber sobre o buraco negro” para as outras duas equipes. Cada equipe teve um tempo para ler, anotar e discutir o assunto. Após o tempo determinado, voltamos para o grande grupo, onde as equipes com textos semelhantes apresentaram suas discussões e juntos fizemos uma explanação dialogada dos principais pontos apresentados nos textos.

Na aula seguinte, dia 28/8, solicitamos que pegassem o óculos VR e assistissem ao vídeo “Entrando em um Buraco Negro”. Após assistirem, fizemos uma discussão e socialização sobre o vídeo.

Como aplicação do conhecimento, distribuimos para cada aluno uma imagem do núcleo de uma estrela, com as camadas enumeradas de 1 a 7, para que pudessem recortar e colar em cadernos, com o objetivo de que colocassem o nome na frente de cada número dos elementos químicos, produzidos pelas estrelas até seu colapso, conforme apresentado na Figura 15. Encerramos, dessa forma, o segundo módulo.

Figura 15 - Atividade com elementos químicos produzidos pelas estrelas



Fonte: Autoria própria (2023)

4.1.3 Módulo 3 – O Sol e os processos vitais e sua extinção

No dia 29/08 com duas aulas conjugadas, começamos esse módulo, apresentando na TV educatron a seguinte situação problematizadora: Qual o impacto para a vida na Terra com o fim do Sol? As respostas dos alunos foram no sentido de que as plantas morreriam, acabaria o oxigênio, morreríamos de frio, a Terra não faria seus movimentos e o Sol explodiria, levando a Terra junto. Essas respostas foram anotadas no quadro e, em seguida, dividimos a turma em 6 equipes e entregamos o texto “ciclos biogeoquímicos”. Em equipes, fizeram a leitura do texto e discutiram entre si.

Após esse momento, fizemos uma explanação dialogada com a turma a respeito da importância do Sol para os ciclos biogeoquímicos. Entregamos também a imagem de dois ciclos biogeoquímicos, do Oxigênio e do Carbono, os mesmos foram

apresentados na TV. Fizemos uma explanação desses ciclos e sua relação com o Sol. Após essa explanação, os alunos pegaram os óculos VR e assistiram ao vídeo 3D “Explorando o espaço”. Após assistirem ao vídeo, fizemos uma discussão do conteúdo apresentado.

Após a discussão, como aplicação do conhecimento, apresentamos novamente a pergunta problematizadora inicial: “Qual o impacto para a vida na Terra com o fim do Sol?”. Nesse momento, de posse de maior conhecimento científico, solicitamos que respondessem novamente essa questão por meio da produção de um texto. Incentivamos a escrita, instigando-os para que escrevessem sobre a importância do Sol e a responsabilidade de cada um em proteger e cuidar de cada um dos fatores bióticos e abióticos, para que a vida funcione em harmonia com os ciclos biogeoquímicos.

É importante ressaltar que os textos produzidos pelos alunos apresentaram argumentos científicos presentes nos textos estudados. Terminamos aqui, com essa atividade, o terceiro módulo.

4.1.4 Módulo 4 – Composição química do Universo e desmistificando Estrelas Cadentes

O quarto módulo teve início dia 04/9/23, com uma aula iniciada com a apresentação de duas perguntas: O que é uma estrela cadente? O que você sabe sobre estrelas cadentes? Essas perguntas foram feitas de forma reflexiva, levando os alunos a apresentarem seus conhecimentos prévios. Suas falas foram anotadas no quadro. As respostas apresentadas foram que “estrelas cadentes seriam meteoros que entram na atmosfera”, “os meteoros quando entram na atmosfera queimam”, “meteoro colide com outro meteoro”, “é um meteoro pegando fogo e pega fogo devido a velocidade”. Algumas das respostas tangenciam uma explicação científica, todas buscam utilizar um vocabulário científico, o que em certo grau já é desejável, ainda que a resposta não esteja completamente correta.

Após esgotarem as sugestões dos alunos, apresentamos a frase do químico Lavoisier “Na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”. Nessa parte fizemos uma discussão sobre a frase, visto que já conheciam o assunto, de momentos prévios, quando foi trabalhado a conservação da matéria.

Complementando tal assunto, fizemos uma discussão abordando desde a formação do Universo até a formação dos elementos pesados. Na sequência, solicitamos que formassem equipes e entregamos para cada equipe dois textos “Quantos átomos formam o corpo humano?” e “Estrelas Cadentes”. Cada equipe fez a leitura e discussão apenas entre os membros do grupo, pois a aula já terminara.

Na aula seguinte, no dia 05/9, continuamos com esse módulo e cada equipe teve um tempo para apresentarem ao grande grupo suas considerações sobre os elementos mais importantes que consideraram nos textos estudados. Fizemos uma explanação de forma dialogada com as equipes, levando-os a falarem seus entendimentos a respeito dos textos. Logo em seguida, solicitamos que pegassem seus smartphones e óculos 3D e assistissem ao vídeo “Via Láctea - Space 360”, de acordo com a Figura 16.

Após assistirem ao vídeo, fizemos uma discussão sobre o mesmo. Finalizando essa aula, após todas discussões e questionamentos, apresentamos atividades em forma de questões relacionadas aos textos e vídeo, como forma de aplicação do conhecimento.

Figura 16 - Alunos assistindo vídeo com óculos VR.



Fonte: Autoria própria (2023)

4.1.5 Módulo 5 – Ciclo de vida do Sol: efeitos das erupções solares e Tempestades Cósmicas no espaço

Esse módulo teve início dia 11/09. Iniciamos apresentando duas situações problematizadoras: “Você já ouviu falar em erupção solar?” e “Tempestades Solares”?

Em relação a tais questionamentos, não houve contribuição de nenhum aluno, pois são assuntos nunca vistos por eles. Percebemos que eles ficaram surpresos e muito pensativos, tendo essas questões aguçado ainda mais a curiosidade. Para organização do conhecimento, apresentamos uma reportagem do site da Nasa, sobre erupção solar. Fizemos a leitura e explanação do conteúdo da reportagem, ressaltando os impactos de uma erupção solar no planeta Terra. Logo em seguida, exibimos um vídeo 2D na TV Educatron do mesmo site, mostrando a imagem de uma explosão solar de nível médio.

Na aula seguinte, no dia 12/9, continuando com as atividades do dia anterior, solicitamos aos alunos que pegassem os óculos VR e acessassem o vídeo 3D “Exploração do Sistema Solar 360° parte III – O Sol”. Após assistirem ao vídeo, fizemos uma discussão sobre o conteúdo e as imagens.

Finalizando esse módulo e todo o desenvolvimento do trabalho, aplicamos uma avaliação envolvendo todos os conteúdos dos módulos. E para que houvesse maior participação e envolvimento dos alunos, solicitamos um trabalho em forma de seminário. Dividimos a turma em cinco equipes, cada uma ficou responsável por um módulo, sendo esse último feito na forma de sorteio.

A equipe 1, composta por seis alunos, ficou responsável por pesquisar e apresentar sobre as nebulosas e o nascimento das estrelas. Prepararam o trabalho e o apresentaram por meio de slides com textos e imagens. Cada aluno da equipe participou com a apresentação do conteúdo, interagindo com a turma, conforme aconteciam as participações. Com a colocação de cada aluno da equipe, percebemos que ficou claro para eles que as estrelas nascem de nuvens de gás e poeira, denominadas nebulosas. E ainda que, as imagens que antes pensavam que eram galáxias, buraco negro e até mesmo eclipse, entenderam que se trata de nebulosas. Concluíram, por meio de todas as atividades e trabalhos, que o Sol é uma estrela, assim como as demais estrelas que se pode observar a olho nu. Para nós aqui na Terra, o Sol aparenta ser a maior estrela, por localizar-se mais próximo da Terra do que as demais. Entenderam que a maior diferença está na distância.

A equipe 2, formada por cinco alunos, pesquisou e apresentou o trabalho sobre destruição de uma estrela e buraco negro. A equipe utilizou slides com textos e imagens e cada aluno apresentou uma parte do trabalho, sendo possível perceber que houve interação entre os membros da equipe e a turma. Diante da apresentação dessa equipe e interação com a turma, ficou evidente que todos entenderam que o

que mantém a vida de uma estrela é o processo de fusão nuclear. E que o nascimento de uma estrela acontece quando ela começa fundir hidrogênio em hélio, e a vida termina quando acaba seu combustível. Houve momentos em que a professora contribuiu com a equipe no sentido de colaborar com explicações. Observamos que todos os alunos entenderam que o tempo de vida de uma estrela depende da sua massa.

Em relação a buracos negros, um assunto que desperta muita curiosidade, observamos que ficou claro para todos os alunos que os buracos negros se formam a partir de estrelas supermassivas (estrelas com 25 vezes a massa solar). Percebemos que ficou evidente para eles que não é qualquer estrela que se transforma em um buraco negro, vai depender da sua massa. Entenderam também, que dependendo da sua massa, a estrela pode fundir-se em outros elementos químicos, chegando até o ferro. Podemos afirmar que todos os alunos entenderam que o Sol está aproximadamente na metade do seu ciclo de vida e, no final da mesma, se transformará em uma anã branca. Esse foi um assunto assustador no início do módulo 2, ao se tratar da “morte do Sol”.

A equipe 3 era composta por sete alunos, dos quais alguns apresentavam muitas dificuldades de aprendizagem, além de dificuldades para expor suas ideias. Porém, o conteúdo que a equipe ficou responsável foi “A importância do Sol para os Ciclos Biogeoquímicos”, considerado um conteúdo de fácil entendimento. Observamos que os alunos possuíam conhecimentos prévios sobre o assunto. A equipe apresentou slides com textos e imagens dos ciclos do oxigênio e carbono. Podemos inferir que todos os alunos terminaram a atividade sabendo a importância do Sol para os Ciclos Biogeoquímicos e os impactos com o seu fim para a vida na Terra. Percebemos também, que são conscientes da sua responsabilidade para a preservação dos fatores bióticos e abióticos que compõe os Ciclos Biogeoquímicos.

A equipe 4, composta por 6 alunos, ficou responsável por apresentar o conteúdo estrelas cadentes. A equipe apresentou o trabalho em forma de slides com texto, imagens e vídeo. Podemos afirmar que o grupo teve total domínio sobre o conteúdo. Quando foi trabalhado esse assunto, no módulo 4, observamos que muitos alunos desconheciam o que seria estrelas cadentes, acreditando realmente que eram “estrelas que caíam”. Após esse trabalho, concluímos que todos os alunos entenderam de fato, o que são as estrelas cadentes.

A equipe 5, formada por 6 alunos, ficou responsável por pesquisar sobre Erupções solares e Tempestades Cósmicas. A equipe apresentou usando slides com textos e imagens. Esse conteúdo, quando foi trabalho no dia 11/9, era um assunto desconhecido, podendo ser notado pela dificuldade dos alunos para participar com as questões no momento da problematização inicial. No entanto, com a colocação dos alunos e a discussão com a turma, pudemos perceber o conhecimento que construíram acerca desse conteúdo. Dessa forma, podemos concluir que os alunos identificaram os impactos de uma erupção solar no planeta Terra, como aquecimento global e mutação de células somáticas, causando câncer de pele.

Além desses trabalhos em grupos, aplicamos uma avaliação para a constatação do conhecimento construído. A avaliação foi composta de questões objetivas e dissertativas.

1- No processo de fusão nuclear, que ocorre no núcleo de uma estrela, os átomos de hidrogênio transformam-se em:

- A) Carbono (C).
- B) Oxigênio (O).
- C) Hélio (He).
- D) Criptônio (Kr).

2- As estrelas com menor tempo de vida são as:

- A) mais quentes e mais massivas.
- B) mais quentes e menos massivas.
- C) menos quentes e mais massivas.
- D) menos quentes e menos massivas

3- A origem da energia solar, no Sol, ocorre a partir:

- A) da combustão de substâncias que contêm carbono.
- B) da fissão nuclear do hidrogênio.
- C) da fissão nuclear do urânio.
- D) da fusão nuclear do hidrogênio.
- E) da fusão nuclear do urânio.

