

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

ANDRÉIA ÁGUEDA MAGRON

**ESTUDO DE UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE ASTROFÍSICA A
PARTIR DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

CAMPO MOURÃO

2021

ANDRÉIA ÁGUEDA MAGRON

**ESTUDO DE UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE ASTROFÍSICA A
PARTIR DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

Study of a proposal for teaching Astrophysics from meaningful learning

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física – Polo 32, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(es):
Dr. Michel Corci Batista
Dr. Gilson Junior Schiavon

**CAMPO MOURÃO
2021**



[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.



ANDREIA AGUEDA MAGRON

ESTUDO DE UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE ASTROFÍSICA A PARTIR DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

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

Data de aprovação: 28 de Agosto de 2021

Prof Michel Corci Batista, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof.a Alessandra Daniela Buffon, Doutorado - Autônomo

Prof.a Roseli Constantino Schwerz, Doutorado - Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Documento gerado pelo Sistema Acadêmico da UTFPR a partir dos dados da Ata de Defesa em 28/08/2021.

Dedico esse trabalho a minha família, em especial a minha querida irmã Ana Luiza (*in memoriam*), que em vida foi uma das maiores incentivadoras para realização do meu mestrado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente, à Deus pelo dom da vida, por ter encontrado na fé ânimo, força e coragem para não desistir e assim realizar este e outros sonhos.

Ao professor Dr. Michel Corci Batista, meu orientador, que cumpriu um excelente trabalho durante a minha orientação, sempre proporcionando momentos valiosos e agradáveis de aprendizado, com reflexões para a construção dessa pesquisa.

Ao professor Dr. Gilson Junior Schiavon por toda a dedicação ao meu trabalho durante a coorientação, pelo seu trabalho impecável nas correções, sempre com apontamentos e sugestões pertinentes.

Agradeço a todas as amigas que este programa me proporcionou, o convívio agradável e sincero, que nos permitiu a troca de experiências e o aprendizado que nunca esquecerei. Entre essas amigas, Andreza Destefano Ataídes e Juliana Skaraboto que além do carro, compartilharam bons e maus momentos nos dias que estávamos a caminho de Campo Mourão. De forma especial, quero agradecer a minha amiga Luciana Martines, que compartilhou comigo o convite despretenso de iniciarmos o mestrado, como alunas especiais, e a partir daí se fez presente em todos os momentos, das risadas ao choro, compõem as etapas que antecederam a entrega desta dissertação, sempre dizendo “vai dar tudo certo, a gente vai vencer”.

A minha querida mãe, meu suporte, meu exemplo e meu porto seguro, por sempre acreditar no meu potencial e apoiar meus sonhos, a meu pai (*in memoriam*), às minhas irmãs Ana Luiza (*in memoriam*) e Amanda e a minha sobrinha Ana Clara (presente deixado a meus cuidados), por acreditarem em mim, e não medirem esforços para a concretização dos meus sonhos. Sem vocês, eu não seria o que sou hoje. Amo vocês com amor incondicional!

Aos professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) da UTFPR (Universidade Tecnológica Federal do Paraná), que contribuíram para o meu aperfeiçoamento e crescimento profissional, com seus aportes no decorrer dessa jornada. Agradeço também à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro concedido a mim por meio de bolsa.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná, *campus* de Campo Mourão pelas condições proporcionadas para a realização desse curso de mestrado.

E a todos amigos e familiares, que contribuíram de forma direta e indireta para minhas pesquisas e para que esse trabalho acontecesse.

“Diante da vastidão do tempo e da imensidão do espaço é uma alegria para mim compartilhar uma época e um planeta com você.”

Carl Sagan

RESUMO

A Física é marcada por dois importantes conjuntos de ideias, a Física Clássica e Física Moderna. Os princípios da Física Moderna surgiram por volta do início do século XX, em 1900, a partir dos trabalhos desenvolvidos por Max Planck. Estes conceitos são a base para o desenvolvimento de diversos produtos tecnológicos e contribuíram também para o avanço na Astronomia, mais especificamente na Astrofísica. Entretanto, infelizmente, por vezes, esses conteúdos não são trabalhados no Ensino Médio. Dessa forma, este trabalho objetivou investigar o potencial pedagógico, de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), à luz da Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (TAS) para o ensino de Física Moderna a partir da Astrofísica, aplicada a um grupo professores da rede pública estadual do Estado do Paraná da área de Ciências da Natureza, na forma de curso extensão. O curso teve como objetivo promover formação continuada, para os professores que atuam na Educação Básica. Tal proposta constitui-se como produto educacional do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física. A pesquisa está alicerçada nos pressupostos teóricos da pesquisa qualitativa e para constituição do *corpus* foram utilizados questionários, mapas conceituais e o diário de campo da pesquisadora. Os resultados evidenciaram que os materiais apresentados foram muito bem recebidos e de grande valia para os docentes, com um bom potencial para evidenciar a aprendizagem significativa. Verificou-se ainda que docentes conseguiram estabelecer relações importantes sobre os conceitos de Física Moderna e Astrofísica estudados, bem como perceber as relações interdisciplinares presentes na proposta.

Palavras-chave: aprendizagem significativa; UEPS; mapa conceitual; astrofísica.

ABSTRACT

Physics is marked by two important sets of ideas, Classical Physics and Modern Physics. The principles of Modern Physics emerged around the beginning of the 20th century, in 1900, from the work developed by Max Planck. These concepts are the basis for the development of several technological products and also contributed to the advancement in Astronomy, more specifically in Astrophysics. However, unfortunately, sometimes, these contents are not worked on in High School. Thus, this work aimed to investigate the pedagogical potential of a Potentially Significant Teaching Unit (UEPS), in the light of Ausubel's Theory of Meaningful Learning (TAS) for the teaching of Modern Physics from Astrophysics, applied to a group of teachers of the state public network of the State of Paraná in the area of Nature Sciences, in the form of an extension course. The course aimed to promote continuing education for teachers who work in Basic Education. This proposal is an educational product of the National Professional Master's Degree in Physics Teaching. The research is based on the theoretical assumptions of qualitative research and for the constitution of the corpus, questionnaires, conceptual maps and the researcher's field diary were used. The results showed that the materials presented were very well received and of great value to teachers, with a good potential to demonstrate significant learning. It was also found that professors managed to establish important relationships on the concepts of Modern Physics and Astrophysics studied, as well as to understand the interdisciplinary relationships present in the proposal.

Keywords: meaningful learning; UEPS; concept map; astrophysics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Espectro eletromagnético	18
Figura 2 - Decomposição da luz branca em suas componentes.	19
Figura 3 - Linhas de Fraunhofer e Curva de intensidade da Luz.....	21
Figura 4 - Espectros de emissão e absorção para o Sódio	23
Figura 5 - Espectroscópio de Kirchhoff e Bunsen.	23
Figura 6 - Espectros contínuo, emissão e absorção respectivamente.....	25
Figura 7- Diagrama de níveis atômicos de energia do átomo de Hidrogênio.	30
Figura 8 - Curva espectral de um corpo negro em diversos comprimentos de onda	34
Figura 9 - Curva de Rayleigh-Jeans para a distribuição de radiação de corpo negro.....	35
Figura 10 - Diagrama H-R para estrelas próximas ao Sol	42
Figura 11 - Representação da fusão nuclear no ciclo próton-próton	45
Figura 12 - Representação da fusão nuclear no ciclo CNO	46
Figura 13 - Modelo para um mapa conceitual	54
Figura 14 - Representação da interação de tríade proposta por Gowin	58
Figura 15- Banner de divulgação do curso.....	70
Figura 16 - Localização dos participantes	71
Figura 17 - Área de atuação dos participantes.....	72
Figura 18 - Espectro de emissão de lâmpadas mercúrio, sódio e incandescente, respectivamente	77
Figura 19 - Resposta dos professores sobre a questão 7	81
Figura 20 - MCI e MCF, respectivamente, elaborado pelo professor 8	90
Figura 21 - MCI e MCF, respectivamente, elaborado pelo professor 6	90
Figura 22 - MCI e MCF, respectivamente, elaborado pelo professor 2	90
Figura 23 - Posição dos termômetros em relação ao espectro luminoso	106
Figura 24 - Latas tingidas de branco e preto para demonstrar do experimento.....	107
Figura 25 - Materiais e corte no CD	110
Figura 26 - Preparação do CD	111
Figura 27 - Molde para o espectroscópio.....	112

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comprimento de onda e frequência do Espectro de luz visível	19
Quadro 2 - Classificação Espectral de Harvard.....	40
Quadro 3 - Classes de Luminosidade	43
Quadro 4 - Etapas e aspectos sequenciais para a elaboração de uma UEPS	59
Quadro 5 - Organização dos encontros	63
Quadro 6 - Organização dos Módulos da UEPS:	65
Quadro 7 - Competências e habilidades apresentados na BNCC.....	70
Quadro 8 - Análise das respostas dos professores na questão 8.	83
Quadro 9 - Pontuação dos elementos essenciais dos mapas conceituais	92
Quadro 10 - Pontuação dos elementos entre os MCI e MCF.	93
Quadro 11 - Variação de temperatura das cores vermelho azul e radiação infravermelho	107

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CTS – Ciência, Tecnologia e Sociedade

DCEs – Diretrizes Curriculares Estaduais

BNCC – Base Nacional Comum Curricular

EF – Ensino fundamental

EM – Ensino Médio

FM – Física Moderna

INEP - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

MCI – Mapas conceitual inicial

MCF – Mapa conceitual final

MNPEF – Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

NASE - *Network for Astronomy School Education*

NRE – Núcleo Regional de Educação

SBF – Sociedade Brasileira de Física

TAS – Teoria da Aprendizagem Significativa

UEPS – Unidades de Ensino Potencialmente Significativo

UTFPR – Universidade Tecnológica Federal do Paraná

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2.1 Conceitos introdutórios de astrofísica	17
2.1.1 O espectro eletromagnético e o espectro visível	17
2.1.2 A espectroscopia e os espectros atômicos	20
2.1.3 Modelo de Bohr	26
2.1.4 - Relação entre comprimento de onda e temperatura:	32
2.1.5 A Lei de Stefan-Boltzmann e a Lei de Wien aplicada a Astrofísica	37
2.1.6 Estrelas e a classificação espectral.....	38
2.1.7 - Diagrama H-R	41
2.1.8 - Classes de Luminosidade	42
2.1.9 Combustível das Estrelas:.....	43
2.2 Aprendizagem significativa, mapas conceituais e ueps	47
2.2.1 - A Teoria da Aprendizagem significativa (TAS) de David Ausubel.....	47
2.2.2 - Mapas conceituais	54
2.2.3 Como elaborar um mapa conceitual.....	56
2.2.4 - Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).....	57
3 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO	61
3.1 Caracterização do trabalho	61
3.2 Proposta de ensino apresentada como produto educacional	64
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO	69
4.1 Relato de experiência	69
4.1.1 Caracterização dos sujeitos da pesquisa	71
4.1.2 - Sobre o curso.....	72
4.2 Análise dos formulários	80
4.3 Análise dos mapas conceituais	89
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS:	96
REFERÊNCIAS	99
APÊNDICE 1 - Experimentos sugeridos no 3º encontro	105
Experimentos sugeridos no 3º encontro.....	106
APÊNDICE 2 - Experimento sugerido no 5º encontro	109

Experimento sugerido no 5º encontro.....	110
APÊNDICE 3 - Formulário aplicado aos professores	113
Formulário aplicado aos professores	114
APÊNDICE 4 - Produto Educacional	117

1 INTRODUÇÃO

No decorrer da Educação Básica os estudantes têm contato com diversas disciplinas escolares, mas é, especificamente no Ensino Médio (EM), pelo menos quando falamos da maioria das escolas da rede pública no Estado do Paraná é que eles terão maior contato com a disciplina de Física.

A partir desse contato os estudantes podem se identificar com a Física, podem estudar apenas para serem aprovados em provas e testes ou ainda podem apresentar uma forte indisposição em aprendê-la, passando muitas vezes a detestar a disciplina e assim como Moreira (2017) acredita-se que esses sentimentos podem estar associados com a forma que se ensina o conteúdo.

Para Moreira (2017) o ensino de Física na educação contemporânea é desatualizado no que se refere a conteúdos e tecnologias. A metodologia ensinada nas escolas ainda privilegia as aulas expositivas, o ensino focado no papel do docente e a aprendizagem mecânica, priorizando os conteúdos discutidos na Física Clássica (FC) em detrimento aos da Física Moderna (FM).

Oliveira *et al* (2007) demonstram preocupação com a Física ensinada no Ensino Médio. Para eles o modo como é ensinada, não consegue acompanhar o desenvolvimento científico e por isso fica cada vez mais distante da necessidade dos alunos no que se refere aos conhecimentos científicos atuais.

Tironi *et.al* (2013), também apontam que a falta de conteúdos relacionados a FM pode ser considerada uma falha grave já que o funcionamento da maioria dos recursos tecnológicos utilizados pela sociedade, fazem uso de conceitos relacionados a ela. É através desses conceitos que os estudantes terão condições de entender e de se envolver com o desenvolvimento tecnológico e assim serem capazes de conhecer e avaliar novas tecnologias.

Retomando Oliveira *et al* (2007) a falta de um currículo de Física atualizado, que contemple tópicos de FM, provoca uma prática pedagógica desvinculada e descontextualizada da realidade do estudante, com isso, não permite que ele estabeleça relações com contexto histórico, cultural e social baseando sua aprendizagem apenas em fórmulas e equações. Os autores ainda ressaltam que a falta de um currículo de Física atualizado prejudica a formação do estudante enquanto cidadão participativo, já que ao sair do EM este aluno pode parar de estudar ou

ingressar em áreas em que não há ênfase na formação científica, sendo que o único contato com a Física ocorreu durante essa etapa da educação básica.

Diante do exposto, como professores, compreende-se que os conceitos, leis e princípios da FM se fazem presentes na vida dos estudantes e se encontram intimamente ligados às inovações tecnológicas ou a criação de novos produtos e mesmo assim considera-se difícil inserir tópicos desse campo da Física nas aulas.

Essa dificuldade pode ser atribuída a fatores, entre eles, o número reduzido de aulas, professores formados pelo método tradicional com pouco ou nenhum acesso a esses conteúdos durante a sua formação (MOREIRA, 2017). Esses fatores são reforçados pela pesquisa de Monteiro *et al* (2009) com professores de Física do EM, que ao serem questionados sobre os impedimentos que levam a não inclusão da FM em seus planos de trabalhos, relataram que, além do número reduzido de aulas existe a necessidade de trabalhar muitos conteúdos de FC e as dificuldades de aprendizagem dos alunos que chegam ao EM.

Quando se percebe essa distância entre o cotidiano e a vida escolar, os professores se veem frente a um desafio: quais são os conteúdos de Física que se deve ensinar? Será que a ênfase está sendo dada apenas à Física Clássica, presente Mecânica, Termodinâmica e Eletromagnetismo?

Reconhecendo assim a necessidade e a dificuldade dos professores em inserir os conteúdos de FM nos currículos escolares, é preciso pensar na seguinte questão problema: De que forma é possível trabalhar conceitos de Física Moderna aplicados a Astrofísica no Ensino Médio?

Dessa forma, o presente trabalho, tem como objetivo investigar o potencial pedagógico, de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), à luz da Teoria de Aprendizagem Significativa de Ausubel (TAS) para o ensino de Física Moderna a partir da Astrofísica, aplicada a professores na forma de curso extensão *online*.

Para isso, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- i – Identificar o conhecimento prévio dos participantes através de mapas conceituais;
- ii – Investigar por meio das relações apresentadas nos mapas conceituais indícios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora;
- iii – Avaliar a efetividade da UEPS implementada.

Dessa forma, no que diz respeito à organização desse trabalho, a pesquisa é composta por quatro capítulos. O Capítulo 1, seguindo as orientações da Sociedade Brasileira de Física juntamente com a coordenação geral do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, constitui-se desta introdução.

Em seguida, no capítulo 2, que se constitui como a base para a proposta de ensino, foi organizada uma fundamentação teórica, tanto de Física que versa sobre assuntos relacionados a Astrofísica e a Física necessários para a compreensão da espectroscopia e suas aplicações; quanto de ensino, que busca apresentar a teoria de aprendizagem de significativa de Ausubel, utilizando os encaminhamentos metodológicos propostos de uma UEPS.

O capítulo 3 descreve os encaminhamentos metodológicos que sustentaram esta pesquisa, bem como as estratégias e técnicas para coleta e análise dos dados constituídos.

O capítulo 4 constitui-se do relato de experiência, análise e discussão dos resultados encontrados com a implementação da proposta de ensino.

Por fim, são expostas as considerações finais do trabalho, as referências utilizadas no mesmo bem como os apêndices, cuja proposta de ensino implementada constitui-se na íntegra como um dos apêndices.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Conceitos introdutórios de astrofísica

A Astronomia é uma das Ciências mais antigas e todo conhecimento acumulado por ela ao longo da história possibilitou ao homem a compreensão e descoberta de muitas informações e fenômenos sobre o Universo, mas havia outros interesses, pois, além das observações, da determinação das posições e do movimento dos astros era importante conhecer sua natureza física e química.

Graças ao desenvolvimento da Física no século XIX, um novo ramo da Astronomia entra em cena, a Astrofísica Estelar ou Física das Estrelas. A Astrofísica, combina os saberes da Astronomia e da Física para interpretar, conhecer e expandir os conhecimentos sobre o Universo e suas fronteiras.

Para que a Astrofísica se desenvolvesse foi necessário o aprimoramento de técnicas de análise capazes de compreender elementos que as radiações eletromagnéticas, principalmente a luz, forneciam. Esse conjunto de técnicas recebe o nome de espectroscopia.

A espectroscopia é muito utilizada pela Astrofísica para obter informações relevantes sobre os astros celestes, por exemplo, sua temperatura e composição química.

Para isso neste capítulo, serão apresentados conceitos importantes que corroboraram para o desenvolvimento da espectroscopia.

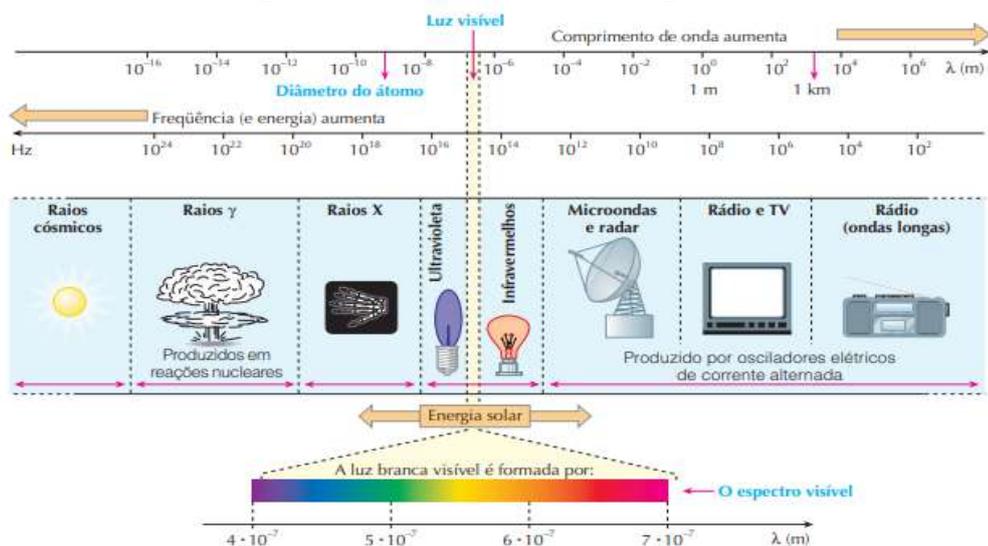
2.1.1 O espectro eletromagnético e o espectro visível

O conjunto de ondas eletromagnéticas formada pela luz, ondas de rádio, micro-ondas, infravermelho, ultravioleta, raios X e raios gama, recebe o nome espectro eletromagnético. Elas recebem esses simplesmente como um modo conveniente de descrever a região do espectro onde elas se encontram (JEWETT; SERWAY, 2011).

Essas radiações possuem a mesma natureza e a mesma propriedade da luz, a diferença entre uma radiação e outra se dá pelo fato que cada uma delas possui frequências e comprimentos de onda distintos e únicos.

O espectro eletromagnético é dividido em regiões segundo seus comprimentos de onda e frequências, mas não existe nem um tipo de divisão ou limite que separe uma onda da outra. A figura 1, representa o espectro eletromagnético e indica as informações sobre as radiações. É possível perceber que à direita encontram-se as radiações com maiores frequências, menores comprimentos de onda e maiores energias. Já à esquerda estão as menores frequências, maiores comprimentos de onda e por consequência menores energias.

Figura 1 - Espectro eletromagnético



Fonte: FELTRE (2004, p. 89)¹

Quase ao centro do espectro eletromagnético, existe uma pequena região com comprimentos de onda de ordem de grandeza de aproximadamente 10^{-7} m e frequência 10^{14} Hz, conhecida como Espectro Visível. Este é decorrente da decomposição da luz de vários componentes ou cores, com comprimentos de onda característicos para cada um deles. O quadro 1 apresenta os comprimentos de onda e as frequências relacionadas a cada cor do espectro visível.

¹ FELTRE, R. **Química**. Volume 1 . 6. ed. São Paulo : Moderna, 2004.

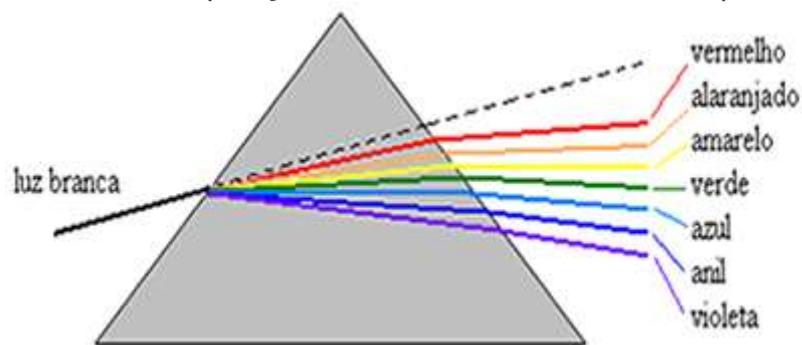
Quadro 1 - Comprimento de onda e frequência do Espectro de luz visível

Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência (10^{14}Hz)
Violeta	400 – 460	7,5 – 6,5
Índigo	460 – 475	6,5 – 6,3
Azul	475 – 490	6,3 – 6,1
Verde	490 – 565	6,1 – 5,3
Amarelo	565 – 575	5,3 – 5,2
Laranja	575 – 600	5,2 – 5,0
Vermelho	600 – 700	5,0 – 4,3

Fonte: adaptado de Napoleão (2018) *apud* Strobel (2013)

O espectro visível foi obtido pela primeira vez por Isaac Newton em 1666. Em uma série de experimentos Newton observou que luz branca proveniente do Sol ao atravessar o prisma, sofria dispersão e se decompunha em diversas cores componentes, como um arco-íris, e chamou aquilo de espectro. O espectro formado tinha cores distribuídas do vermelho ao violeta.

Newton concluiu que a luz branca era formada por várias cores de luzes visíveis e que ao atravessar o prisma cada uma dessas luzes sofria um desvio diferente ao atravessar o prisma. Notou também que a componente violeta é a mais desviada em contraponto à vermelha que é a menos desviada, já as demais teriam desvios intermediários, como representado na figura 2.

Figura 2 - Decomposição da luz branca em suas componentes.

Fonte: ZEUXIS (2020) ²

A partir de seus resultados Newton apresentou em 1672 um artigo sobre a natureza corpuscular da luz, mas infelizmente por não conseguir chegar a uma teoria

² ZEUXIS, C. A luz para a metáfora do conhecimento. **Nefelibata Boy**, 2020. Disponível em: <http://perifocus.blogspot.com/>. Acesso em: 21 de out. 2021

definitiva abandonou os estudos da luz, e por isso, para Napoleão (2020, pág. 2) a “espectroscopia teria que esperar mais cento e cinquenta anos para se desenvolver”.

2.1.2 A espectroscopia e os espectros atômicos

Fica claro que os experimentos de Newton abriram caminho para os estudos da luz através da decomposição em cores que aparece quando a luz atravessa um prisma ou uma rede de difração, formando um espectro contínuo. Essa técnica é o princípio da espectroscopia.

A espectroscopia segundo Oliveira e Saraiva (2014, pág.217) 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 espectro”.

É importante lembrar, que quase todas as informações sobre as propriedades físicas e químicas das estrelas são obtidas com base no estudo de seus espectros. (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014).

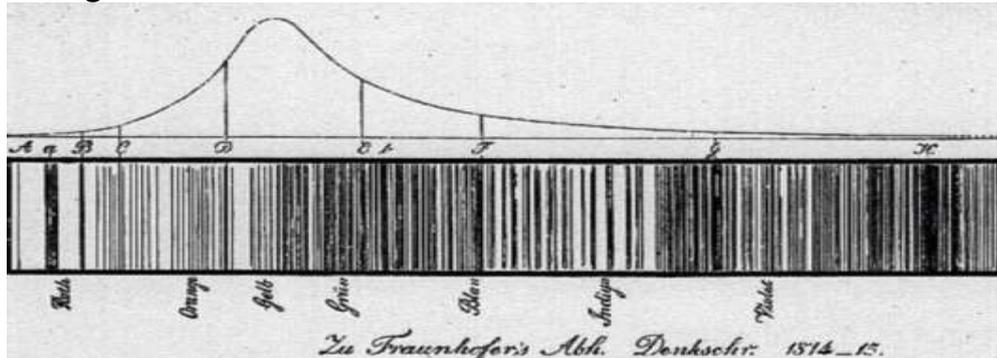
Depois de Newton, muitos cientistas continuaram a investigar as características e propriedades dos espectros, entre eles, o físico William Hyde Wollaston, que em 1802, detectou a presença de linhas escuras no espectro solar. Ele realizou um experimento em que a luz solar atravessava uma fenda e em seguida um prisma, obtendo sobre o espectro linhas escuras e as interpretou como se fossem falhas no espectro observado que indicavam o limite das cores (OLIVEIRA; SARAIVA; 2014).

Essas falhas no espectro solar, também chamaram a atenção de um fabricante de lentes chamado Joseph von Fraunhofer, que em 1814, observou o espectro contínuo do Sol através de uma fenda estreita, dispersando assim a luz solar por meio de um sistema de prismas, confeccionados com um tipo de vidro desenvolvido por ele. Com essa técnica, Fraunhofer descobriu que o espectro solar era interrompido por mais 600 linhas escuras. (TYPLER; LLEWELLYN, 2006).

Fraunhofer realizou diversas combinações diferentes de vidros e modelos de prismas e concluiu, em 1817, que essas linhas não eram causadas por difrações, mas tratavam-se de características da natureza da luz solar. Essas linhas ficaram conhecidas como “raias ou linhas de Fraunhofer” (NAPOLEÃO, 2018).

Fraunhofer nomeou as linhas mais fortes observadas no espectro com letras maiúsculas de A até I e conseguiu mapear 574 linhas entre a linha B e a linha H (FILGUEIRAS, 1996). A figura 3, mostra a representação das linhas espectrais observadas no Espectro Solar com as linhas de absorção descobertas e nomeadas por Fraunhofer. Na parte superior, a curva mostra a intensidade da luz solar em diversas regiões do espectro.

Figura 3 - Linhas de Fraunhofer e Curva de intensidade da Luz



Fonte: Napoleão (2018)

Fraunhofer, que era astrônomo amador, observou e conseguiu obter os espectros de outras estrelas como Sirius, Castor, Pollux, Capella, Betelgeuse e Procyone, notou que a maior parte deles eram diferentes das linhas observadas no espectro solar. Além dessa série de contribuições, Fraunhofer, segundo Napoleão (2020) inventou:

[...] aquilo que poderia ser chamado de primeiro espectroscópio moderno formado por uma lente de difração e o primeiro espectroscópio moderno formado por um prisma, fenda, lente colimadora e uma luneta, além do primeiro espectroscópio que usava rede de difração (NAPOLEÃO, 2020, p. 3).