4- Sol é a estrela mais próxima do nosso planeta. Com relação ao seu futuro, pode-se afirmar que:

- (A) o Sol sempre existirá, pois produz a sua própria energia.
- (B) daqui a bilhões de anos seu brilho irá diminuir.
- (C) pode deixar de brilhar a qualquer momento.
- (D) como toda estrela, vai acabar como um buraco negro.

5- Uma estrela de grande massa, após uma supernova, pode dar origem a:

- A. Uma nebulosa planetária ou a uma anã castanha.
- B. Uma nebulosa planetária ou a um buraco negro.

C. Uma estrela de nêutrons ou a um buraco negro.

6- O nascimento de uma estrela ocorre em:

- A. Em nuvens denominadas galáxias.
- B. Nuvens de gás e poeira denominada nebulosas.
- C. Nuvens de gás e poeira denominadas supernovas.

7- Uma supernova é uma explosão muito violenta que ocorre nas:

- A. estrelas de menor massa no final da sua evolução.
- B. estrelas de grande massa no final da sua evolução.
- C. estrelas de grande massa no princípio da sua formação.

8- Complete:

O Sol é uma estrela com aproximadamente 4,5 bilhões de anos, terminará seu ciclo de vida como uma.....

9- Como as estrelas mantêm seu equilíbrio, ou seja, a maior parte da sua vida?

À primeira questão, ao perguntar sobre como ocorre processo de fusão nuclear, processo que ocorre no núcleo da estrela, 86% responderam que os átomos de hidrogênio(H) transformam-se em átomos de hélio (He). À segunda questão, ao perguntar quais estrelas têm menor tempo de vida, 79% responderam que são as estrelas mais quentes e mais massivas.

A terceira questão perguntava sobre a origem da energia solar e 95% responderam que ocorre a partir da fusão nuclear do hidrogênio. Já a quarta questão questionou sobre o futuro do Sol, a estrela mais próxima do nosso planeta, com 93% dos alunos respondendo que daqui a bilhões de anos seu brilho irá diminuir.

A quinta questão perguntou a respeito de uma estrela de grande massa, após uma supernova, o que acontece com ela, tendo 86% dos alunos respondido que após uma supernova pode dar origem a uma estrela de nêutrons ou a um buraco negro. Enquanto a sexta questão questionou onde ocorre o nascimento de uma estrela, a qual 96% responderam que o nascimento de uma estrela ocorre em nuvens de gás e poeira denominada nebulosas.

A sétima questão indagava sobre uma supernova, que é uma explosão muito violenta, e 95% dos alunos responderam que essa explosão ocorre com as estrelas

de grande massa no final da sua evolução. Já a oitava questão foi dissertativa, questionou novamente sobre o Sol, uma estrela de aproximadamente 4,5 bilhões de anos e como terminará seu ciclo, na qual 82% responderam que o Sol terminará seu ciclo como uma Anã Branca. À nona questão, também dissertativa, versava sobre como as estrelas mantêm seu equilíbrio durante a maior parte da sua vida, 70% dos alunos responderam que mantêm seu equilíbrio por meio da pressão interna provocada pela fusão nuclear e pela pressão externa provocada pela força gravitacional. Observamos que nesta última, os alunos tiveram mais dificuldade, os erros aconteceram em falar apenas da pressão interna e não relacionar com a força gravitacional.

Com a análise das respostas, podemos concluir que a maioria dos alunos apropriaram-se dos conteúdos trabalhados.

Dando continuidade, aplicamos uma avaliação sobre as aulas utilizadas para a implementação. Ao perguntar sobre os recursos utilizados, quais eles mais gostaram, as respostas foram quase unânimes, apontando que os recursos que mais gostaram foram os vídeos 3D com o uso dos óculos VR. Justificaram que, com esses recursos, tiveram uma visão ampla do conteúdo, ajudando a ter uma visão mais próxima da realidade e com isso a entender melhor os conteúdos. Ao responder a questão “Você acredita que os conteúdos trabalhados foram capazes de colaborar com seu aprendizado?”, as respostas foram que os conteúdos colaboraram para agregar conhecimento, que a professora passou os conteúdos de várias maneiras e isso ajudou a entender e aprender o conteúdo. Disseram ainda, que foram muitos conteúdos novos que não imaginavam, como por exemplo, estrela cadente não ser uma estrela e como se formam as estrelas.

Por fim, ao perguntar sobre os pontos positivos e negativos das aulas, disseram que os pontos positivos foram a aquisição de novos conhecimentos sobre as estrelas, nebulosas, buracos negros e erupção solar, a boa explicação da professora, atividades dinâmicas e o uso de óculos VR. A respeito dos pontos negativos, um ponto negativo citado pelos alunos foi a incompatibilidade de alguns smartphones com os óculos VR. Outro ponto negativo citado foi a indisciplina de alguns alunos que atrapalharam, mas a maioria disse não haver pontos negativos.

Diante dos comentários dos alunos e análise das respostas, como professora regente, entendemos serem satisfatórios os resultados obtidos durante o processo de implementação da proposta didática, contribuindo para a construção de conteúdos

conceituais e mostrando como é importante o contato com o conhecimento do outro, através da interação entre professor e aluno, que juntos podem buscar um ambiente de aprendizagem, construindo um conhecimento crítico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao terminar esta proposta didática sobre ensino de evolução estelar, é possível perceber a importância de considerar o aluno como agente na construção do seu conhecimento, oportunizando-o a se colocar como sujeito de sua aprendizagem. Nesse sentido, este trabalho vem aplicar e validar a metodologia dos Três Momentos Pedagógicos (1994).

Dessa forma, esta proposta foi elaborada levando em consideração a vivência do aluno, o conhecimento do seu dia-a-dia, fazendo com que ele não seja apenas mais um simples aluno ouvinte e repetidor de conceitos prontos. A metodologia utilizada nesta proposta insere o aluno no contexto da aula, proporcionando momentos para expressar-se, levantando hipóteses, confrontando suas ideias, dando opinião, sendo assim agente do seu conhecimento.

No decorrer da implementação, observamos duas dificuldades, a primeira foi a disponibilidade de internet de qualidade para os alunos, a que estava disponível, não rodava os vídeos citados no encaminhamento metodológico, sendo necessário rotear internet disponível do uso dos professores. A segunda dificuldade encontrada foi a incompatibilidade de alguns smartphones com os óculos VR. Sugerimos como adaptação, investigar previamente a internet com todos os alunos, deixando certo qual deverá ser utilizada, além de testar com antecedência os *smartphones* dos alunos com os óculos VR, dessa forma os alunos já ficam sabendo da incompatibilidade ou não do seu smartphone.

Percebemos também ao aplicar a proposta didática, que o tempo não foi suficiente para aplicação da avaliação. No quinto módulo, em virtude das apresentações dos trabalhos, a mesma foi aplicada na semana posterior.

A implementação desta proposta não serve somente para a construção do conhecimento dos alunos dessa turma, mas também para a formação dos docentes, mostrando perspectivas e metodologia, que na maioria das vezes não são estudadas na formação acadêmica e na formação continuada.

É importante destacar que os professores necessitam buscar uma nova maneira de abordar os conteúdos. Precisam se reinventar, pois atualmente no Estado do Paraná, os conteúdos já vêm preparados no Registro de Classe Online. Se o professor apenas seguir o roteiro da aula, sem sair do que está posto, buscando outras abordagens para o conteúdo, outras estratégias metodológicas para a aplicação do conteúdo, fica uma grande lacuna para a construção do conhecimento, que se restringe a superficialidade. Todavia, estamos inseridos numa sociedade em constante transformação, os alunos estão em contato diariamente com recursos tecnológicos que podem ser utilizados para o conhecimento. Diante disso, o professor tem função primordial de agir como mediador no processo de aprendizagem, ciente de que ensinar não é transferir conhecimentos, mas criar condições para que o aluno construa seu próprio conhecimento (Paulo Freire, 1996).

A metodologia dos TMP, na sua primeira parte “Problematização Inicial” instiga a curiosidade do aluno e de acordo com Rogers, citado no livro Teorias de Aprendizagem de Moreira (1999), o ser humano tem a potencialidade natural para aprender e a curiosidade é o que move o desejo de aprender. Assim sendo, o professor conseguindo aguçar a curiosidade do aluno, já deu um grande passo a favor da aprendizagem, pois conseguirá prender a atenção do aluno para que a aprendizagem de fato ocorra.

Todo o processo de implementação, desde a problematização inicial, organização do conhecimento, aplicação do conhecimento até a análise dos resultados, possibilitou um crescimento dos saberes adquiridos por meio da troca de conhecimentos entre professor e alunos.

Com o planejamento desta implementação, foi possível repensar o método de ensino, a importância de um bom planejamento, refletir sobre a prática pedagógica e os recursos utilizados para levar o aluno à construção do conhecimento.

Os objetivos apontados nesta Proposta Didática foram atingidos. Foi possível perceber êxito na prática pedagógica, por meio das atividades desenvolvidas e análise das respostas dos alunos nas atividades avaliativas, sendo que a metodologia utilizada permitiu que se retomassem constantemente às dúvidas e conceitos equivocados dos alunos, realizando, para isso, intervenções pontuais necessárias que levam o aluno à construção do conhecimento.

Além disso, por meio da participação, das interações durante as aulas e os comentários na avaliação da implementação, constatamos que os vídeos no formato

3D foram recursos importantes, pois tornaram as aulas mais atrativas e trouxeram, de uma forma descontraída, conteúdos que fazem parte do cotidiano e ao mesmo tempo são de difícil compreensão, por se tratar de fenômenos que ocorrem à distâncias astronômicas.

Por fim, diante dos resultados alcançados nas atividades, das declarações positivas dos alunos e manifestações da equipe pedagógica, que incentivou a aplicação da proposta, nos levaram a concluir o êxito da proposta aplicada. Esperamos que esta proposta possa colaborar com os professores da educação básica, de forma simples e dinâmica ampliar e construir novos conhecimentos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, D. Evolução das estrelas e a formação dos elementos químicos. **Meteoríticas**. 2020. Disponível em: <https://www.meteoritos.com.br/evolucao-das-estrelas-e-a-formacao-dos-elementos-quimicos/>. Acesso em: 20 fev. 2023

BARDINE, R. Luz visível, **Cola da Web**, Disponível em: <https://www.coladaweb.com/fisica/ondas/luz-visivel>. Acesso em: 15 fev. 2023.

BATISTA, D. C. et al. **Atividade Exerimental para o Ensino de Física**: Efeito Fotoelétrico. Caderno de Física da Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, 2021.

BECKER, H. S; GEER, B. **Participant observation and interviewing: a comparison**. In: McCall, J. G; Simmons, J. L. (Ed) Issues in participant observation: a text and reader. Reading: Massachusetts Addison-Wesley, 1969. p. 322-331

BRASIL, Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. [Brasília]: [MEC], 2017. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=79611-anexo-texto-bncc-aprovado-em-15-12-17-pdf&category_slug=dezembro-2017-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 23 jan. 2023.

CAPOZZOLI, U. **A origem e o fim do tempo**: interpretações da física e da filosofia (Coleção Ciência no Cotidiano), 1. ed. São Paulo :Edições SESC SP, 2019.

CANIATO, R. **O Céu**. São Paulo: Editora Átomo, 2011.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Editora Cortez, 1994.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências**: fundamentos e métodos. São Paulo: Editora Cortez, 2018.

DIAS, D. L. Modelo atômico de Rutherford. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/o-atomo-rutherford.htm>. Acesso em: 10 fev. 2023.

EISBERG, R.; RESNICK, R. Física quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas, Rio de Janeiro; Elsevier, 1979.

FANTUZZI, F. Diagrama HR e Evolução Estelar. Infoescola. Disponível em: <https://www.infoescola.com/astrologia/diagrama-hr-e-evolucao-estelar/>. Acesso em: 17 fev. 2024.