Ainda segundo o autor, infelizmente Fraunhofer morreu, vitimado pela tuberculose, antes de compreender a causa das linhas espectrais e suas contribuições não foram capazes de explicar teoricamente as linhas escuras no espectro. Entretanto, a resposta para as suas observações seria dada pelo físico teórico Gustav Kirchhoff e pelo químico Robert Wilhelm Bunsen, em 1859, com o desenvolvimento da espectroscopia de absorção e da explicação das linhas escuras de no espectro solar obtidas por Fraunhofer.

Bunsen havia inventado, em 1856, um bico de gás, que produzia uma chama incolor. Esse equipamento, conhecido desde então como bico de Bunsen, é

constituído de tubo de metal vertical ligado a uma base conectada a uma fonte de combustível. A mistura do combustível (gás) e do ar na base do dispositivo produz uma chama azul na base e incolor no topo. Quando uma solução era aquecida pela chama do bico de Bunsen, emitia cores que pertenciam ao elemento químico presente na solução e não a chama.

Para melhor visualização dessas linhas, Kirchhoff e Bunsen tiveram a ideia de passar a luz emitida por diversos elementos químicos aquecidos pelo bico por um prisma de vidro e constataram que os gases quentes não emitiam um espectro contínuo. Os cientistas perceberam que cada elemento apresentava um conjunto de linhas de emissão brilhantes, com comprimentos de onda específicos, formando um padrão único e característico, como uma impressão digital.

As linhas encontradas por Kirchhoff eram linhas brilhantes, já as linhas encontradas por Fraunhofer eram linhas escuras. Com isso, Kirchhoff queria determinar se as linhas escuras obtidas por Fraunhofer correspondiam às linhas do sódio. Para tanto, segundo Oliveira e Saraiva (2014):

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).

Além disso, Kirchhoff mostrou que as linhas D de Fraunhofer eram produzidas pelo sódio vaporizado e tinham o mesmo comprimento de onda das linhas amarelas mais intensas do espectro de emissão do sódio.

A figura 4 abaixo representa a comparação de Kirchhoff para comprovar que as duas linhas brilhantes correspondiam às duas linhas escuras do espectro Fraunhofer (D1 e D2) que apareciam no espectro de emissão do sódio.

Figura 4 - Espectros de emissão e absorção para o Sódio
Linhas Espectrais em Absorção do Sódio(Na)

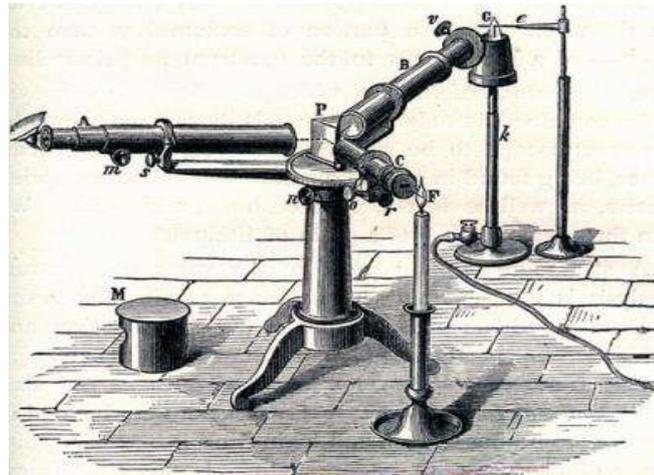


Fonte: CORREA (2013)³

Kirchhoff também deduziu corretamente que as linhas escuras de Fraunhofer devem ser atribuídas à absorção por diferentes elementos presentes no sol, assim ele abriu o caminho para determinar a composição química de estrelas a trilhões de quilômetros da Terra.

O incrível trabalho desses dois cientistas possibilitou o estudo e a identificação de inúmeros elementos químicos, assim como o aperfeiçoamento do espectroscópio, apresentado na figura 5.

Figura 5 - Espectroscópio de Kirchhoff e Bunsen.



Fonte: Filgueiras (1996)⁴

Suas descobertas contribuíram muito para o desenvolvimento da espectroscopia, Química, Física e Astronomia. Entre as mais importantes, podemos citar a descoberta do Hélio, em 1868. Durante o estudo do espectro solar, os pesquisadores notaram a presença de linhas que não correspondiam a nenhum

³ CORREA , T. Estrelas parte III. **Harmonia do Mundo**. 2013. Disponível em: <https://harmoniadomundo.wordpress.com/2013/03/23/estrelas3/>. Acesso em 01 de jul. 2021.

⁴ FILGUEIRAS, C. A. A espectroscopia e a química da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. **Química Nova na Escola**, n.3, 1996.

elemento já identificado. Com isso notaram algo muito importante, um novo elemento havia sido descoberto, que recebeu o nome de Hélio, palavra grega para Sol, *hélios*, que mais tarde viria a ser isolado a partir de um gás subterrâneo da Terra.

O espectroscópio é um dispositivo óptico utilizado para decomposição e análise da luz emitida por uma fonte. Ele é constituído por uma fenda, uma lente colimadora e uma rede de difração. A luz entra pela fenda e ao passar pela rede de difração, é decomposta em diferentes comprimentos de onda que compõem o espectro. É possível pela análise do espectro encontrado, determinar cada elemento químico presente na fonte luminosa e assim descobrir características como a sua composição química. (BARROS, *et al*; 2016)

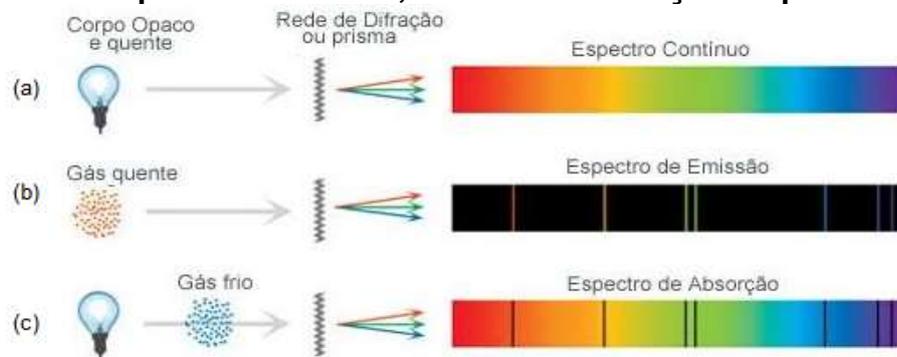
Os espectroscópios podem ser utilizados na Astrofísica de forma a auxiliar na determinação da composição de estrelas e outros corpos celestes. São eles que ajudam a interpretar as informações trazidas pela luz até a Terra proveniente desses objetos celestes. As informações indicadas nos espectros ajudam a determinar propriedades físicas e químicas de uma estrela, entre elas a temperatura, densidade, composição e ainda se está se aproximando ou se afastando da Terra.

Com seus experimentos, Kirchhoff formulou três leis empíricas para a espectroscopia a fim de explicar cada tipo de espectro: espectro contínuo, espectro de emissão e espectro de absorção.

- 1. Espectro de emissão contínuo:** é o espectro que não apresenta linhas, nem brilhantes nem escuras, representada na figura 6a. Ele é produzido por um corpo opaco quente, em qualquer estado físico. Quando se observa o espectro de uma lâmpada de tungstênio ou a luz emitida por uma estrela é possível perceber a presença desse tipo de espectro (OLIVEIRA; SARAIVA; 2014).
- 2. Espectro de emissão:** também conhecido como espectro discreto, apresenta linhas brilhantes sobrepostas ao espectro contínuo, representada na figura 6b. É produzido por um gás transparente e pouco denso em temperaturas elevadas. O número e a cor dessas linhas dependem dos elementos químicos componentes do gás. Esse tipo de espectro pode ser encontrado ao analisar a luz de uma lâmpada fluorescente (OLIVEIRA; SARAIVA; 2014).

3. Espectro de absorção: apresenta linhas escuras sobre o espectro contínuo, representada na figura 6c. Esse tipo de espectro é produzido quando um espectro contínuo, produzido por uma fonte de temperatura elevada, atravessa um gás com a temperatura mais baixa. As linhas escuras formadas, são chamadas de linhas de absorção. O número e a cor dessas linhas correspondem aos elementos presentes no gás frio. Esse tipo de espectro pode ser obtido quando a luz atravessa a atmosfera de uma estrela. Por isso essas linhas de absorção têm sido utilizadas para identificar elementos na atmosfera da estrela (OLIVEIRA; SARAIVA; 2014).

Figura 6 - Espectros contínuo, emissão e absorção respectivamente



Fonte: DIAS (2012)⁵

A identificação dos espectros abriu caminho para que os astrônomos pudessem determinar a composição química das estrelas. As linhas espectrais podem ser comparadas a impressões digitais, assim basta identificar as linhas presentes no espectro de uma estrela e compará-las às linhas correspondentes aos elementos químicos conhecidos.

Para as análises qualitativas e quantitativas de elementos a espectroscopia de absorção é tão importante quanto a espectroscopia de emissão. Deve-se notar que as linhas escuras do espectro absorção ocorrem exatamente nos mesmos comprimentos de onda que as linhas brilhantes do espectro de emissão, no entanto nem todas as linhas de emissão estão presentes no espectro de absorção.

Por fim, é preciso lembrar que necessariamente os espectros contínuo, de emissão e de absorção não aparecem isolados, em algumas estrelas é possível

⁵ DIAS, J. Luz e espectros. **Ventos do universo**. 2012. Disponível em: <https://ventosdouniverso.blogspot.com/search?q=espectros>. Data de acesso 01/07/2021

observar os três espectros combinados. Isso evidencia a presença de processos físicos diferentes ocorrendo geralmente a temperaturas diferentes.

2.1.3 Modelo de Bohr

Ao final do século XIX, os cientistas já conheciam os efeitos da luz relacionados aos espectros de emissão e de absorção, mas ainda não eram capazes de explicar as causas reais desse fenômeno, nem os mecanismos da produção de luz em níveis atômicos envolvidos.

Para explicar as indagações relacionadas aos espectros (emissão e absorção) e a estabilidade 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 de radiação eletromagnética e outras não. Outro problema estava na dificuldade de entender como cargas elétricas, no caso os elétrons, estavam em movimento circular sujeitos a aceleração centrípeta e emitindo energia. Assim de acordo com a Física Clássica, ao emitir energia, a velocidade de rotação do elétron ao redor do núcleo teria de diminuir com o tempo e acabaria indo de encontro ao núcleo, descrevendo um movimento espiralado e a força de atração entre os elétrons e o núcleo levariam a destruição do átomo. (JEWETT, SERWAY, 2012).

Assim em 1913, Niels Bohr apresenta um novo modelo, com base no átomo de hidrogênio, que supera as dificuldades do modelo de Rutherford e permite prever com precisão as linhas para o espectro desse elemento. Em seu modelo, Bohr utiliza as ideias da Mecânica Quântica propostas por Planck ao sugerir níveis de energia quantizados e no conceito de fóton de Einstein associados a Mecânica Clássica considerando que os elétrons atômicos ocupavam órbitas, como o proposto por Rutherford (TYPLER; LLEWELLYN, 2006).

Para resolver todos esses problemas Bohr aplicou os seguintes postulados ao seu modelo atômico:

1. Os elétrons se movimentam ao redor do núcleo em órbitas circulares sem irradiar energia, sob a ação da força de atração coulombiana. Cada órbita apresenta um determinado valor de energia, bem definido e constante. Essas órbitas foram chamadas de níveis, camadas eletrônicas ou estados

estacionários. Quanto mais próximo do núcleo, menor a energia do elétron, e vice-versa.

2. Não é permitida a existência de uma infinidade de órbitas ao redor do núcleo, como prevê a Física Clássica, os elétrons só podem ocupar determinadas órbitas com valores constantes de energia. Ao ocuparem estas camadas o elétron não emite energia na forma de radiação, mesmo estando acelerados.
3. A energia total de um elétron, mesmo constantemente acelerado, deve permanecer constante, sendo assim, para emitir radiação um elétron deve realizar uma transição eletrônica, ou seja, saltar de um nível de maior energia para um de menor energia, mas para que essa transição ocorra é necessário que o elétron absorva energia corresponde a um fóton. Contudo a energia fornecida pelo fóton deve ser exatamente igual a diferença entre a energia dos níveis envolvidos na transição eletrônica e pode ser expressa por:

$$E_i - E_f = h \cdot f$$

Onde E_i é a energia do estado inicial e E_f a energia do estado final, h é a constante de Planck ($6,6207 \cdot 10^{-34} \text{ m}^2 \cdot \text{kg/s.}$), f a frequência do fóton e $E_i > E_f$. Logo após a absorção o fóton desaparece e o elétron realiza o salto para um nível de energia mais alto. Na transição de retorno ao estado fundamental ocorre a liberação de energia, na forma de radiação eletromagnética, por exemplo, luz visível ou ultravioleta.

4. O tamanho das órbitas permitidas a um elétron é condicionada ao movimento angular orbital do elétron em torno do núcleo, o que impõe dizer que os níveis de energia são quantizados, ou seja, só são permitidas certas quantidades de energia para o elétron com valores múltiplos inteiros de $\hbar = \frac{h}{2\pi}$

$$m_e \cdot v r = n \cdot \hbar \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

Onde m_e é a massa do elétron, v a velocidade escalar do elétron em sua órbita e r o raio orbital.

Usando estes quatro pressupostos, é possível calcular os níveis de energia permitidos e o comprimento de onda de emissão do átomo de hidrogênio, propondo

que a energia total do átomo, tanto em termos de energia cinética como em energia potencial é

$$E = K + U = \frac{1}{2} m_e v^2 - k \frac{e^2}{r}$$

Onde k é a constante de Coulomb e tem valor $1/4\pi\epsilon_0$

Aplicando a segunda lei de Newton para este sistema, é possível perceber que a força atrativa de Coulomb sobre o elétron deve ser igual à massa vezes aceleração centrípeta do elétron ou:

$$\frac{ke^2}{r^2} = \frac{m_e v^2}{r}$$

A partir dessa expressão, encontramos a energia cinética como sendo:

$$K = \frac{m_e v^2}{2} = \frac{ke^2}{2r}$$

Substituindo o valor de K na equação obteremos a energia total do átomo como:

$$E = -\frac{ke^2}{2r}$$

Cabe dizer que a energia total é negativa, indicando um sistema próton- elétron ligado. Isto significa que a energia no montante $ke^2 / 2r$ deve ser adicionada ao átomo para remover o elétron até o infinito e deixá-lo livre. Uma expressão para r , o raio da órbita do elétron, pode ser obtida eliminando-se v nas equações da energia cinética e no movimento angular:

$$r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{m_e k e^2} n = 1, 2, 3 \dots$$

A equação acima mostra que apenas certas órbitas são permitidas e que nessas órbitas a exigência não clássica do movimento angular do elétron ser um

múltiplo inteiro de \hbar . O menor raio para $n=1$, é chamado de raio de Bohr, e é denotado por a_0 . O valor do raio de Bohr é:

$$a_0 = \frac{\hbar^2}{m_e k e^2} = 0,0529 \text{ nm}$$

O fato de a teoria de Bohr obter um valor para o raio do hidrogênio de acordo com tamanho experimental sem qualquer calibração empírica do tamanho da órbita foi considerado um grande marco para esta teoria.

A quantização dos raios das órbitas possibilitou a quantização da energia, que pode ser expresso através da equação abaixo, levando em consideração os níveis permitidos de energia:

$$E_n = -\frac{k e^2}{2 a_0} \left(\frac{1}{n^2} \right) \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

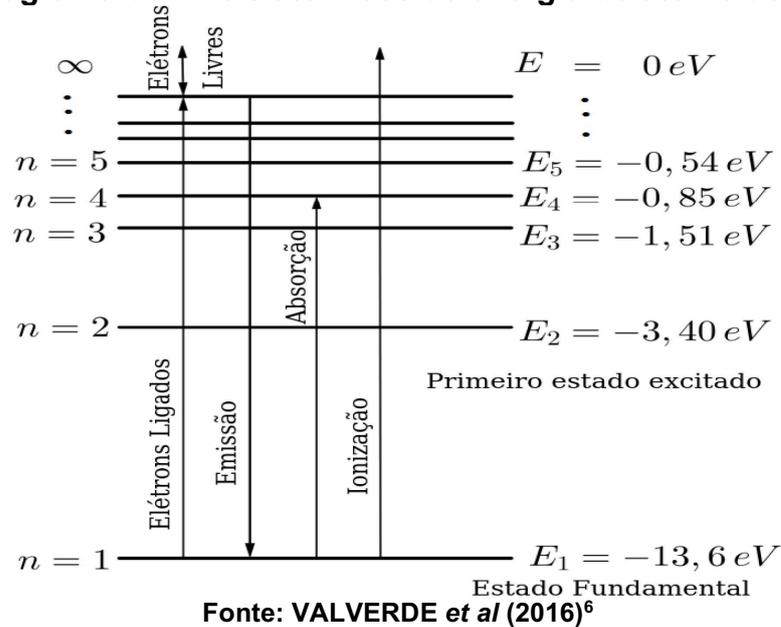
Inserindo os valores numéricos nesta equação obteremos então:

$$E_n = -\frac{13,6}{n^2} \text{ eV} \quad n = 1, 2, 3 \dots$$

Os inteiros n , são chamados de números quânticos e correspondem aos valores discretos ou quantizados da energia do átomo. Ao substituir os valores de n na equação é possível determinar os valores possíveis de energia para cada nível, então, para o menor estado estacionário, chamado de estado fundamental com $n=1$, a energia será igual a $E_1 = -13,6 \text{ eV}$, para $n=2$ chamado de primeiro estado excitado a energia $E_2 = -3,4 \text{ eV}$.

Um diagrama de nível de energia, mostrando as energias deste estado discreto de energia e os números quânticos correspondentes estão representados na figura 7. Nesse diagrama os números quânticos são apresentados à esquerda, as energias permitidas estão demonstradas no eixo vertical e na extensão horizontal é indicado as transições permitidas.

Figura 7- Diagrama de níveis atômicos de energia do átomo de Hidrogênio.



O diagrama mostra, também, que o nível mais elevado corresponde a $n = \infty$ e $E = 0$ e representa o estado para o qual o elétron é removido do átomo.

A energia mínima necessária para remover completamente um elétron do estado fundamental, a partir da influência do próton (energia de ionização), no átomo de hidrogênio, corresponde 13,6 eV, de acordo com o cálculo de Bohr. Essa constatação foi outra grande conquista da sua teoria, já que a energia de ionização já havia sido medida precisamente como sendo 13,6 eV.

Com a determinação da energia em função do raio do hidrogênio e com a combinação de ideias e princípios estabelecidos principalmente pelo postulado 3, foi possível explicar a existência de um espectro característico, seja para as linhas de emissão ou linhas de absorção para o átomo de hidrogênio (JEWETT; SERWAY, 2012) através do cálculo da frequência do fóton emitido quando o elétron salta de uma órbita mais externa para uma órbita mais interna:

$$f = \frac{E_i - E_f}{h} = \frac{Ke^2}{2a_0h} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

⁶ VALVERDE, C; BASEIA, B; BAGNATO, V. Mecanismos de alargamento de linhas espectrais atômicas. *Rev. Bras. Ensino Física*, vol. 38, n° 4. Dez 2016. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0092>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/QkLc3KWzBSykJ4fdnhVnHLf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 01/07/2021

Como a característica mais importante para a medida do espectro é o comprimento de onda, é conveniente converter a frequência em comprimento de onda usando: $c = \lambda f$ e assim:

$$\frac{1}{\lambda} = \frac{f}{c} = \frac{ke^2}{2a_0hc} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right)$$

A partir do modelo atômico de Bohr foi possível explicar os espectros atômicos e compreender que átomos de elementos distintos emitem diferentes comprimentos de onda, e por consequência, luminosidades diferentes, já que realizavam saltos quânticos diferentes.

Segundo Jewett e Serway (2012), este modelo contribuiu para determinar a presença de elementos químicos diferentes do hidrogênio no Sol e em outras estrelas:

Bohr estendeu seu modelo do hidrogênio para outros elementos nos quais todos, menos um elétron, haviam sido removidos. Esses sistemas têm a mesma estrutura do átomo de hidrogênio, mas com a carga nuclear maior. Acreditava-se que elementos ionizados, tais como He^+ , Li^{2+} e Be^{3+} , existissem em atmosferas estelares quentes, onde colisões atômicas têm com frequência energia suficiente para remover totalmente um ou mais elétrons atômicos. Bohr demonstrou que muitas linhas misteriosas observadas nos espectros do Sol e de várias outras estrelas não poderiam ser causadas pelo hidrogênio, mas, sim, previstas corretamente por sua teoria se atribuídas ao hélio ionizado individualmente (JEWETT, SERWAY, 2012, p. 232).

Em geral, para descrever um único elétron orbitando o núcleo fixo de carga Ze a teoria de Bohr fornece:

$$r_n = (n^2) \frac{a_0}{Z}$$

$$E_n = -\frac{k^2 e^2}{2a} \left(\frac{Z^2}{n^2} \right)$$

O modelo de Bohr foi capaz de confirmar resultados importantes sobre o átomo de hidrogênio e a compressão da formação dos espectros atômicos, mas apresentou dificuldades para explicar os espectros de átomos mais complexos, o que levou a modificações posteriores em sua teoria.

2.1.4 - Relação entre comprimento de onda e temperatura:

A espectroscopia teve um grande desenvolvimento durante a segunda metade do século XIX e início do século XX, à medida que os cientistas conseguiam compreender e explicar a formação dos espectros, entretanto, algumas questões relacionadas aos mesmos ainda assombravam os químicos e físicos. Uma delas estava relacionada à emissão de radiação contínua por corpos aquecidos, conhecida como radiação térmica (EISBERG; RESNICK, 1979).

A radiação eletromagnética emitida por um corpo se dá pelo efeito da temperatura. Logo, todos os corpos, independente da sua composição química, forma ou tamanho emitem energia para o ambiente na forma de radiação eletromagnética desde que estejam em temperaturas superiores ao zero absoluto. Quanto maior a temperatura maior de um corpo, mais alto será o nível das vibrações (acelerações e desacelerações) das partículas, átomos ou moléculas que constituem este corpo e a quantidade de energia irradiada (JEWETT; SERWAY, 2012).

Quando a emissão de radiação ocorre pelo efeito térmico têm-se a formação de um espectro contínuo, ou seja, a energia é irradiada em todos os comprimentos de onda. Por exemplo, quando um corpo estiver à temperatura ambiente, os comprimentos de onda pertencentes à radiação emitida serão localizados predominantemente na região do infravermelho. Com o aumento da temperatura superficial do corpo, este começa a brilhar com luz vermelha, na faixa visível. Já em temperaturas mais elevadas o corpo torna-se incandescente e passa a brilhar com luz branca. Com isso, constata-se que quanto maior for a temperatura, maior será a energia emitida e menor será o comprimento de onda (JEWETT; SERWAY, 2012).

Segundo Jewett e Serway (2012), esses fatos experimentais conhecidos pela comunidade científica no final do século XIX, embasavam uma teoria conhecida como radiação de corpo negro ou corpo negro. O problema com essa teoria se dava porque a Física Clássica não conseguia explicar a distribuição do espectro contínuo observado na radiação emitida por um corpo negro.

A teoria de corpo negro foi formulada por Kirchhoff em 1859. Segundo a sua definição, um corpo negro pode ser definido como um corpo ideal, capaz de absorver todos os comprimentos de onda que incidem sobre ele sem refletir nada, por isso ele é chamado negro (NAPOLEÃO, 2018).

Considerando então que a radiação emitida por um corpo negro depende apenas da sua temperatura, Josef Stefan, em 1879 propõe uma relação empírica entre a temperatura e a intensidade da radiação emitida por um corpo negro. De acordo com essa lei, a energia total por unidade de área em todas as frequências emitidas por um sólido a alta temperatura, e_{total} , é proporcional à quarta potência da sua temperatura absoluta e pode ser expressa pela equação:

$$e_{total} = \int_0^{\infty} e_f df = \sigma T^4$$

Cinco anos mais tarde Ludwig Boltzmann chegou aos mesmos resultados de Stefan, e comprovou que a potência irradiada por um corpo negro depende apenas da temperatura. Hoje essa lei é conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann pode ser escrita em termos da intensidade da radiação irradiada pela área, de modo que (TYPLER; LLEWELLYN, 2006):

$$I = \sigma \cdot T^4$$

onde I representa a intensidade de radiação irradiada por área em W/m^2 (Watt por metro quadrado) e T a temperatura absoluta em Kelvin (K) e σ é constante de proporcionalidade é chamada Constante de Stefan-Boltzmann ou Constante de Stefan representada que assume o valor de $5,67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$.

Na tentativa de explicar matematicamente a curva de distribuição da radiação de corpo negro, em 1893, Wilhelm Wien propõe uma lei que ficou conhecida como Lei de Wien ou Lei de Deslocamento de Wien. Segundo o trabalho de Wien a temperatura absoluta de um corpo negro é inversamente proporcional ao comprimento de onda corresponde ao pico, sendo escrita de acordo com a equação:

$$\lambda_{max} \propto \frac{1}{T}$$

$$\lambda \cdot T = constante$$

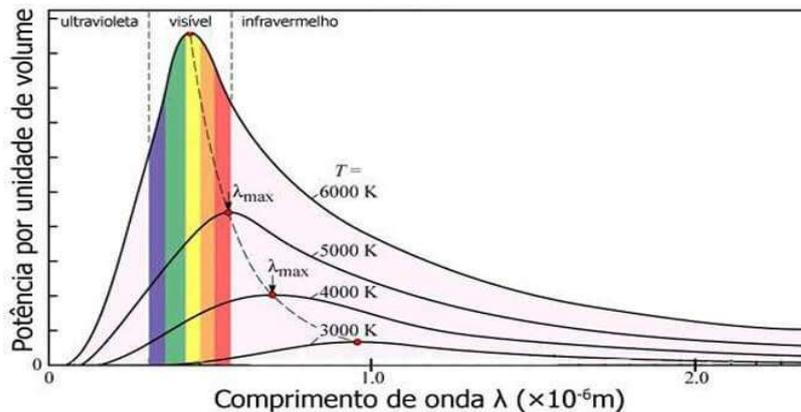
A constante de Wien tem valor igual $2,898 \cdot 10^{-3} m.K$, λ_{max} corresponde à intensidade máxima da emissão do corpo medido em metros (m) e T é a temperatura

absoluta da superfície do objeto que emite radiação, medida em Kelvin (K). Assim a Lei de Wien passou a ser escrita da seguinte forma:

$$\lambda_{max} = \frac{2,898.10^{-3}}{T}$$

Com essa equação, é possível verificar a relação entre a variação da intensidade da radiação em todos os comprimentos de onda e no comprimento de onda de máxima intensidade. A figura 8 apresenta um gráfico evidenciando essa relação, apresentando uma curva espectral de corpo negro a um determinado comprimento de onda a uma dada temperatura

Figura 8 - Curva espectral de um corpo negro em diversos comprimentos de onda



Fonte: DIAS (2013)⁷

Observe que temperaturas acima de 5000 K, o pico intensidade se localiza na região do visível, e se continuasse elevando a temperatura, era possível verificar que o pico da curva se desloca para mais próximo do azul. Já para temperaturas abaixo de 5000 K o pico máximo da radiação emitida se localiza na região do infravermelho. As curvas apresentadas na figura 8, mostram que quanto menor a temperatura de um corpo mais deslocado para a direita se encontra o pico da curva e maior é o comprimento de onda emitido pela fonte.

Segundo Jewett e Serway (2012) a Lei de Wien explica o comportamento de corpos negros, para comprimentos de onda mais baixos:

À temperatura ambiente, o corpo não parece brilhar, porque o pico está na região do infravermelho do espectro eletromagnético. Em temperaturas mais

⁷ DIAS, J. RCF (Radiação Cosmológica De Fundo). **Ventos do universo**. 2013. Disponível em: <http://ventosdouniverso.blogspot.com/2013/04/?m=0>. Acesso em: 26 de out. 2021.

altas, ele brilha com a cor vermelha, pois o pico está na região próxima do infravermelho, com parte da radiação na extremidade vermelha do espectro visível; em temperaturas ainda mais altas, ele brilha com a cor branca, porque o pico está na região visível, de modo que todas as cores são emitidas (JEWETT; SERWAY, 2012, p 168).