FREIRE, P. **Pedagogia da autonomia** – Saberes necessários á pratica. Campinas: Editora Paz e Terra, 1996.

FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Editora Paz e Terra, 1987.

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "**Espectros Eletromagnéticos e Estrutura do átomo**"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/espectros-eletromagneticos-estrutura-atomo.htm>. Acesso em 30 de janeiro de 2024.

GASPAR, A. **Compreendendo a física**: eletromagnetismo e física moderna. v. 3, 2. ed. São Paulo: Editora Ática, 2013.

GUIMARÃES, F. F. **Proposta de sequência didática para o estudo da radiação do corpo negro no ensino médio**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Física). Departamento de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2018.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J., **Fundamentos de física**, v.3, 11. ed. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2020a.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J., **Fundamentos de física**, v.2, 11. ed. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2020b.

HELERBROCK, Rafael. "Espectro eletromagnético"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>. Acesso em 01 de março de 2023a.

HELERBROCK, Rafael. Espectro eletromagnético. Mundo Educação. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>. Acesso em: 30 maio 2024b.

HELERBROCK, R. Dispersão da luz branca. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-dispersao-luz-branca.htm>. Acesso em: 13 fev. 2023c.

HETEM, J. C. G. Estrelas. In: PICAZZIO, E. **O céu que nos envolve**: introdução a astronomia para educadores e iniciantes. São Paulo: Editora Odysseus, 2011. Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~daminieli/aga105/livroprof.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2023.

HETEM; J. G. **Estrelas: Classificação espectral. Observatórios Virtuais – Fundamentos de Astronomia** – Cap. 10 (Gregorio-Hetem & Jatenco-Pereira) Atualização 2010. Disponível em <http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap10.pdf>. Acesso em: 12 de jan. 2023.

JÚNIOR, J. S. S. Estrelas cadentes. **Mundo Educação**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/estrelas-cadentes.htm>. Acesso em: 12 jan. 2023a.

JÚNIOR, J. S. S. O que é espectro eletromagnético. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-espectro-eletromagnetico.htm>. Acesso em: 13 fev. 2023b.

LEONARDO, A. J. **Segredos Luz Matéria**. Dissertação de Mestrado no Ensino da Física e da Química. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, 2005.

LIMA, Ana Luiza Lorenzen. "Modelos atômicos"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/modelos-atomicos.htm>. Acesso em 17 de dezembro de 2023.

MAGRON, A. A. **Estudo de uma proposta para o ensino de astrofísica a partir da aprendizagem significativa**. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física). Departamento de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2021.

MINAYO, Maria Cecília de Souza (org.). **Pesquisa Social. Teoria, método e criatividade**. 18 ed. Petrópolis: Vozes, 2001.

MOREIRA, M. A. **Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea**. Rio de Janeiro: Ciclo de palestras dos 50 Anos do Instituto de Física da UFRJ. 2014. Disponível em: http://www.if.ufrj.br/~pef/aulas_seminarios/seminarios/2014_Moreira_DesafiosEnsinoFisica.pdf. Acesso em: 17 jan. 2023.

MULLER, A. M.; SARAIVA, M. F. O.; FILHO, K. S. O. **Formação e evolução estelar**. Área 2, Aula 10. Disponível em: https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n29_Muller/aula2/aula2j.pdf. Acesso em: 22 fev. 2023.

NAPOLEÃO, T. Guia de estudos "Astrofísica estelar para o ensino médio" Muito além do Sistema Solar. In: NAPOLEÃO, T. A. J. **Astrofísica estelar para o ensino médio: uma abordagem empírica baseada na observação visual das estrelas variáveis**. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia). Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.

OKUNO, E.; VILELA, M. A. C. **Radiação ultravioleta: características e efeitos**. São Paulo: Livraria da Física, 2005.

OLIVEIRA, K. S. ; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia & astrofísica** 2. ed. Porto Alegre: Livraria da Física, 2014.

OLIVEIRA, K. S. ; SARAIVA, M. F. O. **Espectroscopia**. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm#classificacao>. Acesso em: 03 maio 2024.

PERCY, J. Evolução das estrelas. **Publicação da NASE**. Disponível em: http://sac.csic.es/astrosecundaria/pt/cursos/formato/materiales/conferencias/C1_pt.pdf. Acesso em: 22 de fev. 2023.

ROCHA, J. F. M. **Origens e evolução das ideias da física**, Salvador: Ed. UFBA, 2011

ROSA, J. Ondas eletromagnéticas; **Educa Mais Brasil**. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/ondas-eletromagneticas>. Acesso em: 10 fev. 2023.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Universo da física**. 2. ed. São Paulo: Editora Atual, 2005.

SILVA, A. V. R. **Nossa estrela: o Sol**. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

STAVINSCHI, M.; GARCIA, B.; SOSA, A. Sistema solar e exoplanetas. **Publicação NASE**. 2021. Disponível em: http://sac.csic.es/astrosecundaria/pt/cursos/formato/materiales/conferencias/C4_pt.pdf. Acesso em: 23 fev. 2023.

APÊNDICE - PRODUTO EDUCACIONAL

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

MARIA DOS ANJOS DE OLIVEIRA

EVOLUÇÃO ESTELAR: UMA PROPOSTA PARA O 9º ANO

CAMPO MOURÃO

2024

MARIA DOS ANJOS DE OLIVEIRA

EVOLUÇÃO ESTELAR: UMA PROPOSTA PARA O 9º ANO

Stellar evolution: a proposal for the 9 th year

Produto Educacional apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós Graduação em Ensino de Física – Polo 32 do MNPEF da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador: Dr. Gilson Junior Schiavon

Coorientador: Dr. Michel Corci Batista

CAMPO MOURÃO

2024



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/)

Esta licença permite remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, para fins não comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es) e que licenciem as novas criações sob termos idênticos. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



MARIA DOS ANJOS DE OLIVEIRA

Data de aprovação: 05 de Abril de 2024

EVOLUÇÃO ESTELAR: UMA PROPOSTA PARA O 9º ANO

Trabalho de pesquisa de mestrado apresentado como requisito para obtenção do título de Mestre Em Ensino De Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Área de concentração: Física Na Educação Básica.

Dr. Gilson Junior Schiavon, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Dra. Geislana Padeti Ferreira Duminelli, Doutorado - Secretaria de Educação do Estado do Paraná

Dr. Oscar Rodrigues Dos Santos, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 08/04/2024.

LISTA DE FIGURAS

Quadro – 1	Apresentação do Produto Educacional.....	10
Quadro – 2	Estruturação em módulos da poposta didática para o ensino da evolução estelar.....	10
Figura – 1	Apresentação da estrutura de formação dos diferentes elementos químicos de uma estrela.....	16
Figura – 2	Diagrama H-R para classificação dos astros.....	18

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	5
2	OBJETIVOS.....	8
2.1	OBJETIVO GERAL.....	8
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
3	ESTRUTURA DO PRODUTO EDUCACIONAL.....	9
4	SUORTE PARA O PROFESSOR.....	14
4.1	NOÇÕES BÁSICAS DE EVOLUÇÃO ESTELAR.....	14
4.1.1	DIAGRAMA H-R.....	18
4.1.2	O SOL.....	19
4.1.3	ESTRELAS CADENTES.....	20
4.2	UMA INTRODUÇÃO AOS TRÊS MOMENTOS PEDAGÓGICOS.....	21
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	23
	REFERÊNCIAS.....	24
	ANEXO 1	26
	ANEXO 2.....	30
	ANEXO 3.....	33
	ANEXO 4.....	36
	ANEXO 5.....	39
	ANEXO 6.....	42
	ANEXO 7.....	43

1 INTRODUÇÃO

A Astronomia é considerada a mais antiga das ciências. É a partir dela que surgem outros saberes. Essa ciência está presente no cotidiano desde tempos remotos, no quais o homem já demonstrava a curiosidade de saber a origem e evolução dos corpos celestes.

O interesse e o fascínio pela Astronomia têm inúmeras razões, umas delas é a necessidade de medir o tempo. Segundo Caniato (2011), os relógios eram controlados pela passagem meridiana das estrelas e quase todos os povos primitivos tinham seu calendário baseado nas fases na Lua.

Toda observação e indagação do céu eram feitos a olho nu. Essas foram as primeiras atividades especulativas do homem. Ao olhar para o céu e ver um grande número de estrelas (pontos luminosos), o homem começou a unir esses pontos, formando figuras e, conforme suas crenças, deu nome a elas. Dessa forma, nasceu o nome das constelações que conhecemos hoje. As estrelas seriam, portanto, pontos luminosos localizados na face interna da grande esfera celeste e, acima da esfera, ficavam os elementos divinos. Entre todas as estrelas, o Sol foi o astro observado com maior inspiração.

A maior revolução na Astronomia aconteceu com Galileu Galilei no século XVII. A partir disso, a Astronomia passou a ser vista como um marco do conhecimento e um desafio constante para o homem.

Quando Galileu usou um telescópio para observar o céu, surgiu uma nova era para o desenvolvimento da Astronomia. Impulsionados por seu trabalho, novos e maiores telescópios foram sendo produzidos e instalados em diversos países, visando expandir ainda mais a observação e o estudo do céu, que tanto fascina o homem. Conseqüentemente, todas essas descobertas trouxeram junto muitos questionamentos e a demanda por novos conhecimentos.

No século XX, com a chegada da Era Espacial, abriu-se um campo sem limites para o estudo das estrelas a partir do espaço, agora com sofisticados observatórios. Com isso, muitas perguntas e questionamentos sobre a evolução do Sol começaram a ser solucionadas. Nos dias atuais, muitas são as buscas dos cientistas que ainda voltam seus olhares para o céu: como encontrar novos planetas habitáveis, descobrir vida fora da Terra, bem como tentar entender como surgiu o universo.

A partir disso, a necessidade do conhecimento desse ramo do saber passou a estar presente no cotidiano dos alunos. Observar o céu é algo que pode ser muito simples, passível de ser feito por qualquer pessoa. E mesmo que sem instrumentos ópticos específicos para dar detalhes sobre o que se vê, os alunos têm diante de si um grande quadro negro, todas as noites, cheio de detalhes para instigar sua curiosidade.

O ensino de Astronomia nos anos finais do Ensino Fundamental está distribuído nas quatro séries. Mas é no 9º ano que se estuda o Ciclo Evolutivo do Sol, com base no conhecimento da evolução das estrelas, considerando os efeitos deste sobre a Terra.

Entretanto, os conteúdos de Astronomia no Ensino Fundamental não são trabalhados de forma satisfatória e, algumas vezes, acabam nem sendo trabalhados. Acredito que isso se deve à falta de formação acadêmica dos professores na área da Astronomia, falta de formação continuada, entre outros fatores. Com isso, na maioria das vezes, as aulas acontecem de forma expositiva, apenas com uso do livro didático, causando uma aprendizagem mecânica, sem construção de conhecimento.

Diante desse contexto, pretendemos elaborar, aplicar e avaliar uma proposta didática para o Ensino de Evolução Estelar para o 9º Ano, utilizando a realidade virtual. Com o avanço da tecnologia virtual, é possível sua utilização em sala de aula com vídeos e óculos 3D, enriquecendo a aprendizagem de forma lúdica e interativa. Os recursos tecnológicos já são uma realidade utilizada de forma crescente no ambiente escolar, com o propósito de instigar o interesse, proporcionar mais facilidade de compreensão e a consequente construção de conhecimento. A visualização de imagens no formato 3D contribui significativamente no processo ensino aprendizagem, principalmente em Astronomia, pois projeta determinadas ideias que normalmente são compreendidas apenas com o uso da imaginação.

Considerando esse contexto, a elaboração deste produto está alicerçada nos pressupostos teóricos dos Três Momentos Pedagógicos, conforme Delizoicov e Angotti (1994).

No Primeiro Momento, serão apresentadas questões para discussão e uma problematização. No Segundo Momento, a resolução e a compreensão da problematização serão sistematizadas e estudadas por meio de definições, conceitos e relações. Por último, ocorre a aplicação do conhecimento. Essa última etapa constitui o Terceiro Momento Pedagógico, que visa a apresentação do conhecimento

que vem sendo construído pelo aluno através da problematização inicial e outras situações que não estejam diretamente ligadas a ela, mas que são resolvidas pelo mesmo conhecimento. Desse modo, é possível demonstrar que o conhecimento vai sendo construído historicamente e está disponível para que qualquer cidadão faça uso.

Portanto, o desenvolvimento deste Produto Educacional contribui para o ensino de Astronomia dentro do Componente Curricular Ciências ao pensar um ensino que esteja efetivamente comprometido com a formação integral e científica dos alunos, através de uma metodologia que os trazem como sujeitos da aprendizagem, permitindo maior participação deles nesse processo.

Para isso, a elaboração e desenvolvimento desta proposta didática está organizada em módulos com objetivos de aprendizagem e atividades, atendendo ao que propõe os Três Momentos Pedagógicos.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O objetivo desta proposta de ensino é apresentar, explorar e discutir, por meio de diferentes encaminhamentos metodológicos, assuntos relacionados a Astrofísica

2.2 Objetivos Específicos

- Compreender o que é uma estrela, sua composição e seu ciclo evolutivo;
- Explorar a importância do Sol para a vida na Terra, bem como para os ciclos biogeoquímicos;
- Relacionar diferentes Áreas da Ciência (Física/Química), a partir de um trabalho interdisciplinar;
- Introduzir a realidade virtual no ambiente escolar;
- Proporcionar atividades para despertar a motivação dos alunos;
- Instigar o aluno a construir seu conhecimento a partir dos Três Momentos Pedagógicos;
- Possibilitar o trabalho em grupo.

3 ESTRUTURA DO PRODUTO EDUCACIONAL

Nossa proposta de ensino está pautada em documentos oficiais como o CREP (Currículo da Rede Estadual Paranaense) e a BNCC (Base Nacional Comum Curricular), que trazem a disciplina de Ciências como componente curricular, integrando a Área Ciências da Natureza.

De acordo com a BNCC, o componente curricular Ciências está dividido em unidades temáticas, objetos de conhecimento e habilidades. O Objeto de conhecimento desta sequência didática, Evolução Estelar, traz como habilidade: “(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 para o nosso planeta” (Brasil, 2017).

Levando em consideração que Ciências faz parte do cotidiano do ser humano desde tempos remotos, o seu ensino ainda hoje se depara com obstáculos, baseados na transmissão e reprodução de conteúdo, reprodução automática de exercícios e uso apenas do livro didático.

Diante disso, este produto educacional apresenta uma proposta de trabalho que trata o aluno como sujeito da aprendizagem, partindo dos seus conhecimentos prévios e apresentando-lhes atividades que permitam seu envolvimento e participação ativa, com o intuito de proporcionar, ao final, uma aprendizagem sobre o tema estudado bem como o gosto pela Ciência.

O produto aqui apresentado foi estruturado segundo o Quadro 1, sendo desenvolvido para aplicação nos Anos Finais do Ensino Fundamental.

Quadro 1 - Apresentação do produto educacional

TÍTULO	Proposta Didática para o Ensino de Evolução Estelar para o 9º Ano a partir dos Três Momentos Pedagógicos
PÚBLICO-ALVO	Alunos do 9º Ano do Ensino Fundamental
OBJETIVO GERAL	Desenvolver, aplicar e avaliar uma Proposta Didática para o Ensino da Evolução Estelar a partir da realidade virtual para o 9º Ano do Ensino Fundamental.
PRÉ-REQUISITOS	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema Solar; • Elementos químicos.
CONTEÚDOS	<ul style="list-style-type: none"> • Nebulosas, nascimento e evolução das estrelas; • Buraco negro; • Composição química do Universo; • O Sol e os processos vitais; • Ciclo de vida do Sol, erupções solares e sua extinção; • Estrelas Cadentes.

Fonte: Autoria própria (2023)

Em seguida, no Quadro 2 são apresentados cinco módulos, num total de 15 aulas de atividades presenciais, estruturando este produto educacional.

Quadro 2 – Estruturação em módulos da proposta didática para ensino de evolução estelar

Módulo 1 Carga horaria: 4 h/a	
Conteúdos: <ul style="list-style-type: none"> • As Nebulosas; • O Nascimento das Estrelas. 	Objetivos de aprendizagem <ul style="list-style-type: none"> • Identificar as características de um conjunto de poeira cósmica para a formação de uma nebulosa; • Classificar os estágios de evolução das estrelas, bem como o processo de fusão nuclear e os processos químicos.
Estrutura das atividades	
<p>Problematização inicial: Apresentar uma imagem de nebulosa. Fazer os questionamentos: Vocês conhecem esse tipo de imagem? O que ela representa? O que é uma estrela? Onde são formadas as estrelas? Como ocorre a formação de uma estrela? O Sol é uma estrela? Qual a diferença entre o Sol e outras estrelas para nós do planeta Terra?</p> <p>Instigar os alunos a responder as questões. Fazer pensar e criar hipóteses. Enquanto pensam e respondem, o professor anota no quadro as respostas. Solicitar que registrem as hipóteses.</p> <p>Organização do conhecimento: Por meio de slides, o professor apresenta o texto “O que são nebulosas”. Em seguida, apresenta um vídeo sobre as nebulosas: “Uma viagem 3D pela Nebulosa de Órion”¹. O professor faz aqui a relação entre o conhecimento que possuíam e o conteúdo científico apresentado. Apresentar um mapa conceitual das etapas de evolução das estrelas e o texto “Ciclo de vida das estrelas”.</p>	

¹ Uma viagem 3D pela Nebulosa de Órion. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=VNDaphwRxyg>. Acesso em: 24 fev. 2023

Aplicação do conhecimento: Propor aos alunos a construção de uma Nebulosa, usando os materiais solicitados anteriormente. Após essas atividades, os alunos receberão uma folha impressa com quadros informativos e, em grupo, deverão recortar e organizar os quadros, enumerando-os de acordo com as etapas de evolução das estrelas.

Módulo 2

Carga horária 3 h/a

Conteúdos:

- Supernovas: colapso das estrelas;
- O Buraco Negro.

Objetivos de aprendizagem

- Identificar os elementos produzidos no interior das estrelas;
- Conhecer como ocorre o fim de uma estrela com a explosão de uma supernova;
- Conhecer como acontece a formação de um Buraco Negro e suas consequências.

Estrutura das atividades

Problematização inicial: Provocar os alunos com as perguntas: O que leva a destruição de uma estrela? De onde vem o poder de um Buraco Negro?

Organização do conhecimento: Ler a frase do astrofísico Carl Sagan “Nós somos poeira das estrelas”. Conduzir os alunos a se perguntarem, “como podemos dizer que somos feitos de matéria estelar?” Inicia-se a discussão. Apresentar o texto “Agora é oficial: somos feitos de estrelas”. A partir do texto, será proposto um momento de discussão. Na sequência, ler a frase “Não existe nada maior, nem mais perigoso que um Buraco Negro”. Iniciar a explanação sobre a origem do buraco negro, quais perigos um Buraco Negro pode representar para o Universo. Organizar a turma em equipes, metade das equipes receberão o texto “O que é um buraco negro” e a outra metade receberão o texto “Tudo o que você precisa saber sobre o Buraco Negro”. Em seguida, será feita a socialização e discussão dos textos, e posteriormente será exibido o vídeo “Entrando em um Buraco Negro”².

Aplicação do conhecimento: Após a leitura e acompanhamento do professor nas dificuldades de compreensão, cada equipe deverá explicar o que estudaram para o outro grupo e vice-versa. Na sequência, cada equipe receberá uma imagem representando o núcleo de uma estrela durante o processo de morte, em camadas, enumeradas de 1 a 7. Os alunos deverão descobrir quais elementos químicos que existem nas estrelas no momento do colapso, segundo a ordem das camadas.

Módulo 3

Carga horária 2 h/a

Conteúdos:

- O Sol e os processos vitais;

Objetivos de aprendizagem

- Explorar a importância do Sol para a vida na Terra;
- Relacionar a importância do Sol para os ciclos biogeoquímicos;

² Entrando em um Buraco Negro. Disponível em:

https://www.youtube.com/watch?v=ZJrd_lu9P0Y. Acesso em: 24 fev. 2023

<ul style="list-style-type: none"> • O Sol e a extinção. 	<ul style="list-style-type: none"> • Relacionar modelos ambientais e o final da catástrofe ocorrida com o asteroide no planeta.
Estrutura das atividades	
<p>Problematização inicial: Propor aos alunos a seguinte pergunta: Qual o impacto para a vida na Terra com o fim do Sol? Discutir com os alunos e anotar no quadro as respostas.</p> <p>Organização do conhecimento: Dividir a turma em equipes com quatro alunos. Cada equipe receberá um texto que trará os conceitos dos fatores bióticos e abióticos que compõem os ciclos biogeoquímicos. Receberão também a imagem de um ciclo biogeoquímico, o qual deverão analisar e discutir. Logo após, será exibido o vídeo “Explorando o espaço”³.</p> <p>Aplicação do conhecimento: Voltar à questão-problema inicial, para que em posse do conhecimento, respondam novamente, produzindo um texto. Fazer uma discussão com objetivo de que todos reflitam sobre a importância de cada ciclo e a responsabilidade de cada um em proteger e cuidar, a fim de que não cause desajuste nos ciclos que fazem a vida funcionar.</p>	
Módulo 4 Carga horária 3h/a	
<p>Conteúdos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Composição química do Universo; • Desmistificando as estrelas cadentes. 	<p>Objetivos de aprendizagem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comparar os elementos químicos presentes nas estrelas com a capacidade de criar átomos dos quais somos todos constituídos; • Explicar como ocorre a formação de estrelas cadentes, bem como sua importância na cultura humana.
Estrutura das atividades	
<p>Problematização inicial: Fazer a pergunta: O que é uma estrela cadente? O que você sabe sobre estrela cadente?</p> <p>Organização do conhecimento: Projetar a frase do químico Antonie Lavoisier “Na natureza, nada se cria, nada se perde, tudo se transforma”. Fazer uma discussão, abordando desde a formação do Universo até a formação de elementos pesados. Em seguida, formar equipes que receberão um dos textos “Quantos átomos formam o corpo humano” e “Estrelas Cadentes”. Cada equipe deverá ler os dois textos, de forma que façam a troca dos mesmos. Em seguida, será exibido o vídeo: “Via Láctea – Space 360”⁴.</p> <p>Aplicação do conhecimento: Após lerem os textos e assistirem ao vídeo, cada membro da equipe deverá responder as perguntas indicadas pelo professor relacionadas aos textos.</p>	
Módulo 5 Carga horária 3 h/a	
<p>Conteúdos:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ciclo de Vida do Sol: efeitos das 	<p>Objetivos de aprendizagem</p> <ul style="list-style-type: none"> • Relacionar o conceito de erupções solares e seus impactos para os seres vivos;

³ Explorando o espaço. Disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=xNeSI58I6tM>. Acesso em 23 fev. 2023.

⁴ Via Láctea – Space 360°. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=w79sB55sNhk>. Acesso em 24 fev. 2023.