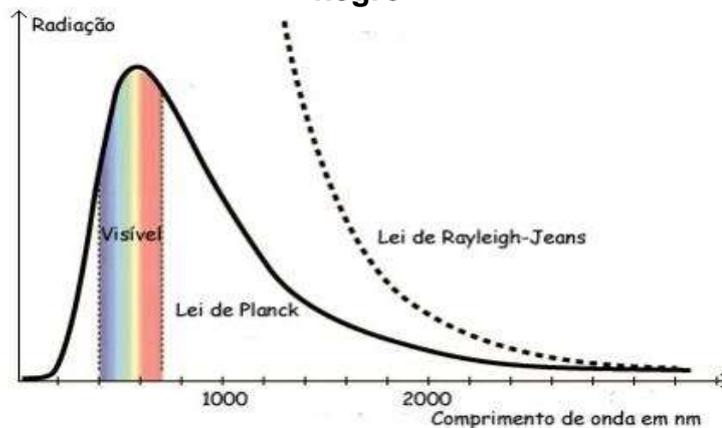
Outra tentativa de explicar a distribuição de radiação eletromagnética por um corpo negro foi proposta pelos físicos John Rayleigh e James Jeans. Para descrever a distribuição de energia de um corpo negro, os físicos relacionaram a intensidade da energia emitida no intervalo de comprimento de onda e obtiveram uma equação matemática expressa por:

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi c k_B T}{\lambda^4}$$

onde I é a intensidade da energia emitida, k é a constante de Boltzmann e corresponde a $1,38 \times 10^{-23} \text{ m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, T é a temperatura absoluta em Kelvin (K) e λ o comprimento de onda em metros.

A fórmula funcionava bem para grandes comprimentos de onda, mas infelizmente, não se adequava apenas aos comprimentos de onda mais baixos. De acordo com a equação proposta pelos físicos, a intensidade da radiação aumentava drasticamente para comprimentos de onda mais baixos, tendo ao infinito, conforme mostra a figura 9. Este problema ficou conhecido como catástrofe do ultravioleta.

Figura 9 - Curva de Rayleigh-Jeans para a distribuição de radiação de corpo negro



Fonte: QUARTUCCIO(2016)⁸

⁸ QUARTUCCIO, J.T. O problema da radiação de corpo negro. Instituto de Pesquisas Científicas. 2016. Disponível em <https://institutodepesquisascientificas.wordpress.com/2016/04/17/o-problema-da-radiacao-de-corpo-negro-da-catastrofe-do-ultravioleta-a-teoria-quantica/>. Acesso em: 21 de out. 2021.

Segundo Tipler e Llewellyn (2006) a partir da Física Clássica as duas teorias estavam corretas e muitos cálculos foram feitos para tentar encontrar uma solução para o problema, até que chegaram à conclusão de que a culpa era da energia.

Assim, o problema da distribuição espectral da radiação de corpo negro e a catástrofe do ultravioleta só viria a ser solucionado por Max Planck, em 1900. Para isso, Planck propõe uma teoria que consegue explicar a relação entre a intensidade da radiação, temperatura e comprimento de onda e o resultado. Nela, Planck associa a agitação molecular dos elétrons e a emissão de ondas eletromagnéticas, à osciladores harmônicos, ou seja, sistemas que oscilam com frequências definidas, na superfície do corpo e propõe que a energia emitida por eles correspondia a pacotes discretos de energia (JEWETT; SERWAY 2012).

Planck estabeleceu que os valores energia total de um oscilador só poderia existir para determinados valores de energia encontrados por:

$$E = nhf \quad n = 1,2,3 \dots$$

onde h é um parâmetro introduzido por Planck, e hoje é conhecida como a Constante de Planck, assumindo o valor de $6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s, n é um número inteiro positivo, chamado de número quântico e f é a frequência do oscilador.

Assim os osciladores emitem ou absorvem energia ao mudar de um estado quântico para outro e a diferença de energia absorvida ou emitida entre a transição de dois estados, inicial e final, é denominada *quantum*. Logo o *quantum* é a quantidade de energia emitida pelo oscilador, expressa por:

$$E = h \cdot f$$

Com isso, Planck conseguiu derivar uma equação que relacionava intensidade de radiação, temperatura e comprimento de onda. Ao aplicar este método, Planck obteve uma expressão teórica para a distribuição de comprimentos de onda que apresentava uma excelente correspondência com as curvas experimentais:

$$I(\lambda, T) = \frac{2\pi hc^2}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda k_B T} - 1)}$$

onde h é a Constante de Planck = $6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s e k_B é a Constante de Boltzmann = $1,380 \cdot 10^{-23}$ J/K.

Ao incluir o parâmetro h Planck ajustou a curva de radiação de corpo negro para todos os comprimentos de onda. A partir das derivações da equação Planck são obtidas as equações encontradas por Wien e por Rayleigh-Jeans.

2.1.5 A Lei de Stefan-Boltzmann e a Lei de Wien aplicada a Astrofísica

Como vimos anteriormente, um corpo negro é um corpo ideal, hipotético, que se encontra em um corpo em equilíbrio térmico, mas, é preciso ressaltar que corpos negros não existem. Os corpos que podem ser considerados negros são aqueles que refletem somente uma pequena parte da radiação incidente. Segundo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pode-se comparar as estrelas a corpos negros para obter informações importantes sobre elas:

A Astrofísica aproveitou este conhecimento do seguinte modo: os telescópios medem a intensidade da radiação que chega de uma determinada fonte. Conhecendo essa intensidade e supondo que a fonte possa ser comparada a um corpo negro, podemos estimar quanta energia ela emite na frequência na qual estamos observando. Usando então a lei de Planck, determinamos a temperatura da fonte (INPE, 2020).

Logo, a radiação emitida por uma estrela não depende da sua composição química, apenas da sua temperatura.

De acordo com Napoleão (2018) para fins astronômicos pode-se determinar a intensidade de radiação emitida, o comprimento de onda máximo ou mesmo a temperatura superficial de uma estrela se utilizarmos as leis de Stefan-Boltzmann e a Lei de Wien.

No caso das estrelas, a intensidade da radiação costuma ser chamada de luminosidade. A luminosidade de uma de uma estrela esférica de raio R pode ser calculada por:

$$L = I \cdot 4\pi R^2$$

onde L é a luminosidade medida em W , I é a intensidade da radiação dada em W/m^2 e R é o raio da estrela em metros.

Dessa forma ao utilizar a Lei de Stefan-Boltzmann ($I = \sigma \cdot T^4$) na equação da luminosidade tem-se:

$$L = 4\pi \sigma R^2 T^4$$

Com essa equação, é possível perceber que a luminosidade de uma estrela é diretamente a sua temperatura e raio. A equação evidencia que a relação com a temperatura é ainda mais forte que o raio, já que a temperatura está elevada a quarta potência e o raio a segunda potência.

A partir da Lei Wien é possível determinar a relação entre a cor e a temperatura de uma estrela, conhecendo comprimento de onda de intensidade máxima. Como as estrelas são semelhantes a corpos negros, percebe-se que com o aumento da temperatura o pico máximo do comprimento de onda se encontra deslocado para a região do ultravioleta.

Por fim, ao analisar as relações propostas pela Lei de Wien e baseadas na Lei de Stefan-Boltzmann, pode-se concluir que estrelas azuis são maiores, mais luminosas e mais quentes que estrelas vermelhas.

2.1.6 Estrelas e a classificação espectral

As estrelas são consideradas esferas de plasma auto gravitantes, ou seja, formadas de gás ionizado com altas temperaturas. Sua fonte de energia é a transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e posteriormente em elementos mais pesados. (OLIVEIRA; SARAIVA, 2014, PÁG 227).

As estrelas não são todas iguais pois apresentam diferenças em suas propriedades fundamentais como luminosidade, massa, temperatura e composição química. Estas diferenças de propriedades podem ajudar a classificá-las.

Uma das formas de classificar as estrelas é através da sua massa, que apesar de útil é suficientemente eficaz para explicar a diversidade delas, por isso era necessário classificá-las de uma forma menos generalizada.

Então, os astrônomos perceberam que os espectros de absorção das estrelas apontavam as semelhanças e diferenças entre elas. Observaram que algumas estrelas possuíam linhas de absorção de hidrogênio bem-marcadas, enquanto outras não as apresentavam, porém mostravam linhas fortes indicando a presença de outros elementos.

Dessa forma, a primeira classificação espectral baseada na intensidade das linhas de hidrogênio no espectro de absorção das estrelas foi desenvolvida por um grupo de astrônomos liderados por Edward Pickering. Esta classificação foi desenvolvida pelo Observatório de Harvard e adotava a sequência alfabética A até P, sendo que estrelas tipo A apresentam linhas mais fortes de hidrogênio, que diminuíam de intensidade até chegar no tipo P (HETEM, 2011).

No início do século XX, devido ao entendimento da estrutura atômica, foi possível realizar um aperfeiçoamento da classificação espectral inicial, agora, levando em conta a temperatura superficial da estrela. A responsável por essa nova sequência foi Annie Jump Cannon, em 1910 (HETEM, 2011).

Na classificação proposta por Cannon, algumas letras foram retiradas e a ordem alfabética alterada, o que resultou O, B, A, F, G, K, M. Essa sequência internacionalmente conhecida recebe o nome de Classificação de Harvard e através das linhas do espectro de absorção do hidrogênio classifica as estrelas de acordo com a luminosidade em ordem decrescente de temperatura superficial. A Classificação de Harvard classifica as estrelas do tipo O como quentes e as do tipo M com as mais frias (NAPOLEÃO, 2018)

Além dessa classificação alfabética Cannon, subdividiu as classes espectrais em 10 grupos, numerados de 0 a 9. Estes subtipos, foram adicionados após a letra, e indicavam a temperatura superficial das estrelas do mesmo grupo, sendo o zero utilizado para classificar estrelas as mais quentes e nove para classificar as mais frias

Segundo Napoleão (2018), o trabalho de Annie Cannon e sua equipe, possibilitou a criação de um catálogo com mais de 395 mil estrelas. Este catálogo é conhecido como Catálogo HD (Henry Draper Catalogue) e a classificação nele utilizada, forma a base da espectroscopia estelar e são usados até os dias de hoje.

O quadro 2 exhibe os critérios para a Classificação Espectral de Harvard:

Quadro 2 - Classificação Espectral de Harvard

Tipo de Estrela	Cor	Comprimento de Onda Máximo (nm)	Temperatura (K)	Características Espectrais	Exemplo
O	Azul	72,5	> 30.000	Apresentam linhas de He II (hélio uma vez ionizado), ultravioleta forte e linhas do H I fracas.	Mintaka
B	Branco azulado	145	10.000 – 30.000	Apresentam linhas de He I e as linhas do H I visíveis.	Ringel
A	Branca	290	7.500 – 10.000	Apresentam linhas de H I muito fortes.	Veja
F	Branco amarelada	387	6.000 – 7.500	As linhas do H I ficam mais fracas, mas ainda são bem visíveis. As linhas do Ca II ficam fortes.	Procyon
G	Amarela	527	5.000 – 6.000	Apresentam linhas de metais fortes e H I fraco. Ca II (H e K) dominantes.	Sol
K	Laranja	725	3.500 – 5.000	Apresentam linhas metálicas dominantes. A banda G é muito forte e linhas de H fracas	Adebaran
M	Vermelha	966	< 3.500	Apresentam bandas fortes de moléculas (TiO); linhas fortes de metais neutros; linhas de H muito fracas	Betelgeuse

Fonte: adaptado de Napoleão, (2018)

A critério de conhecimento, cabe informar que três categorias adicionais, representadas pelas letras R, N e S foram elaboradas para classificar estrelas ricas em metais pesados.

2.1.7 - Diagrama H-R

O Diagrama Hertzsprung-Russel ou Diagrama H-R. foi proposto de forma independente pelos astrônomos Ejnar Hertzsprung, em 1911 e Henry Russel, em 1913, como uma relação entre a temperatura superficial e brilho da estrela (OLIVEIRA; SARAIVA, 2016).

Ao comparar estrelas de mesma classe espectral e que possuíam temperaturas semelhantes, Hertzsprung percebeu que estrelas mais brilhantes, possuíam linhas espectrais estreitas enquanto as estrelas menos brilhantes, possuíam as linhas espectrais mais largas. Eles constataram que a luminosidade de uma estrela diminuía de acordo com a classe espectral de O para M (HETEM, 2011).

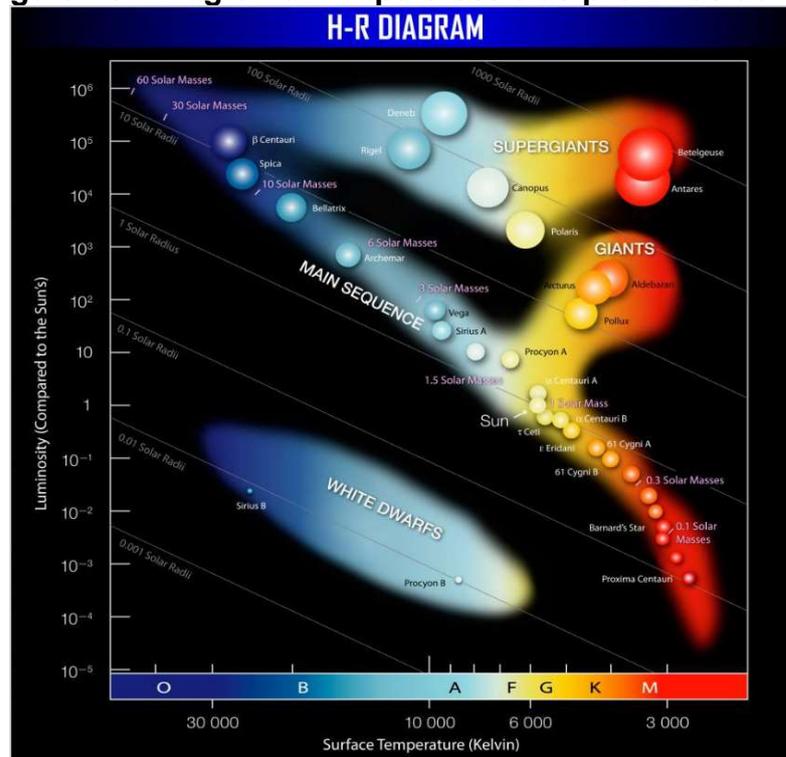
O diagrama H-R, representado na figura 10, relaciona a luminosidade de estrelas próximas ao Sol. No eixo das ordenadas (eixo y), com a classe espectral e a temperatura aumentando para a esquerda no eixo das abscissas (eixo x). O diagrama mostra ainda que as estrelas não se encontram espalhadas, mas concentradas em determinadas faixas. A maioria delas está localizada em uma faixa central, formando uma faixa diagonal. Esta faixa vai do canto superior esquerdo, onde encontram-se estrelas mais massivas, mais luminosas e mais quentes, ao canto inferior direito, onde se localizam as estrelas menos massivas, mais frias e menos luminosas se comparadas ao Sol.

Essa faixa diagonal é chamada de sequência principal e representa a fase evolutiva em que a estrela se encontra. As estrelas que fazem parte dessa sequência são chamadas de anãs e o que determina a presença dessas estrelas na faixa principal é a massa. (OLIVEIRA; SARAIVA, 2016).

O diagrama mostra ainda outras regiões: supergigantes, gigantes e anãs brancas. Essas regiões também indicam a fase estelar em que a estrela se encontra.

As estrelas classificadas como supergigantes, são estrelas mais luminosas e localizam-se na parte de cima da sequência principal. Já as estrelas mais luminosas e mais frias são chamadas de gigantes vermelhas e encontram-se na parte direita e acima da sequência principal. E na parte inferior esquerda da sequência principal encontram-se as anãs brancas que são estrelas pouco luminosas e relativamente quentes.

Figura 10 - Diagrama H-R para estrelas próximas ao Sol



Fonte: REIS (2011)⁹

Então, o diagrama H-R coopera para que se determine a fase evolutiva em que a estrela se encontra. No momento de formação inicial de uma estrela ela já possui uma posição definida na sequência principal do diagrama H-R devido às reações nucleares que ocorrem em seu interior transformando hidrogênio em hélio. No decorrer de sua evolução as estrelas migram da sequência principal para as outras regiões (supergigantes, gigantes e anãs brancas) devido a suas massas. (OLIVEIRA;SARAIVA, 2016).

2.1.8 - Classes de Luminosidade

Como já discutido, a Classificação Espectral de Harvard divide as estrelas em sete classes espectrais, alinhadas a 10 subclasses de acordo com características presentes nos espectros de absorção de cada uma delas. Entretanto, ele não descreve uma maneira de distinguir estrelas de mesma temperatura, mas com

⁹ REIS, N. Estrelas. **Astronomia, Astronáutica e Ciências Espaciais na Escola**, 2011. Disponível em: <https://educacaoespacial.wordpress.com/2011/11/09/estrelas/>. Acesso em: 21 de out. 2021.

luminosidades diferentes. Logo há uma certa dificuldade em distinguir estrelas que se encontram na sequência principal de estrelas localizadas nas outras regiões do diagrama H-R.

Segundo Napoleão (2018) para solucionar esse problema os astrônomos William Morgan e Philip Keenane do Observatório Yerkes desenvolveram uma classificação relacionada à luminosidade. Essa classificação ficou conhecida como Classificação Espectral de Yerkes ou Classificação MK.

Para diferenciar o tamanho das estrelas de mesma classe espectral, esses astrônomos observaram que existia uma relação entre a densidade da atmosfera das estrelas e sua luminosidade. As estrelas classificadas como anãs possuem atmosferas mais densas se comparadas às estrelas classificadas como gigantes e bem menos densas quando comparadas às estrelas consideradas anãs brancas (HETEM, 2011).

Com isso os astrônomos elaboram um esquema relacionando temperatura e luminosidade. A ideia desse esquema é complementar a Classificação de Harvard, para isso um numeral romano (I a IV) foi adicionado às classes espectrais já estabelecidas a fim de indicar a classe de luminosidade da estrela. O quadro 3 apresenta como classes foram nomeadas:

Quadro 3 - Classes de Luminosidade

Classe	Características
Ia	Supergigantes – Super luminosas
Ib	Supergigantes
II	Gigantes luminosas
III	Gigantes
IV	Subgigantes
V	Estrelas da sequência principal (anãs)

Fonte: Napoleão (2018)

2.1.9 Combustível das Estrelas:

No fim do século XIX, os astrônomos começaram a se perguntar como o Sol produz sua energia. Entre algumas hipóteses, pensaram que o Sol poderia ser movido a combustíveis tradicionais, como carvão, petróleo ou mesmo hidrogênio puro, mas os cálculos mostravam que um Sol movido a combustível comum não poderia durar mais do que a história humana escrita e também não seria possível emitir luz visível. Em outra hipótese sugeriram que a energia que do Sol era fruto da contração

gravitacional, ou seja, ao se contrair o Sol diminuía seu raio e transformava energia gravitacional em calor. Essa teoria ficou conhecida como Mecanismo de Kelvin-Helmholtz.

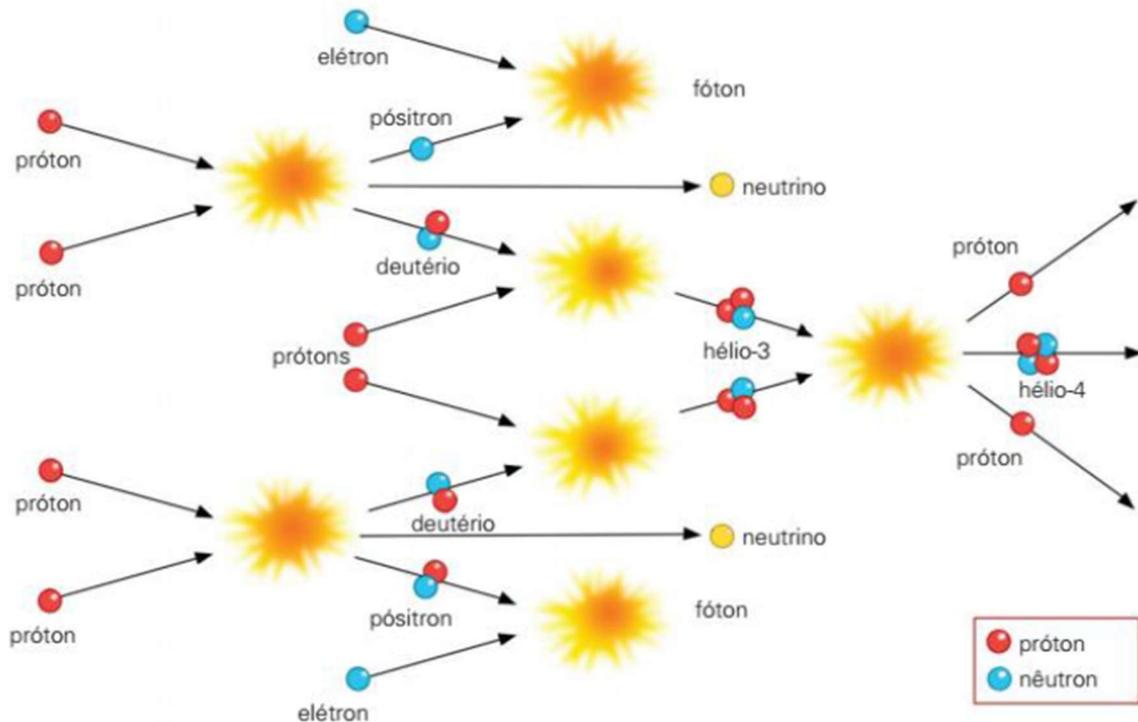
Contudo, essa teoria mostrou-se errada quando o físico Lord Kelvin William Thomson realizou alguns cálculos para tentar determinar a idade do Sol. Com esses cálculos Kelvin deduziu que a luz produzida através da contração gravitacional faria o Sol brilhar por um tempo estimado entre 20 e 100 milhões de anos. Com base nisso, ele considera que a hipótese de que o Sol seria movido pela contração gravitacional, era errada, já que o tem cerca de 4,6 bilhões de anos.

Já no início do século XX, as respostas sobre o processo de obtenção de energia nas estrelas se concentravam nas reações termonucleares. Nesse contexto, os cientistas acreditavam que o Sol e as demais estrelas produziam energia a partir de um processo conhecido como fusão nuclear (TYPLER; LLEWELLYN, 2006).

De acordo esse modelo, durante a sua formação o Sol se contraiu e atingiu uma temperatura muito alta, cerca de $1,5 \cdot 10^7$ K e isso desencadeou uma reação em que os átomos de Hidrogênio que ao se fundir formariam átomos de Hélio (TYPLER; LLEWELLYN, 2006). Os astrônomos e os físicos não conseguiam ainda propor uma teoria que explicasse como essa reação acontecia.

Assim, em 1939, o físico Hans Bethe apresenta uma teoria para explicar as reações termonucleares. Bethe demonstrou que a energia produzida no núcleo de uma estrela era o resultado da conversão de 4 (quatro) núcleos de hidrogênio em 1 (um) núcleo de hélio, liberando grandes quantidades de energia. O processo descrito é chamado de ciclo próton-próton, representado pela figura 11.

Figura 11 - Representação da fusão nuclear no ciclo próton-próton



Fonte: Pietrocola; et al; (2016, p.225)¹⁰

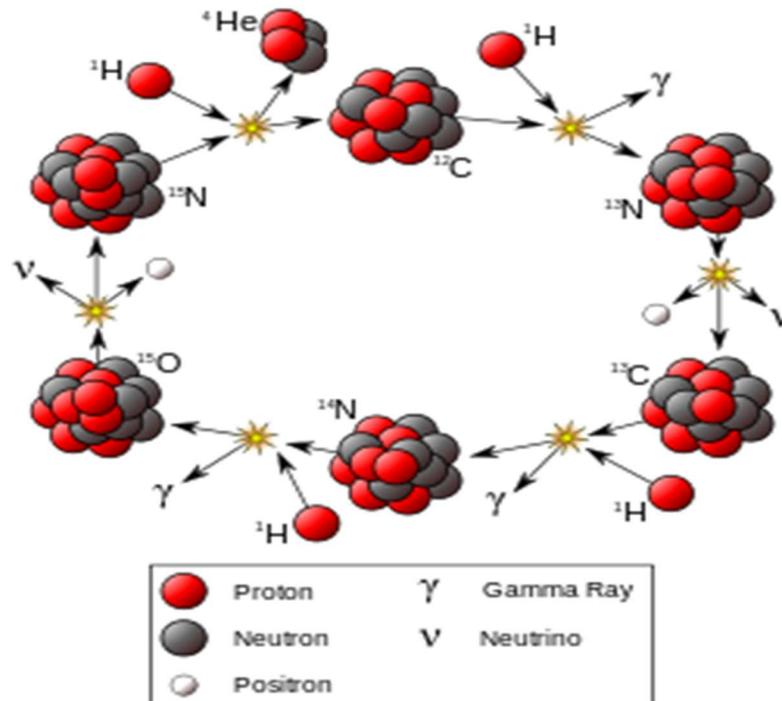
A figura 11 mostra que as reações de fusão nuclear ocorrem em três etapas. A reação se inicia com a colisão e a fusão de dois núcleos de hidrogênios ou prótons, formando um átomo de deutério, um pósitron e um neutrino que escapa rapidamente do núcleo estelar. Os pósitrons se aniquilam ao colidirem com o elétron e liberam energia na forma de raios de gama. A radiação gama é a responsável pelo aumento de temperatura de uma estrela. Os núcleos de deutérios formados colidem com um próton, gerando um núcleo leve de Hélio-3 (trítio) e mais radiação gama de alta energia. No último estágio dois núcleos de Hélio-3 interagem formando finalmente um núcleo de Hélio e mais dois hidrogênios, que estarão livres para recomençar o ciclo. Este processo ocorre predominantemente em estrelas com núcleos em que a temperatura chega a 15 milhões kelvins (HETEM, 2010).

Já em estrelas com temperaturas nucleares acima de 20 milhões de kelvins a energia nuclear é obtida através de reações nucleares que envolvem a fusão de quatro núcleos de hidrogênio para formar um núcleo de hélio, partindo de um núcleo de

¹⁰ PIETROCOLA, P. C.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em contextos** Volume 3. 1ª Edição. São Paulo. Editora do Brasil. 2016.

carbono. Esse mecanismo, representado pela figura 35, é chamado de ciclo do carbono ou ciclo CNO.

Figura 12 - Representação da fusão nuclear no ciclo CNO



Fonte: SATO (2021)¹¹

O ciclo CNO é mais complexo que o próton-próton, pois durante o processo de fusão nuclear é possível reconhecer seis etapas e a presença de catalisadores (carbono e o nitrogênio). Os dois ciclos apresentam um ponto em comum, tanto no ciclo próton-próton como no CNO o combustível para a reação é o hidrogênio e o produto dessa reação é o hélio.

Neste ciclo apresentado em sentido horário, um núcleo de carbono 12 colide com um próton formando nitrogênio 13 e radiação gama. O átomo de nitrogênio 13 é muito instável, sofre decaimento liberando um pósitron e um neutrino, formando carbono 13. O carbono 13 colide com um próton formando um núcleo de nitrogênio 14 e libera radiação gama. Esse núcleo de nitrogênio formado colide com outro próton originando um oxigênio 15 e radiação gama. O núcleo de oxigênio formado é um isótopo instável que também sofre decaimento formando nitrogênio 15, pósitron e um

¹¹SATO, E. Importante reação nuclear foi detectada pela primeira vez no Sol. **Instituto Principia**. 2021. Disponível em: <https://www.institutoprincipia.org/post/importante-rea%C3%A7%C3%A3o-nuclear-foi-detectada-pela-primeira-vez-no-sol>. Acesso em: 21 de out. 2021

neutrino. Por fim, esse isótopo de nitrogênio colide com o hidrogênio formando carbono 12 e hélio. E o ciclo se reinicia (HETEM, 2010).