⁵ Exploração do Sistema Solar 360° Parte III – O Sol. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=GJm2ifL4gUo&t=325s>. Acesso em 24 fev. 2023.

erupções solares na Terra; <ul style="list-style-type: none"> • Tempestades Cósmicas no espaço. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar os efeitos das erupções solares.
<p style="text-align: center;">Estrutura das atividades</p> <p>Problematização inicial: Perguntar aos alunos: Você já ouviu falar em erupção solar? E tempestades solares? Quais impactos de uma erupção solar no planeta? Instigar os alunos a pensar e levantar hipóteses.</p> <p>Organização do conhecimento: Projetar uma reportagem e imagem do site da Nasa, a respeito de erupção solar. Fazer a leitura e discussão sobre os impactos da erupção solar para os seres vivos na Terra. Apresentar a imagem das partes do Sol, indicando a temperatura do seu interior e superfície, e, em seguida apresentar a imagem de uma explosão solar a nível médio. Fazer uma discussão sobre a imagem e em seguida apresentar o vídeo: “Exploração do Sistema Solar 360° - Space III – O Sol”⁵</p> <p>Aplicação do conhecimento: Para verificação do conhecimento será feito uma avaliação envolvendo o conteúdo de todos os módulos.</p>	

Fonte: Autoria própria (2023)

4 SUPORTE PARA O PROFESSOR

Nesta seção, será apresentado um pouco do que há na literatura e serve como embasamento para o desenvolvimento do trabalho. Serão abordados os principais tópicos utilizados na construção da proposta de ensino, sejam conceitos relacionados a astrofísica ou mesmo aqueles relacionados a teoria de aprendizagem que sustenta a proposta.

4.1 Noções Básicas de Evolução Estelar

Na antiguidade, quando nada se sabia, os astrônomos entendiam as estrelas como fixas. Essa compreensão perdurou até a era do telescópio, no início do século XVII (Capozzoli, 2019).

De acordo com Hetem (2011), numa galáxia podem existir várias regiões de formação de estrelas, conhecidas como berçários das estrelas ou nebulosas, formadas por nuvens de gás e poeira. Essas nuvens são compostas basicamente de hidrogênio. Nessas regiões ocorrem turbulências, a partir das quais surgem aglomerados moleculares, dando a estas regiões a denominação de nebulosa molecular. Esses aglomerados começam a se juntar continuamente por conta da força gravitacional e provoca uma rotação. A partir do momento que começa a rotacionar continuamente, a quantidade de massa vai aumentando, formando uma protoestrela. Esse processo acontece durante centenas de milhares de anos.

No interior da protoestrela, o núcleo vai aumentando, ficando cada vez mais compacto, ou seja, uma densidade cada vez maior. Com isso, a temperatura e pressão se tornam extremamente altas (Muller, Saraiva, Filho, 2010). Segundo os autores, quando a temperatura do núcleo chega a 8 milhões de Kelvin é o momento que iniciam as reações termonucleares. É com essa temperatura que a protoestrela passa a ser uma estrela.

O processo de fusão nuclear mais comum que ocorre no interior das estrelas é a fusão de 4 núcleos de hidrogênio em um núcleo de hélio, juntamente à liberação de outras partículas, uma vez que cada núcleo de hélio possui 2 prótons (Muller, Saraiva, Filho, 2010).

Segundo Hetem (2011), a massa do núcleo de hélio é um pouco menor que a massa dos 4 núcleos de hidrogênios usados na fusão. Essa diferença de massa é

convertida em energia e, como 90% dos átomos da estrela são de hidrogênio, ela tem uma grande quantidade de combustível (energia) para manter o processo de fusão nuclear. Quando a produção de energia nuclear aumenta, gera-se uma pressão no núcleo da estrela e este se expande o máximo possível para sua superfície. No sentido oposto, a força gravitacional tenta comprimir toda massa da estrela para o menor raio possível. E essas duas forças, agindo em sentidos opostos, provocam o equilíbrio hidrostático, permitindo que a estrela fique estável por um longo período. É esse equilíbrio que mantém a vida da estrela, onde permanece a maior parte da sua existência, na região chamada Sequência Principal, no Diagrama HR, que será apresentado mais a frente.

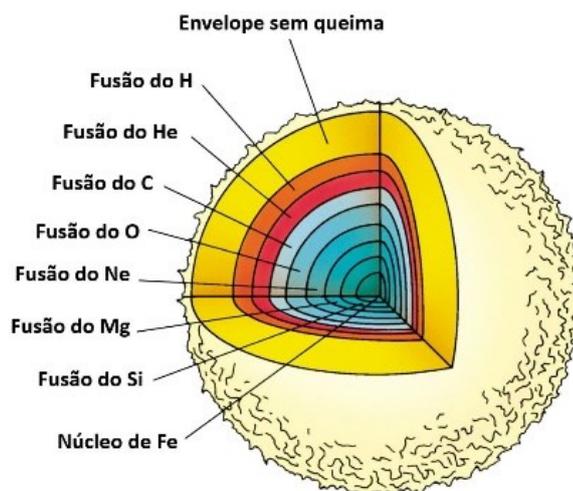
O tempo de vida de uma estrela depende da sua massa. Estrelas com massa menor possuem baixa potência e tempo de vida extremamente longo, já as de massa extremamente grande, possuem alta potência, no entanto, o tempo de vida é curtíssimo, se comparada as de massa maior. A maioria das estrelas possui massa muito baixa e o seu tempo de vida longo, aproximadamente a idade do Universo (Percy, 2021).

Portanto, a estrela morre quando seu combustível acaba, não existe outra fonte de energia senão a fusão nuclear para manter o interior da estrela quente e produzir pressão suficiente em direção ao exterior, com o objetivo de conter a contração gravitacional.

No processo de fusão nuclear, vê-se que a fusão do hidrogênio gera hélio. Caso a estrela tenha massa numa quantidade muito grande, o suficiente para gerar temperaturas muito elevadas, os processos de fusão nuclear continuam, formando elementos cada vez mais pesados. A fusão do hélio produz o carbono, o carbono produz o oxigênio e assim por diante, até formar núcleo de ferro. A partir desse momento, não ocorrem mais reações nucleares (Percy, 2021).

Uma estrela massiva, de praticamente 20 massas solares, apresenta a produção dos seguintes elementos químicos: hidrogênio, hélio, carbono, oxigênio, neônio, magnésio, silício e por último o ferro, conforme mostra a Figura 1.

Figura 1 – Apresentação da estrutura de formação dos diferentes elementos químicos em uma estrela



Fonte: Andrade (2020)

Como já visto, o primeiro processo numa estrela é a fusão de hidrogênio em hélio. Quando acaba todo o hidrogênio do núcleo, altera-se o equilíbrio, mudando a estrutura da estrela, bem como a aparência externa. Ela deixa a fase da Sequência Principal, dando início a fase final de sua vida. As fases finais da evolução estelar podem ser tranquilas ou catastróficas, para isso depende da massa da estrela (Hetem, 2011).

De acordo com a massa, as estrelas podem ser classificadas em: Gigante Vermelhas, Supergigante, Supernova, Anã Branca, Anã Marrom, Estrela de Nêutrons e Buraco Negro.

As estrelas massivas, consomem seu combustível mais rapidamente e são as primeiras que abandonam a Sequência Principal, transformando-se em Gigante Vermelhas. Esse processo demora 100 milhões de anos. São estrelas expandidas, muito grandes e com baixa temperatura superficial, por isso a cor avermelhada. Já queimou todo o hidrogênio do núcleo e agora produz energia, fundindo o elemento hélio em carbono (Hetem, 2011).

Depois da fusão do hélio em carbono, é formado um novo “caroço” estelar, principalmente de carbono, que dezenas de milhões de anos depois ocasiona no aumento da temperatura superficial, aumentando, com isso, também a luminosidade e a estrela passa, a partir de então, para a região das Supergigantes Vermelhas.

O núcleo das Supergigantes Vermelhas tem uma temperatura baixa, insuficiente para transformar, pelo processo de fusão nuclear, o carbono em elementos mais pesados. Com isso, não tem pressão térmica e o núcleo se contrai

devido à força gravitacional. Conseqüentemente a densidade é muito alta, os elétrons ficam tão próximos, até que a contração cessa. O gás de suas camadas é ejetado lentamente e agora esta passa a ser denominada como uma Nebulosa Planetária.

A Nebulosa Planetária continua a se expandir, e com o tempo se torna mais fria e dispersa. O material ejetado, torna o meio interestelar rico em hélio e carbono. O núcleo que resta da nebulosa planetária é composto basicamente de carbono e continua visível, mas com pouco brilho, pois é muito pequeno. Além disso, é muito quente e denso, tendo o tamanho da Terra. Tal astro recebe o nome de Anã Branca (Hetem, 2011).

O átomo de ferro, o último elemento da evolução estelar, é tão denso que não gera energia com a sua fusão, mas sim, consome energia do meio. Com o fim da produção de energia no núcleo da estrela, mesmo estando a altas temperaturas, a pressão não é capaz de contrapor a enorme força gravitacional, causando a implosão da estrela. O núcleo se expande bruscamente devido a compressão que parou, e ondas gigantesca de choque se espalham. Com isso, suas camadas externas se deslocam de forma explosiva, levando elementos químicos para o meio interestelar. Esse estágio é conhecido como explosão de uma Supernova. É o caso da morte das estrelas massivas, que pode destruir totalmente a estrela. Ou ainda, essa explosão pode deixar um objeto denso em seu centro, o qual é composto essencialmente de nêutrons, por isso é chamada de Estrela de Nêutrons. Ou seja, estrela de nêutron é o que restou de uma estrela massiva, com uma densidade incrível, uma pequena porção dessa matéria pesaria milhões de toneladas.

Uma estrela de massa muito alta, ou seja, supermassiva, com massa aproximadamente 25 vezes a massa do Sol, após a explosão da Supernova, continua com seu núcleo em contração. Como o seu raio diminui, devido sua contração, a gravidade aumenta, podendo atingir níveis tão elevados que nem mesmo a luz consegue escapar desse objeto, por isso recebe o nome de Buraco Negro.

Conforme Percy (2021) coloca, as estrelas muito massivas são muito raras, possuem potência até 10 milhões de vezes a do Sol, e vida muito curta. Os buracos negros não emitem radiação, mas se tiverem uma estrela normal, companheira, obriga-a a mover-se em órbita, e uma pequena quantidade de gás pode ser atraída para o buraco negro.

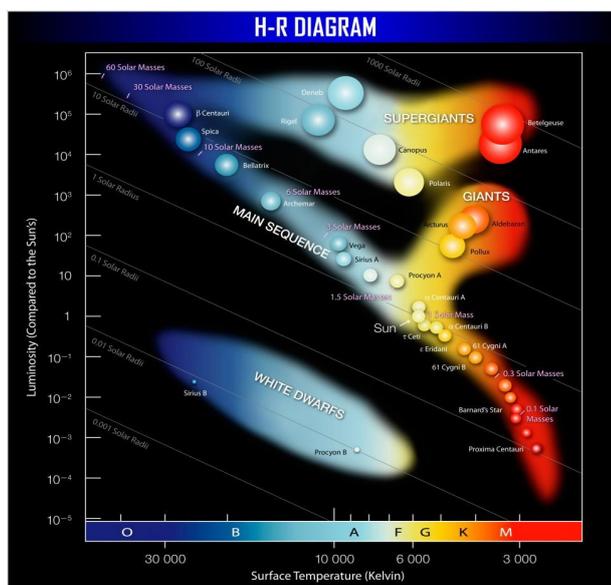
4.1.1 Diagrama H-R

As estrelas são agrupadas num diagrama denominado diagrama Hertzsprung-Russell. Esse diagrama recebeu essa denominação em homenagem aos dois astrônomos, o dinamarquês Ejnar Hertzsprung e o norte-americano Henry Norris Russell.

Em 1905, esses astrônomos, ambos de forma independente, analisando o espectro das estrelas, concluíram que a temperatura e o brilho das estrelas estavam relacionados ao seu tamanho. Hertzsprung descobriu que a largura das linhas espectrais estava relacionada com o brilho inerente das estrelas. Verificou que estrelas de temperaturas superficiais semelhantes (de mesma classe espectral), apresentavam espectros semelhantes, e que aquelas que apresentavam linhas estreitas eram mais brilhantes que as estrelas com linhas largas.