2.2 Aprendizagem significativa, mapas conceituais e ueps

A partir de agora será feita uma revisão no que se refere a Teoria da Aprendizagem Significativa e Mapas Conceituais que fundamenta a construção da proposta pedagógica, usando como base as Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS).

2.2.1 - A Teoria da Aprendizagem significativa (TAS) de David Ausubel

A Teoria da Aprendizagem significativa (TAS) surgiu por volta de 1960, mais precisamente em 1963, quando David Ausubel publicou seus estudos pela primeira vez, de acordo com Cruz *et al* (2020) chama-se aprendizagem significativa, a aprendizagem em que o aluno atribui um valor, um significado ao conteúdo aprendido. Entretanto, antes de falar sobre a teoria, propriamente dita, é preciso considerar não só o que ela representa, mas o contexto na qual ela se insere. Por isso, é preciso retomar as propostas pedagógicas que surgiram antes dos anos 1960.

De modo geral, de acordo com Silva (2020) a formação pedagógica, até o final dos anos 1950, estava focada em uma educação técnica. Isso significa dizer que aos professores cabia a função de ensinar e, aos alunos, a de aprender. Esse processo era feito de forma mecanizada, sobretudo a partir da memorização de informações. A partir dos anos 1960, então, surgiram teorias que buscavam olhar para o processo de ensino-aprendizagem de maneira mais ativa. Dentre elas, como já foi dito, encontra-se a Teoria da Aprendizagem Significativa. Essas teorias promoveram uma mudança na forma de pensar o ensino e o papel do professor e do aluno.

Para Silva (2020) a Teoria da Aprendizagem Significativa originou-se a partir da insatisfação vivida por Ausubel em sua escolarização, que foi caracterizada pela ausência de condições que contribuíssem para seu desenvolvimento profissional e para a aprendizagem de novos conhecimentos pelos demais alunos. Essas experiências, pessoal e profissional, contribuíram para definir as linhas centrais da sua

teoria: fazer da escola o local para uso da capacidade de compreender e atribuir significados bem como focalizar a relevância do processo relacional na aquisição de conhecimentos.

Também chamada de a Teoria da Assimilação de David Paul Ausubel, ou Teoria da Aprendizagem Significativa, é uma teoria cognitivista e procura explicar os mecanismos internos que ocorrem na mente humana com relação ao aprendizado e à estruturação do conhecimento.

De acordo com alguns filósofos da educação, protagonistas da teoria de Aprendizagem Significativa, como Ausubel, Libâneo, Rogers, Alves, entre outros, os educadores, precisam estar atentos às dificuldades dos alunos e compreender que a aprendizagem é muito mais significativa à medida que o novo conteúdo é incorporado às estruturas de conhecimentos prévios e que em sua prática pedagógica não pode ser omisso diante dos fatos

Segundo Ausubel, Novak & Hanesian, (1968) *apud* Silva (2020) a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS) descreve o comportamento teórico do processo de aprendizagem cognitiva, a partir do raciocínio dedutivo do sujeito, baseado em seu conhecimento prévio. Isto é, mostra como o indivíduo aprende à medida que novos conhecimentos são incorporados em suas estruturas cognitivas, a partir dos conhecimentos prévios relevantes, integrando novas informações em um complexo processo pelo qual aquele que aprende adquire conhecimento.

Ainda de acordo com Silva (2020) a Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), proposta por Ausubel, enfatiza que o conhecimento prévio é o fator que mais influencia a aprendizagem dos alunos. Todavia, vale destacar que, apesar de sua influência, o conhecimento prévio é apenas uma condição necessária, mas não suficiente para que haja aprendizagem significativa de acordo com a TAS.

Segundo Ausubel (1980) embora uma teoria válida de aprendizagem não nos possa dizer como ensinar no sentido prescritível, pode oferecer pontos de partida mais viáveis para o ensino aprendizagem, isto significa que é a partir das teorias que se pode desenvolver noções de como os fatores decisivos na situação de aprendizagem podem ser manipulados com maior eficácia.

Para Cruz (2020) a TAS é uma teoria cognitivista que procura explicar os mecanismos internos que ocorrem na mente humana com relação ao aprendizado e à estruturação do conhecimento. A teoria de Ausubel se aproxima em alguns pontos da teoria de outro estudioso, Jean Piaget, pois, ambos acreditavam no valor da

aprendizagem por descoberta, entretanto, enquanto para Piaget o foco principal de pesquisa não era a aprendizagem que ocorria na sala de aula, para Ausubel concentra-se principalmente nesta questão, de modo que dos seus trabalhos percebe-se uma proposta concreta para o cotidiano acadêmico. Ausubel volta a valorizar a aula do tipo expositiva, que será o grande foco da sua pesquisa, pois são justamente as de técnicas e reflexões acerca da aula do tipo “tradicional”, e do tipo de enfoque, cuidado e trabalho ideais que um professor deveria ter neste contexto, no sentido de propiciar o melhor aprendizado possível para seus alunos.

A TAS se baseia em alguns conceitos relativos à aprendizagem, que conforme Faria (1989) se articulam. A estrutura cognitiva se reflete na aprendizagem que por sua vez pode ser mecânica ou significativa. E a aprendizagem significativa, por sua vez, pode ocorrer por recepção ou por descoberta.

A estrutura cognitiva, de acordo com Cruz (2020) é o conteúdo total e organizado de ideias de um dado indivíduo, ou, no contexto da aprendizagem de certos assuntos, e refere-se ao conteúdo e organização de suas ideias naquela área particular de conhecimento. Ou seja, a ênfase que se dá é na aquisição, armazenamento e organização das ideias no cérebro do indivíduo.

Para Ausubel a estrutura cognitiva de cada indivíduo, é extremamente organizada e hierarquizada, no sentido que as várias ideias se encadeiam de acordo com a relação que se estabelece entre elas. Além disso, é nesta estrutura que se ancoram e se reordenam novos conceitos e ideias que o indivíduo vai progressivamente internalizando, aprendendo (LIMA, 2011).

De acordo com Moreira e Masini (1982) a estrutura cognitiva se reflete na aprendizagem que, de acordo com Ausubel, consiste na “ampliação” da estrutura cognitiva, através da incorporação de novas ideias a ela. Dependendo do tipo de relacionamento que se tem entre as ideias já existentes nesta estrutura e as novas que se estão internalizando, pode ocorrer um aprendizado que varia do mecânico ao significativo.

Conforme Moreira (2010) a aprendizagem significativa tem lugar quando as novas ideias vão se relacionando de forma não-arbitrária e substantiva com as ideias já existentes, dessa forma entende-se que existe uma relação lógica e explícita entre a nova ideia e alguma outra já existente na estrutura cognitiva do indivíduo. Assim, por exemplo, entender o conceito do termômetro só será de fato significativo para o

indivíduo, de acordo com o autor, se de alguma forma houver uma clara relação entre este e o conceito de temperatura.

Além de não-arbitrária, Moreira (2010) diz que para ser significativa, a aprendizagem precisa ser também substantiva, ou seja, uma vez aprendido determinado conteúdo desta forma, o indivíduo conseguirá explicá-lo com as suas próprias palavras. Assim, um mesmo conceito pode ser expresso em linguagem sinônima e transmitir o mesmo significado.

Em oposição à aprendizagem significativa, tem-se a aprendizagem mecânica em que as novas ideias não se relacionam de forma lógica e clara com nenhuma ideia já existente na estrutura cognitiva do sujeito, as ideias são “decoradas”. Deste modo, são armazenadas de forma arbitrária, o que não garante flexibilidade no seu uso, nem longevidade.

Silva (2020) nos diz que para que a aprendizagem seja de fato significativa é importante que o aluno possua conhecimento prévio, entretanto, não é qualquer conhecimento prévio que irá influenciar o processo, mas os conhecimentos prévios relevantes presentes na estrutura cognitiva do sujeito, os quais foram chamados por Ausubel de subsunçores ou ideia-âncora, uma vez que são capazes de servir de ancoradouro a uma nova informação, de modo que ela adquira significado para o indivíduo.

Subsunçor é um termo que vem do verbo “subsumir” e que significa a incorporação de um indivíduo numa espécie, ou a inferência de uma ideia a partir de uma lei (VALADARES, 2011), logo,

subsunçor é, portanto, um conhecimento estabelecido na estrutura cognitiva do sujeito que aprende e que permite, por interação, dar significado a outros conhecimentos. Não é conveniente “coisificá-lo”, “materializá-lo” como um conceito, por exemplo. O subsunçor pode ser também uma concepção, um construto, uma proposição, uma representação, um modelo, enfim um conhecimento prévio especificamente relevante para a aprendizagem significativa de determinados novos conhecimentos (MOREIRA, 2012, p.4).

Igualmente, o conhecimento prévio se torna um elemento relevante que precisa estar presente na estrutura cognitiva do estudante, já que atua como uma âncora, com finalidade de atribuir significados aos novos conceitos ou informações, o que são chamados de “conceitos subsunçores”, desse modo, para Ausubel aprender significativamente, implica em aumentar o número de “links” feitos e, por conseguinte ampliar ideias já existentes, consolidando assim novos conceitos.

Ainda de acordo com Ausubel (1973) *apud* Silva e Schirlo (2014), quando o estudante não possui os chamados subsunçores, ou ainda quando os mesmos são insuficientes ou deficitários, se faz necessário o uso de organizadores prévios, que podem então servir, como ativadores de tais subsunçores. Para Moreira e Masini (2006), os organizadores prévios que podem ser usados, vão desde textos, filmes, mapas conceituais, esquemas, fotos, desenhos, até perguntas, e serão aplicadas e apresentadas aos estudantes, de forma geral, permitindo assim a integração dos novos conceitos aprendidos, facilitando a interação desta nova informação com o conhecimento já existente. É importante ressaltar que o organizador prévio não se trata de um resumo, porém, segundo Ausubel (1973) *apud* Silva e Schirlo (2014), o mesmo necessita ser genérico para que seja então capaz de realizar a conexão da nova ideia, atuando então, como um elo com a estrutura hierárquica de conhecimento prévio do estudante.

De acordo com Moreira (2011), organizadores prévios podem ser adotados também para retomar significados que por algum motivo foram esquecidos no momento, mas que permanecem na estrutura cognitiva do estudante. Mas, principalmente para estabelecer relações entre ideias, proposições e conceitos já existentes na estrutura cognitiva e aqueles contidos no material de aprendizagem.

Os organizadores prévios, são importantes na aprendizagem e na retenção das informações, entretanto, não são capazes de suprir a deficiência de subsunçores. Os organizadores prévios também chamados de facilitadores de aprendizagem, ou melhor, ainda: facilitadores programáticos da aprendizagem significativa são responsáveis por criar um ambiente propício à aquisição de novas informações e, assim, facilitar a aprendizagem.

Ainda de acordo com Moreira (2011) caso o estudante não seja dotado de nenhum conhecimento prévio, com relação ao conteúdo que lhe será apresentado, surge então a necessidade de que professor lhe apresente o novo conteúdo, ao passo que, se o conhecimento existe, mas está inativo, mais uma vez o professor tem a responsabilidade de ativar o conhecimento existente antes de inserir novos conhecimentos.

Nesse sentido, observa-se que na Teoria da Aprendizagem Significativa, acontece uma reestruturação na estrutura cognitiva do estudante, modificando de forma profunda suas concepções e dimensões, no qual cada novo conhecimento possui também um novo significado, que serve de base para a aquisição de

conhecimentos novos no futuro, fica também claro que para que se alcance esta aprendizagem requerida, o professor pode e deve utilizar recursos didáticos que sejam significativos para os estudantes.

De acordo com Santos (2005) a estrutura cognitiva do estudante pode ser modificada por meio de princípios relativos à programação eficiente do conteúdo e são aplicáveis, independentemente da área de conhecimento. Esses princípios são chamados por Ausubel de: diferenciação progressiva, reconciliação integradora, organização sequencial e consolidação ou acomodação.

O primeiro princípio é denominado de diferenciação progressiva e relaciona-se com as ideias mais gerais e inclusivas da matéria de ensino que devem ser apresentadas no início de cada seção ou atividade de ensino. Em seguida, os casos particulares associados a este material instrucional são progressivamente diferenciados. O segundo princípio é chamado de reconciliação integradora é responsável pela exploração de relações entre proposições e conceitos, por alertar para diferenças e similaridades importantes e reconciliar inconsistências reais e aparentes. Quanto ao terceiro princípio, a organização sequencial, pode permitir a maximização das ideias-âncora relevantes para o uso na aprendizagem significativa e retenção devido às dependências sequenciais apresentadas na matéria de ensino e o fato de que determinado tópico é compreendido a partir do entendimento de um tópico anterior (MOREIRA, 1985).

A consolidação, como quarto princípio, de acordo com Moreira e Masini (1982) indica que se deve passar para um novo tópico apenas quando o atual já está consolidado.

Conforme Moreira (1999) para que a aprendizagem significativa ocorra são necessárias duas condições, a primeira é que o material a ser aprendido seja relacionável à estrutura cognitiva do aprendiz de modo não arbitrário. Esse tipo de material, Ausubel chama de potencialmente significativo. A segunda é que o estudante esteja disposto a aprender, isto é, que esteja disposto a relacionar o material à sua estrutura cognitiva.

O material de aprendizagem é potencialmente significativo, pois a atribuição de significado cabe ao sujeito, logo, não há aula, estratégia ou livro significativo. O material potencialmente significativo é aquele capaz de dialogar, de maneira apropriada e relevante, com o conhecimento prévio do estudante (BRASIL, 2020).

Nesse sentido, a mediação do professor é tão fundamental quanto os materiais utilizados, uma vez que o estudante pode não possuir os subsunçores adequados. Assim, reforça Moreira (2012) a necessidade da predisposição para aprender não é uma simples questão de motivação ou identificação com o componente, mas uma predisposição para relacionar-se com novos conhecimentos atribuindo-lhes significados. Sendo assim, essa condição convida o docente a acolher as ideias prévias dos estudantes, ainda que sejam insatisfatórias, para, a partir delas, construir situações de aprendizagem capazes de promover a atribuição de significados aos temas tratados.