No diagrama H-R, convencionou-se colocar no eixo das ordenadas (eixo y) a luminosidade (magnitude absoluta) e a temperatura (sequência de tipos espectrais) no eixo das abcissas (eixo x). A escala de temperatura, nesse caso, é invertida, ou seja, as temperaturas maiores ficam à esquerda e as menores ficam à direita do gráfico. As estrelas não se encontram espalhadas no diagrama, mas aglomeradas em determinadas faixas. A maioria das estrelas estão localizadas em uma faixa central, formando uma faixa diagonal, que vai do lado superior esquerdo ao lado inferior direito da base, chamada de Sequência Principal. De acordo com o que elas evoluem, mudam de posição no diagrama HR, como pode ser visto na figura 2.

Figura 2 - Diagrama H-R para classificação de astros



Fonte: Fantuzzi (2024)

As estrelas de alta luminosidade são chamadas Supergigantes e localizam-se na parte superior da Sequência Principal. Já as estrelas mais luminosas e de baixa temperatura são denominadas Gigantes Vermelhas e localizam-se no lado direito, acima da Sequência Principal. As estrelas relativamente quentes, mas com baixa luminosidade são conhecidas como Anãs Brancas, e localizam-se na parte inferior esquerda. Estrelas que fazem parte da Sequência Principal, são chamadas de Anãs ou simplesmente de Estrelas “Normais”, por serem mais comuns (Oliveira e Saraiva, 2014).

O diagrama HR é um importante instrumento para o estudo da evolução estelar. As estrelas iniciam sua formação e evolução na Sequência Principal, passam por transformações, tornam-se Gigantes ou Supergigantes e se extinguem, transformando-se em Anãs-Brancas ou, em casos mais raros, de forma explosiva em Estrelas de Nêutrons e Buracos Negros, que não constam no diagrama.

4.1.2 O Sol

O Sol é um astro do Sistema Solar, é a principal fonte de energia para a Terra, sem o qual, não existiria vida no planeta. A energia proveniente do Sol é indispensável para o funcionamento da biosfera, para a manutenção da água nos três estados físicos, assim como a dinâmica dos ciclos biogeoquímicos.

Assim como outras estrelas, o Sol se mantém pela ação da gravidade e pela energia proveniente das reações nucleares que ocorrem no núcleo. Ele tem a idade do Sistema Solar (4,6 bilhões de anos), sendo uma estrela de meia idade, ainda restando aproximadamente 5 milhões de anos até o fim de seu ciclo. Conforme vai envelhecendo, ele vai se expandindo e, num futuro distante, trará consequências drásticas para todos os planetas próximos.

Daqui a 5 milhões de anos ele se transformará em gigante vermelha e depois em anã branca. O hidrogênio vai ser todo consumido e isso causará mudanças radicais, e como consequência, destruições radicais, até a destruição total da Terra. Uma das formas de detectar a atividade do Sol, principalmente a atividade magnética, é através das explosões solares, que dissipam matéria do Sol para todo o Sistema Solar (Stavinschi; Garcia; Sosa, 2021).

A erupção solar é conhecida como uma explosão gigante que ocorre na superfície do Sol, causada devido ao entrelaçamento das linhas de campo magnético das manchas solares. Essas explosões liberam energia até 10^{25} joules, equivalendo a dez milhões de erupções vulcânicas na Terra. São lançadas no espaço enormes quantidades de energia, incluindo partículas (prótons, elétrons e núcleo atômico), juntamente a radiação eletromagnética. Essa radiação viaja na velocidade da luz, $3,0 \cdot 10^8$ m/s, demorando apenas 8 minutos para chegar até a Terra (Silva, 2006).

As consequências dessa radiação eletromagnética e partículas quando chegam à Terra são mudanças no clima espacial e interferências nos meios de comunicação do nosso planeta.

4.1.3 Estrelas cadentes

As conhecidas estrelas cadentes são corpos celestes que entram na atmosfera terrestre. Devido ao atrito com a atmosfera, incendeiam e formam um rastro de luz, fácil de se observar durante a noite (Silva, 2006).

Portanto, estrelas cadentes não são estrelas, mas sim corpos celestes que podem ser restos ou fragmentos de cometas ou asteroides. Entram na atmosfera com uma velocidade de 250 000 km/h. Geralmente esses corpos são decompostos em partes menores antes de chegarem à superfície.

4.2 Uma introdução aos Três Momentos Pedagógicos

O presente trabalho está alicerçado na teoria de aprendizagem do Três Momentos Pedagógicos (TMP). Essa teoria foi proposta por Delizoicov e Angotti (1994) e também investigada por Delizoicov, Angotti e Pernambuco (2018), durante a formação de professores na região de Guiné-Bissau. Essa proposta surgiu da transposição didática da concepção de Freire (1987), que prioriza uma educação dialógica, na qual o professor deve ser mediador entre o conteúdo científico que o aluno estuda e a realidade do seu cotidiano.

De acordo com Moreira (2014), a educação dialógica requer:

Apropriação da significação dos conteúdos, a busca de relações entre os conteúdos e entre eles e aspectos históricos, sociais e culturais do conhecimento. Requer também que o educando se assuma como sujeito do ato de estudar e adote uma postura crítica e sistemática (Moreira, 2014, p. 4).

Portanto, ensinar não é transferir conhecimento, mas criar condições para que o aluno construa seu próprio conhecimento.

A abordagem dos Três Momentos Pedagógicos vem justamente ao encontro desta perspectiva, com o objetivo de facilitar o crescimento do conhecimento do aluno.

Nesse sentido, os TMP são caracterizados por Delizoicov e Angotti (1994) em três etapas: Problematização Inicial, Organização do Conhecimento e Aplicação do Conhecimento.

Problematização Inicial: Nessa etapa, apresentam-se questões ou uma situação problema para discussão com os alunos, com o objetivo de relacionar o conteúdo com situações reais que eles conhecem, mas ainda não conseguem interpretar pela falta de conhecimento científico. É o momento que estimula a curiosidade ingênua e busca a curiosidade crítica, ou seja, estimula a curiosidade, o querer conhecer. É o momento de trazer o aluno para a aprendizagem, abrindo espaço para que ele se sinta sujeito do processo, satisfazendo a educação crítico-dialógica transformadora.

Organização do Conhecimento: Nesse momento, o conhecimento em Ciências e Física necessário para a compreensão do tema e da problematização

inicial será sistematizado e explorado. Serão trabalhadas definições, conceitos e relações, através do livro, textos, slides, vídeos e discussões.

O conteúdo será preparado de forma que o aluno perceba a existência de outras visões e explicações para as situações problematizadoras, de forma que possa comparar esse conhecimento com o seu, para que possa usá-lo e, assim, o auxilie a interpretar melhor as situações colocadas inicialmente.

Para isso, serão utilizadas exposições dialogadas, estudos em grupo, leituras de texto, registros sistemáticos de observações e conclusões.

Aplicação do Conhecimento: Nesse terceiro e último momento, os autores Delizoicov e Angotti (1994) afirmam que:

Destina-se, sobretudo, a abordar sistematicamente o conhecimento que vem sendo incorporado pelos alunos, para analisar e interpretar tanto as situações iniciais que determinam seu estudo, como outras situações que não estejam diretamente ligadas ao motivo inicial, mas que são explicadas pelo mesmo conhecimento (Delizoicov; Angotti, 1994, p. 35).

Desse modo, é importante garantir que o aluno perceba que o conhecimento é uma construção historicamente determinado, que a partir da problematização inicial, as primeiras conjecturas feitas por eles evoluíram para um conhecimento científico construído e internalizado. Isso é aprendizagem através da construção do conhecimento.

E para isso, serão utilizados exercícios, resumo e produção de texto, onde é possível verificar se houve a construção e posterior aplicação do conhecimento. De forma que, o aluno deverá usar e se posicionar como sujeito crítico, diante das situações colocadas.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta didática deste trabalho teve como objetivo principal desenvolver, aplicar e avaliar uma proposta de ensino para o tema evolução estelar para o 9º Ano a partir dos Três Momentos Pedagógicos. A proposta foi planejada atendendo às habilidades esperadas para o objeto de conhecimento evolução estelar, conforme a Base Nacional Comum (BNCC). A habilidade contempla analisar o ciclo evolutivo do Sol baseado nas etapas de evolução estelar. Para isso, foram utilizados os recursos didáticos: textos, vídeos, produção de textos, atividade prática e exercícios, com o intuito de despertar o interesse dos alunos e envolvê-los no processo de aprendizagem por meio da construção do conhecimento.

Considera-se que a proposta de ensino aqui apresentada possa promover a construção de novos conhecimentos a partir dos conhecimentos prévios dos alunos, considerando o professor como facilitador da aprendizagem, proporcionando o diálogo, o levantamento de hipóteses e a socialização do conhecimento construído. Considera-se também que esta proposta seja um instrumento para auxiliar nas aulas de ciências, nos conteúdos relacionados à astronomia, tornando as aulas mais interessantes e dinâmicas.

A implementação deste produto apresentou um resultado muito positivo, tanto no desempenho nas atividades e avaliação, como também na participação nas atividades propostas.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, D. Evolução das estrelas e a formação dos elementos químicos. **Meteoricas**. 2020. Disponível em: <https://www.meteoritos.com.br/evolucao-das-estrelas-e-a-formacao-dos-elementos-quimicos/>. Acesso em: 20 fev. 2023
- BRASIL, Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular (BNCC)**. [Brasília]: [MEC], 2017. Disponível em: http://portal.mec.gov.br/index.php?option=com_docman&view=download&alias=79611-anexo-texto-bncc-aprovado-em-15-12-17-pdf&category_slug=dezembro-2017-pdf&Itemid=30192. Acesso em: 23 jan. 2023.
- CAPOZZOLI, U. **A origem e o fim do tempo**: interpretações da física e da filosofia (Coleção Ciência no Cotidiano), 1. ed. São Paulo :Edições SESC SP, 2019.
- CANIATO, R. **O Céu**. São Paulo: Editora Átomo, 2011.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. **Metodologia do ensino de ciências**. São Paulo: Editora Cortez, 1994.
- DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A.; PERNAMBUCO, M. M. **Ensino de ciências**: fundamentos e métodos. São Paulo: Editora Cortez, 2018.
- DIAS, D. L. Modelo atômico de Rutherford. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/quimica/o-atomo-rutherford.htm>. Acesso em: 10 fev. 2023.
- FANTUZZI, F. Diagrama HR e Evolução Estelar. Infoescola. Disponível em: <https://www.infoescola.com/astronomia/diagrama-hr-e-evolucao-estelar/>. Acesso em: 17 fev. 2024.
- FREIRE, P. **Pedagogia do oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Editora Paz e Terra, 1987.
- GASPAR, A. **Compreendendo a física**: eletromagnetismo e física moderna. v. 3, 2. ed. São Paulo: Editora Ática, 2013.
- HELERBROCK, R. Dispersão da luz branca. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/a-dispersao-luz-branca.htm>. Acesso em: 13 fev. 2023.
- HETEM, J. C. G. Estrelas. In. PICAZZIO, E. **O céu que nos envolve**: introdução a astronomia para educadores e iniciantes. São Paulo: Editora Odysseus, 2011. Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~damineli/aga105/livroprof.pdf>. Acesso em: 8 jan. 2023.
- JÚNIOR, J. S. S. Estrelas cadentes. **Mundo Educação**. Disponível em: <https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/estrelas-cadentes.htm>. Acesso em: 12 jan. 2023a.

JÚNIOR, J. S. S. O que é espectro eletromagnético. **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-espectro-eletromagnetico.htm>. Acesso em: 13 fev. 2023b.

LEONARDO, A. J. Os espectros com códigos de barras dos elementos. **Segredos Luz Matéria**. Disponível em: <https://sites.google.com/site/segredosluzmatéria/home/os-espetros-com-codigos-de-barras-dos-elementos>. Acesso em: 6 jan. 2023.

MOREIRA, M. A. **Grandes desafios para o ensino da física na educação Contemporânea**. Rio de Janeiro: Ciclo de palestras dos 50 Anos do Instituto de Física da UFRJ. 2014. Disponível em: http://www.if.ufrj.br/~pef/aulas_seminarios/seminarios/2014_Moreira_DesafiosEnsinoFisica.pdf. Acesso em: 17 jan. 2023.

MULLER, A. M.; SARAIVA, M. F. O.; FILHO, K. S. O. **Formação e evolução estelar**. Área 2, Aula 10. Disponível em: https://lief.if.ufrgs.br/pub/cref/n29_Muller/aula2/aula2j.pdf. Acesso em: 22 fev. 2023.

NAPOLEÃO, T. Guia de estudos “Astrofísica estelar para o ensino médio” Muito além do Sistema Solar. In: NAPOLEÃO, T. A. J. **Astrofísica estelar para o ensino médio**: uma abordagem empírica baseada na observação visual das estrelas variáveis. 2018. Dissertação (Mestrado Profissional em Ensino de Astronomia). Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, K. S. ; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia & astrofísica** 2. ed. Porto Alegre: Livraria da Física, 2014.

PERCY, J. Evolução das estrelas. **Publicação da NASE**. Disponível em: http://sac.csic.es/astrosecundaria/pt/cursos/formato/materiales/conferencias/C1_pt.pdf. Acesso em: 22 de fev. 2023.

ROSA, J. Ondas eletromagnéticas; **Educa Mais Brasil**. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/ondas-eletromagneticas>. Acesso em: 10 fev. 2023.

SAMPAIO, J. L.; CALÇADA, C. S. **Universo da física**. 2. ed. São Paulo: Editora Atual, 2005.

SILVA, A. V. R. **Nossa estrela**: o Sol. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

STAVINSCHI, M.; GARCIA, B.; SOSA, A. Sistema solar e exoplanetas. **Publicação NASE**. 2021. Disponível em: http://sac.csic.es/astrosecundaria/pt/cursos/formato/materiales/conferencias/C4_pt.pdf. Acesso em: 23 fev. 2023.

ANEXO 1 – O QUE SÃO NEBULOSAS

O que são nebulosas?

O que são nebulosas? Trata-se de nuvens cósmicas formadas por poeira espacial, plasma e hidrogênio. Elas podem ser de emissão, reflexão, escuras ou planetárias.

"Nebulosas são nuvens formadas por poeira cósmica, hidrogênio e gases ionizados a partir de restos de estrelas que se desagregaram. Ao serem observadas, as nebulosas apresentam formatos irregulares semelhantes aos das nuvens, o que foi determinante para a escolha do nome desses corpos celestes, pois a palavra nebulosa provém de um termo em latim que significa *nuvem*.

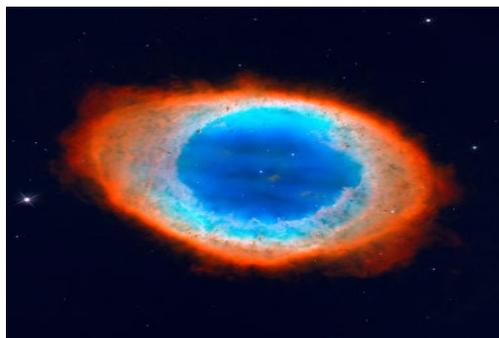
A poeira cósmica que compõe esses corpos celestes pode aglutinar-se pela ação gravitacional. Assim, a união dos materiais que formam a nebulosa pode dar origem à formação de uma estrela. Por esse motivo, as nebulosas são chamadas de berços de estrelas.

O primeiro registro da observação de uma nuvem interestelar foi feito por Cláudio Ptolomeu por volta do ano de 150 d.C. Ptolomeu registrou em dois livros de sua coleção Almagesto a presença de cinco estrelas que apresentavam uma forma indefinida, como se fossem nuvens."

Tipos de nebulosas

1. Nebulosas de emissão

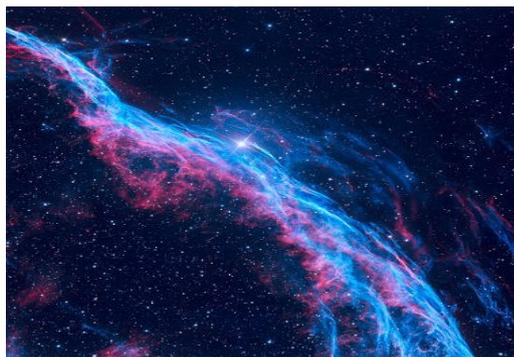
Nebulosas de emissão são nuvens gasosas de altíssima temperatura iluminadas por luz ultravioleta proveniente de uma estrela próxima. Quando os átomos que compõem a poeira cósmica decaem para estados de energia menos excitados, ocorre a liberação de luz visível. Geralmente, esse tipo de nebulosa apresenta cor vermelha, isso por causa do hidrogênio, material em maior abundância no universo.



A imagem acima é da Nebulosa do Anel, também conhecida como Messier 57. Essa é uma nebulosa de emissão que fica a 2.300 anos-luz da Terra.

2. Nebulosas de reflexão

Nebulosas que apenas refletem a luz de uma estrela próxima são classificadas como refletoras. Como a luz de frequências próximas ao azul é mais facilmente espalhada, essas nebulosas geralmente se apresentam em tons azuis.



A imagem acima é da Cabeça de Bruxa, nebulosa de reflexão que está a 900 anos-luz da Terra.

3. Nebulosas escuras

As nebulosas escuras praticamente impedem a passagem da luz e são observadas mediante o contraste adquirido em relação aos demais objetos celestes que as rodeiam. Esse tipo de nebulosa geralmente está associado a regiões de formação de estrelas."



"A imagem acima é da Nebulosa Cabeça de Cavalo. Pertencente à constelação de Orion, essa nebulosa escura está a 1500 anos-luz da Terra."

4. Nebulosas planetárias

Ao serem observadas pela primeira vez, algumas nebulosas foram confundidas com planetas. Posteriormente, observou-se que esses objetos eram nuvens cósmicas que emitiam energia a partir da explosão de uma estrela central. As nebulosas planetárias representam o estágio final da vida de uma estrela.



A imagem acima é da Nebulosa de Hélix. Também chamada de Nebulosa da Hélice, ela é do tipo planetária e está a aproximadamente 695 anos-luz da Terra.

JúNIOR, Joab Silas da Silva. "O que são nebulosas?"; Brasil Escola. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-sao-nebulosas.htm>. Acesso em 19 de maio de 2023.

ANEXO 2 – CICLO DE VIDA DAS ESTRELAS

CICLO DE VIDA DAS ESTRELAS

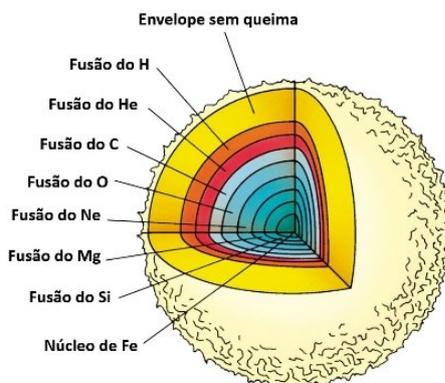
O ciclo de vida das estrelas inicia-se com a junção de gases nas nebulosas e perdura enquanto houver combustível a ser consumido no processo de fusão nuclear.



As estrelas são astros celestes encantadores que, desde a Antiguidade, despertam a curiosidade das pessoas. Mas o que muitos não sabem é que, assim como nós, elas nascem, crescem e morrem.

O nascimento de uma estrela ocorre nas nebulosas, que são imensas nuvens de gás compostas por Hélio e Hidrogênio. Em virtude da força gravitacional, as moléculas vão sendo atraídas umas pelas outras, ficando bem próximas, o que faz com que a nebulosa tenha uma redução de tamanho, ou seja, contraia-se. A contração dos gases causa aumento na temperatura, que aumenta mais e mais. Quando a temperatura é alta o suficiente, essa enorme bola de gás começa a emitir luz e o hidrogênio começa a queimar. Esse processo é chamado de fusão nuclear e libera muita energia. Essa sequência de fenômenos caracteriza o início da vida de uma estrela.

Durante a fusão nuclear, os átomos de hidrogênio fundem-se, dando origem ao Hélio. A queima do Hélio dá origem ao Carbono e assim por diante, cada vez originando elementos mais pesados.



Fonte: Andrade

Conforme o combustível é consumido, a temperatura vai aumentando e a estrela sofre uma expansão. Nessa fase, ela é chamada de Gigante vermelha. Após esse estágio, a força gravitacional passa a prevalecer e a estrela começa a encolher. No interior das estrelas, a temperatura é muito alta. O núcleo do Sol, por exemplo, chega a 15 milhões de graus Celsius.

O tempo que uma estrela viverá dependerá da sua massa. Quanto maior a massa, mais calor e luz ela liberará. Sua morte acontece quando já tiver queimado todo o combustível. Como essa queima origina elementos mais pesados, ela termina apenas quando passa a produzir ferro, que é um processo que consome energia. A partir de então, ela esfria e diminui drasticamente de tamanho, transformando-se completamente em ferro.

Com essa contração, as partículas que estavam na superfície da estrela vão a altíssimas velocidades em direção ao centro, quando se chocam com o núcleo e são ejetadas para o espaço, originando elementos mais pesados que o ferro. Os gases que são liberados no espaço dão origem a uma nova nebulosa, de onde podem surgir novas estrelas.

Se a massa da estrela for considerada pequena, cerca de um terço do Sol, ela virará uma estrela de nêutrons. Já se a massa for maior, ela se transformará em um buraco negro.

Publicado por [Mariane Mendes Teixeira](#)

<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/ciclo-vida-das-estrelas.htm>

ANEXO 3 – O QUE É UM BURACO NEGRO

O que é um buraco negro?

Um buraco negro é um lugar no espaço onde a gravidade puxa tanto que nem mesmo a luz consegue sair. A gravidade é tão forte porque a matéria foi espremida em um espaço minúsculo. Isso pode acontecer quando uma estrela está morrendo.

Como nenhuma luz pode sair, as pessoas não conseguem ver os buracos negros. Eles são invisíveis. Telescópios espaciais com ferramentas especiais podem ajudar a encontrar buracos negros. As ferramentas especiais podem ver como as estrelas muito próximas dos buracos negros agem de maneira diferente das outras estrelas.

Quão grandes são os buracos negros?

Os buracos negros podem ser grandes ou pequenos. Os cientistas acham que os menores buracos negros são tão pequenos quanto apenas um átomo. Esses buracos negros são muito pequenos, mas têm a massa de uma grande montanha. Massa é a quantidade de matéria, ou "material", em um objeto.

Outro tipo de buraco negro é chamado de "estelar". Sua massa pode ser até 20 vezes maior que a massa do sol. Pode haver muitos, muitos buracos negros de massa estelar na galáxia da Terra. A galáxia da Terra é chamada de Via Láctea.

Os maiores buracos negros são chamados de "supermassivos". Esses buracos negros têm massas de mais de 1 milhão de sóis juntos. Os cientistas encontraram provas de que toda grande galáxia contém um buraco negro supermassivo em seu centro. O buraco negro supermassivo no centro da Via Láctea chama-se Sagitário A. Tem uma massa igual a cerca de 4 milhões de sóis e caberia dentro de uma bola muito grande que poderia conter alguns milhões de Terras.

Como se formam os buracos negros?

Os cientistas acham que os menores buracos negros se formaram quando o universo começou.

Os buracos negros estelares são formados quando o centro de uma estrela muito grande cai sobre si mesma ou colapsa. Quando isso acontece, causa uma supernova. Uma supernova é uma explosão estelar que lança parte da estrela para o espaço.

Os cientistas acham que os buracos negros supermassivos foram criados ao mesmo tempo que a galáxia em que estão.

Se os buracos negros são "negros", como os cientistas sabem que eles existem?

Um buraco negro não pode ser visto porque a forte gravidade puxa toda a luz para o meio do buraco negro. Mas os cientistas podem ver como a forte gravidade afeta as estrelas e o gás ao redor do buraco negro. Os cientistas podem estudar estrelas para descobrir se estão voando ou orbitando um buraco negro.

Quando um buraco negro e uma estrela estão próximos, uma luz de alta energia é produzida. Este tipo de luz não pode ser visto com olhos humanos. Os cientistas usam

satélites e telescópios no espaço para ver a luz de alta energia.

Poderia um buraco negro destruir a Terra?

Os buracos negros não andam pelo espaço comendo estrelas, luas e planetas. A Terra não cairá em um buraco negro porque nenhum buraco negro está perto o suficiente do sistema solar para que a Terra faça isso.

Mesmo que um buraco negro com a mesma massa do sol tomasse o lugar do sol, a Terra ainda não cairia. O buraco negro teria a mesma gravidade do sol. A Terra e os outros planetas orbitariam o buraco negro como orbitam o sol agora.

O sol nunca se transformará em um buraco negro. O sol não é uma estrela grande o suficiente para fazer um buraco negro.

Como a NASA está estudando os buracos negros?

A NASA está usando satélites e telescópios que viajam no espaço para aprender mais sobre os buracos negros. Essas espaçonaves ajudam os cientistas a responder perguntas sobre o universo.

Heather R. Smith/Serviços de Tecnologia Educacional da NASA

ANEXO 4 – BURACOS NEGROS: TUDO O QUE VOCÊ PRECISA SABER

Buracos negros: tudo o que você precisa saber

Os buracos negros são alguns dos objetos mais estranhos e fascinantes do espaço. Eles são extremamente densos, com uma atração gravitacional tão forte que nem mesmo a luz pode escapar de suas garras.

A Via Láctea pode conter mais de 100 milhões de buracos negros, embora detectar essas bestas gulosas seja muito difícil. No coração da Via Láctea encontra-se um buraco negro supermassivo – Sagitário A*. A estrutura colossal tem cerca de 4 milhões de vezes a massa do sol e fica a aproximadamente 26.000 anos-luz da Terra, de acordo com um comunicado da NASA.

A primeira imagem de um buraco negro foi capturada em 2019 pela colaboração do Event Horizon Telescope (EHT). A impressionante foto do buraco negro no centro da galáxia M87, a 55 milhões de anos-luz da Terra, emocionou cientistas de todo o mundo.

Como se formam os buracos negros?

Espera-se que os buracos negros se formem por meio de dois canais distintos. De acordo com o primeiro caminho, eles são cadáveres estelares, então eles se formam quando estrelas massivas morrem. Estrelas cujas massas de nascimento estão acima de aproximadamente 8 a 10 vezes a massa do nosso sol, quando esgotam todo o seu combustível – seu hidrogênio – elas explodem e morrem deixando para trás um objeto denso muito compacto, um Buraco negro. O buraco negro resultante que é deixado para trás é referido como um buraco negro de massa estelar e sua massa é da ordem de algumas vezes a massa do sol.

Nem todas as estrelas deixam para trás buracos negros, estrelas com massa de nascimento menor deixam para trás uma estrela de nêutrons ou uma anã branca. Outra maneira pela qual os buracos negros se formam é a partir do colapso direto do gás, um processo que deve resultar em buracos negros mais massivos com uma massa variando de 1.000 vezes a massa do sol até 100.000 vezes a massa do sol. Este canal contorna a formação da estrela tradicional e acredita-se que opere no início do universo e produza sementes de buracos negros mais massivas.

Quem descobriu os buracos negros?

Os buracos negros foram previstos como uma solução matemática exata para as equações de Einstein. As equações de Einstein descrevem a forma do espaço ao redor da matéria. A teoria da relatividade geral conecta a geometria ou a forma da forma à distribuição detalhada da matéria.

A solução do buraco negro foi encontrada por Karl Schwarzschild em 1915, e essas regiões - buracos negros - distorcem o espaço extremamente e geram uma perfuração no tecido do espaço-tempo. Não estava claro na época se eles correspondiam a objetos reais no universo. Com o tempo, à medida que outros produtos finais da morte estelar foram detectados, ou seja, estrelas de nêutrons vistas como pulsares, ficou claro que os buracos negros eram reais e deveriam existir. O primeiro buraco negro detectado foi Cygnus-X1.

Priyamvada Natarajan

Astrofísico teórico

Presidente do Departamento de Astronomia, Joseph S. e Sophia S. FRUTON
Professor de Astronomia e Professor de Física, Yale University.

ANEXO 5- CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Ciclos biogeoquímicos

Os ciclos biogeoquímicos consistem no caminho percorrido pelos elementos químicos na natureza, passando pelos elementos bióticos e abióticos de forma cíclica. Em outras palavras, esses ciclos são responsáveis por promover a integração entre os seres vivos e destes com o ambiente através da ciclagem da matéria. Quando um organismo morre ou perde parte de seu corpo — como folhas que caem de uma árvore, por exemplo — organismos decompositores degradam a matéria orgânica liberando seus átomos novamente no ambiente. A partir daí, esses átomos podem passar por camadas do planeta, como litosfera, atmosfera e hidrosfera, até serem novamente incorporados por outros seres vivos, que compõem a camada conhecida como biosfera. Os ciclos biogeoquímicos são verdadeiros processos de reciclagem de átomos, que se iniciam com organismos decompositores, os quais incluem bactérias e alguns fungos. Eles se nutrem de cadáveres, partes mortas, além de dejetos dos mais variados seres vivos, e ao fazer isso, transformam moléculas orgânicas em substâncias mais simples. Assim, a matéria orgânica vira matéria prima para a produção de outras substâncias orgânicas. Os seres produtores como algas, plantas e bactérias fotossintetizantes produzem substâncias orgânicas a partir de elementos absorvidos do ambiente ao seu redor. Quando os consumidores primários se alimentam dos organismos produtores, utilizam os átomos provenientes da quebra da matéria orgânica consumida para a produção de suas próprias moléculas orgânicas. O mesmo ocorre quando consumidores secundários se alimentam de consumidores primários. Esse fluxo segue passando pelos diferentes níveis tróficos até o final da cadeia alimentar. Quando qualquer organismo dessa cadeia morre, independente do seu nível trófico, o ciclo se fecha. Dentre os ciclos biogeoquímicos podemos citar os ciclos da água, do carbono, do nitrogênio, do oxigênio, do fósforo, do cálcio, do mercúrio, do enxofre, dentre outros. Os ciclos biogeoquímicos ainda podem ser classificados em dois tipos: gasosos ou sedimentares. O ciclo gasoso é aquele em que a atmosfera constitui o reservatório principal do elemento. Com isso, esse elemento entra e sai da biosfera em sua forma gasosa. Os ciclos do oxigênio e do nitrogênio são exemplos de ciclos biogeoquímicos gasosos. Já no ciclo sedimentar, o principal reservatório do elemento é a crosta terrestre, sendo o ciclo da água e do fósforo exemplos desse tipo de ciclo. A velocidade e a quantidade de etapas de um ciclo biogeoquímico são afetadas tanto por suas características bióticas quanto abióticas. Do ponto de vista biótico, o ciclo depende das taxas de natalidade, crescimento e mortalidade das espécies que compõem a cadeia alimentar. Além disso, a quantidade de organismos decompositores e a velocidade que realizam a decomposição também influenciam o ritmo do ciclo. Do ponto de vista abiótico, a velocidade do ciclo depende de fatores físico-químicos como temperatura, índice de pluviosidade, pH e salinidade da água e do solo. Além disso, a própria natureza do elemento que compõe o ciclo influencia sua passagem pelos diferentes níveis, dependendo de fatores como densidade, solubilidade, temperatura de fusão e ebulição, dentre outros. Geralmente ciclos biogeoquímicos gasosos ocorrem mais rapidamente que ciclos sedimentares.

Por Priscila Soares do Nascimento

Mestre em Ciências Biológicas (UFRJ, 2016)

Graduada em Biologia (UFRJ, 2013)

ANEXO 6 – QUANTOS ÁTOMOS FORMAM O CORPO HUMANO

Quantos átomos formam o corpo humano?

O corpo humano é formado por 7 octilhões de átomos e possui aproximadamente 10 trilhões de células; Se você nunca ouviu falar no termo octilhões, preste atenção neste número: 7.000.000.000.000.000.000.000.000.000 (são 27 zeros à direita).

A gigantesca sequência é pronunciada como 7 octilhões e corresponde à quantidade de átomos que formam o corpo humano. Essa é apenas uma das incríveis curiosidades a respeito do que compõe a nossa matéria.

No corpo humano, os átomos mais abundantes, que constituem a maioria das moléculas biológicas (proteínas, carboidratos, lipídeos e ácidos nucleicos), são o carbono, o oxigênio, o nitrogênio, o hidrogênio e o fósforo. Eles podem se combinar facilmente, formando uma grande variedade de compostos e compartilhando os elétrons da última camada de valência.

Além disso, são os elementos químicos que apresentam massas atômicas menores quando comparados com a grande maioria dos demais. Basta ver na tabela periódica que eles se encontram nas primeiras fileiras, indica o doutor em Ciências Biológicas Pietro Ciancaglini, professor titular do Departamento de Química da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras de Ribeirão Preto da Universidade de São Paulo (FFCLRP-USP).

Átomos veteranos

Você é uma estrela. Pelo menos, parte de uma, já que os átomos do corpo humano se originaram de corpos celestes bilhões de anos atrás. O veterano, o hidrogênio, foi forjado no Big Bang (há 14 bilhões de anos). Já átomos mais pesados, como carbono e oxigênio, são 2 bilhões de anos mais jovens. Conforme Ciancaglini, eles são muito estáveis e, quando combinados com outros átomos, formam compostos ainda mais sólidos. “No corpo, os elementos químicos são renovados pela constante troca de células velhas por células novas”, explica. “Por exemplo, o glóbulo vermelho tem uma vida média de 120 dias”, cita o professor.

https://www.terra.com.br/noticias/educacao/voce-sabia/quantos-atomos-formam-o-corpo-humano,f16ef5e9bc08f310VgnVCM5000009ccceb0aRCRD.html?utm_source=clipboard

ANEXO 7- ESTRELAS CADENTES

Estrelas cadentes

As populares **estrelas cadentes** são, na verdade, corpos celestes que entram na atmosfera terrestre. Em virtude do atrito com a atmosfera, esses elementos entram em combustão e formam um rastro de luz que pode ser observado à noite. Portanto, as **estrelas cadentes não são estrelas que caíram do céu**, mas objetos que podem ser restos de cometas ou fragmentos de asteroides.

As “estrelas cadentes” entram em nossa atmosfera com uma velocidade de aproximadamente 250.000 km/h. A maioria delas é totalmente desintegrada antes de chegarem ao chão. Geralmente são completamente destruídas em altitudes entre 90 km e 130 km da superfície terrestre.

Nomenclatura dos corpo celestes

Os corpos celestes, quando estão vagando pelo espaço, são chamados de **meteoroides**. Ao entrarem na atmosfera terrestre, passam a ser chamados de **meteoros**. Caso o meteoro não se desintegre totalmente e consiga atingir a superfície terrestre, ele será chamado de **meteorito**.

Quando um meteorito atinge a superfície terrestre, ele pode causar inúmeros danos, como a abertura de imensas crateras, destruição de prédios e até mesmo mortes. Como exemplo, podemos citar o meteorito que caiu em 2013, em Tcheliabinsk, na Rússia. Nessa ocasião, prédios tiveram suas estruturas atingidas e 100 pessoas procuraram atendimento médico.

Chuva de meteoros

Sabendo que o movimento da Terra é bem definido e conhecendo as órbitas de alguns cometas, é possível prever a ocorrência da passagem de inúmeros meteoros pelo céu. Essa passagem intensa de corpos celestes é denominada de chuva de meteoros.

As chuvas de meteoros que ocorrem durante o ano recebem nomes que derivam das constelações do zodíaco. Essa nomenclatura é dada pelo fato de a chuva ocorrer justamente na região do céu onde determinada constelação é observada e por ter origem na constelação.

Publicado por **Joab Silas da Silva Júnior**

<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/estrelas-cadentes.htm>