Ausubel distingue três tipos de aprendizagem significativa, sendo elas: a representacional que é o tipo mais básico de aprendizagem e dela dependem todos os outros. Este tipo de aprendizagem envolve a atribuição de significados a determinados símbolos. O segundo tipo de aprendizagem, de acordo com Moreira (1999) é a aprendizagem de conceitos, que de certa forma é também representacional uma vez que os conceitos também são representados por símbolos.

E por último, a aprendizagem representacional, que conforme Moreira (1999), de modo contrário a aprendizagem representacional a ideia não é aprender palavras isoladas, mas sim aprender o significado de ideias em forma de proposição. As aprendizagens representacional e conceitual são pré-requisito para a proposicional, mas o significado de uma proposição não é a soma dos significados dos conceitos e palavras nela envolvidos.

No que diz respeito à facilitação programática da aprendizagem significativa, Ausubel (1968) *apud* Spohr *et al* (2019) propõem quatro princípios programáticos do conteúdo: diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, organização sequencial e consolidação ou acomodação.

A Aprendizagem Significativa também pode possuir uma das seguintes naturezas: ser subordinada quando a informação nova é assimilada pelo subsunçor passando a alterá-lo. Também pode ser superordenada, ou seja, a informação nova é ampla demais para ser assimilada por qualquer subsunçor existente, sendo mais abrangente que estes e então passa a assimilá-los, e por fim combinatória, quando a informação nova não é suficientemente ampla para absorver os subsunçores mas em contrapartida é muito abrangente para ser absorvida por estes. Assim para a se associar de forma mais independente aos conceitos originais.

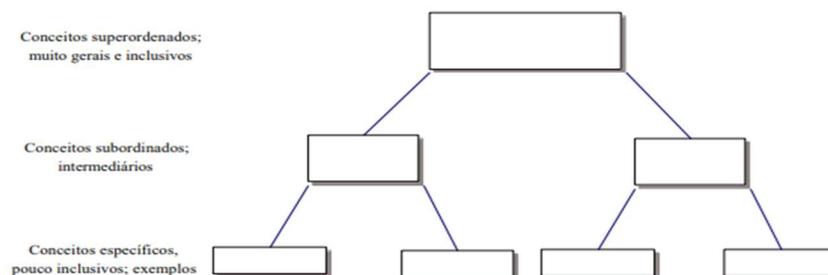
2.2.2 - Mapas conceituais

Os mapas conceituais foram criados pelo professor Joseph D. Novack, colaborador de David Ausubel, na década de 1970. Segundo Moreira (2012) a proposição de mapas conceituais funciona como uma estratégia potencialmente facilitadora de uma aprendizagem significativa. De um modo geral, são mapas ou diagramas indicando relações entre conceitos ou palavras usadas para representar conceitos principalmente das áreas das Ciências.

Embora normalmente tenha uma organização hierárquica e, muitas vezes, incluam setas, tais diagramas não devem ser confundidos com organogramas ou diagramas de fluxo, pois não implicam sequência, temporalidade ou direcionalidade, nem hierarquias organizacionais.

Para contemplar essa organização hierárquica, devemos partir de um conceito mais amplo e mais inclusivo, localizado na parte superior do mapa e descer verticalmente para baixo onde estarão localizados os conceitos mais específicos e menos inclusivos, como mostra a figura 13.

Figura 13 - Modelo para um mapa conceitual



Fonte: Moreira e Masini, 1982

Além da hierarquização, um mapa conceitual é constituído de três elementos básicos: formas geométricas (retângulos, círculos, elipses), setas e proposições ou palavras conectivas. No interior das formas geométricas devem ser escritos os conceitos. As setas devem apontar a direção e o sentido da ligação entre os conceitos. Sobre as setas são escritas as proposições ou palavras chaves, que permitem identificar e/ou descrever ligação entre os conceitos, bem como auxiliar a leitura dos mapas.

Para Moreira e Buchweitz (1993), esta é uma técnica bastante flexível e por essa razão pode ser usada em diversas situações e para diferentes finalidades como

instrumento de análise do currículo, técnica didática, recurso de aprendizagem e meio de avaliação. De acordo com Moreira (2012):

Na medida em que os alunos utilizarem mapas conceituais para integrar, reconciliar e diferenciar conceitos, na medida em que usarem essa técnica para analisar artigos, textos capítulos de livros, romances, experimentos de laboratório, e outros materiais educativos do currículo, eles estarão usando o mapeamento conceitual como um recurso de aprendizagem (MOREIRA, 2012; p. 5).

A elaboração de mapas conceituais e a sua interpretação vão além da simples visualização de informações gráficas, pois também envolve habilidades de leitura e interpretação. Aliado a isso, têm-se uma informação visual, que de acordo com Monteiro e Campos (2010) é interpretada por cada um dependendo da bagagem psicológica, cultural e social, e são estes aspectos que irão definir como são relacionados os fatos e o modo como são interpretados. A partir daí, cada leitor mobiliza os conhecimentos prévios a respeito do tema e os novos significados surgem a partir da interpretação ressignificando e reestruturando novos conceitos.

A união de imagens com leitura, organizadas por meio de gráficos, tem como principal foco a organização visual de informações e conceitos que facilitam a compreensão e a interligação entre eles. Essas estruturas, chamadas de mapas conceituais, são baseadas na TAS desenvolvida por Ausubel.

Para Moreira (2012) de acordo com a teoria ausubeliana os mapas conceituais podem evidenciar a aprendizagem significativa e assim:

1) identificar a estrutura de significados aceita no contexto da matéria de ensino; 2) identificar os subsunçores (significados) necessários para a aprendizagem significativa da matéria de ensino; 3) identificar os significados preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz; 4) organizar sequencialmente o conteúdo e selecionar materiais curriculares, usando as ideias de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa como princípios programáticos; 5) ensinar usando organizadores prévios, para fazer pontes entre os significados que o aluno já tem e os que ele precisaria ter para aprender significativamente a matéria de ensino, bem como para o estabelecimento de relações explícitas entre o novo conhecimento e aquele já existente e adequado para dar significados aos novos materiais de aprendizagem (MOREIRA, 2012; p. 6).

Por meio dessa teoria Ausubel propõe que a base do processo de ensino aprendizagem é a relação entre o conhecimento prévio e as informações advindas dos estudos, por meio do confronto dessas informações novos conhecimentos são gerados resultando no aprendizado (Moreira, 2010).

Dessa forma, os organizadores gráficos, mais precisamente os mapas conceituais, foram criados com o objetivo de auxiliar na organização do pensamento, no cruzamento de conhecimentos prévios e novos, e as conexões entre si, além de permitirem a visualização gráfica e a aprendizagem ativa do aluno.

2.2.3 Como elaborar um mapa conceitual

Moreira (2012) sugere pontos que devem ser observados para a elaboração de um mapa conceitual.

1. Monte uma lista com os conceitos-chave do conteúdo que será utilizado na elaboração do mapa. O ideal é elencar entre 6 e 10 conceitos.
2. Ordene os conceitos escolhidos, colocando o(s) conceito(s) mais geral(is) no topo do mapa e vá adicionando o(s) mais específico(s), contemplando a diferenciação progressiva até completar o diagrama.
3. O número de conceitos deve ser equivalente ao conteúdo que se deseja mapear. Se deseja mapear os conceitos de um parágrafo, logo o número de termos será delimitado por ele, agora se além do parágrafo for possível incluir seu conhecimento sobre o assunto, o mapa será enriquecido com mais conceitos específicos.
4. Conecte os conceitos com linhas. Sobre as setas ou linhas utilize uma palavra, de preferência um verbo, que conecte os termos e forme uma frase simples, para que seja possível realizar a leitura do mapa de cima para baixo.
5. No lugar de linhas, setas poderão ser usadas para indicar o sentido da relação entre os conceitos. Cuidado, o uso de muitas setas pode transformar o mapa conceitual em um diagrama de fluxo.
6. Busque propor relações cruzadas e horizontais e evite palavras que indiquem relações corriqueiras.
7. Utilize exemplos abaixo dos conceitos correspondentes, mantendo-os na parte inferior do mapa.
8. Caso perceba que o mapa contém poucos conceitos ou que os mesmos estejam mal relacionados, comece de novo, reconstrua o mapa.
9. Não há uma única forma de hierarquizar conceitos em um mapa conceitual. Nem toda ligação precisa ser de cima para baixo, você pode criar conexões cruzadas, com

setas ou linhas em todas as direções. O importante é que o mapa seja um instrumento capaz de evidenciar significados e relações entre os conceitos.

10. Não se preocupe com “começo, meio e fim”, o mapa conceitual é estrutural, não sequencial. O mapa deve refletir a estrutura conceitual hierárquica do que está mapeado.

11. Compartilhe seu mapa conceitual com outras pessoas e examine o mapa conceitual delas. Troquem significados, conversem sobre os conceitos, a relação entre eles, a localização deles no mapa. O mapa é um ótimo instrumento para evidenciar a aprendizagem significativa.

2.2.4 - Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS)

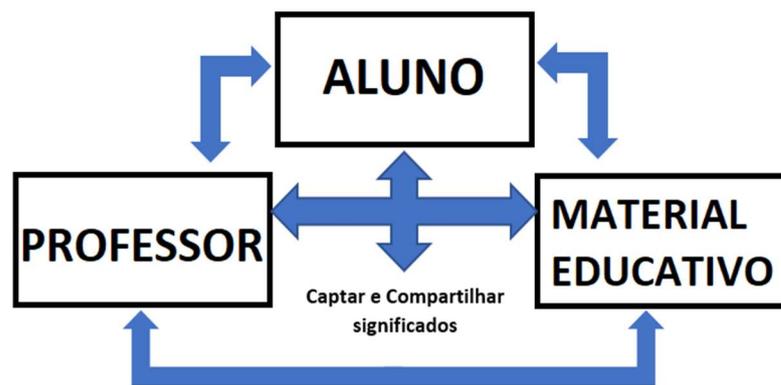
As Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) são definidas como sequências de ensino, que utilizam como marco teórico a aprendizagem significativa na perspectiva de David Ausubel. Por estarem de acordo com a TAS, essas sequências de ensino consideram o conhecimento prévio a variável mais importante no processo de aprendizagem e reforçam a necessidade da escolha de materiais potencialmente significativos, capazes de oferecer significado lógico, bem como despertar no estudante a disposição em aprender. (MOREIRA, 2011).

As UEPS foram propostas por Marco Antônio Moreira como um recurso facilitador da aprendizagem significativa que devem ser elaboradas para tópicos específicos do conhecimento. Além disso, Paulo (2013) explica que as UEPS se constituem como uma alternativa ao ensino tradicional e mecânico, que valoriza a recepção e memorização de conteúdos disponibilizados pelo professor.

Estas sequências de ensino seguem uma série de princípios norteadores para o desenvolvimento da prática pedagógica e promoção da aprendizagem, entre eles destacamos a necessidade de se levar em conta aquilo que o estudante já sabe, considerar as suas relações sociais, reconhecer a presença de organizadores prévios, utilizar situações problema capazes de despertar a predisposição em aprender ou que sirvam como organizador prévio, apresentar situações problema com níveis crescentes de complexidade afim de buscar indícios da aprendizagem significativa contemplando a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação (MOREIRA, 2011).

Outro princípio da UEPS que deve ser destacado, é a relação de tríade entre professor, aluno e o material educativo. Essa relação interativa, representa o papel do ensino durante as aulas, têm a função de conduzir o estudante a captação e ao compartilhamento de significados como representado na figura 14. Para isso, a interação social e a linguagem são fatores determinantes. Este princípio de acordo com Moreira (2011) vai de encontro ao pensamento de Gowin e Vygotsky.

Figura 14 - Representação da interação de tríade proposta por Gowin



Fonte: Autoria própria (2021)

Ao observar a relação proposta no princípio anterior, é possível salientar o papel do professor na elaboração e no desenvolvimento da UEPS e de acordo com Paulo (2013),

[...] o professor não deve se esquecer do seu verdadeiro papel no processo, qual seja, o de provedor de situações problema cuidadosamente selecionadas, o de organizador e mediador da captação de significados por parte do aluno. Todas essas ações se voltam para uma aprendizagem significativa crítica e não mecânica, portanto, deve ser levado em consideração a utilização de materiais instrucionais diversos e estratégias que privilegiem um ensino centrado no aluno e não no professor. (PAULO, 2013, p. 24)

Por se tratar de sequências de ensino, as UEPS possuem etapas a serem desenvolvidas, além disso segundo Souza e Pinheiro (2019) elas também devem possuir “encaminhamentos metodológicos para o desenvolvimento de uma prática de ensino capaz de atribuir significado àquilo que se aprende, promovendo a aprendizagem significativa”.

Dessa forma, Moreira (2011) apresenta oito etapas sequenciais a serem seguidas para elaboração de uma UEPS, apresentadas de forma resumida no quadro 4.

Quadro 4 - Etapas e aspectos sequenciais para a elaboração de uma UEPS

Etapa	Identificação da Etapa	Aspectos sequenciais
Etapa 1	Apresentação do tema	Esta etapa consiste em definir o tópico a ser trabalhado, identificando seus aspectos declarativos e processuais, ou seja, é momento de elencar os conteúdos que serão abordados, como serão abordados e recursos que serão utilizados.
Etapa 2	Levantamento dos conhecimentos prévios	Esta etapa, trata de criar situações que possibilitem ao aluno externalizar seu conhecimento prévio. Para isso o professor poderá utilizar de questionários, mapas conceituais, mapas mentais, discussões e outros
Etapa 3	Proposição de uma situação problema	A terceira etapa é marcada pela proposição de uma situação problema de nível introdutório que leve em consideração os conhecimentos prévios dos estudantes e sirvam de base para a introdução dos conceitos. As situações problema propostas nesta etapa podem funcionar como organizador prévio e devem dar sentido aos novos conhecimentos. Elas podem ser apresentadas a partir de simulações, questionamentos, vídeos, entre outros.
Etapa 4	Diferenciação progressiva	Esta etapa consiste na apresentação dos conteúdos em um nível introdutório, levando em consideração a diferenciação progressiva. Ela tem por objetivo apresentar uma visão geral, apontando o que é mais importante na UEPS. Para isso o professor pode lançar mão de uma aula expositiva e dialogada, utilizando atividades em grupo e finalizando com um debate.
Etapa 5	Aprofundamento dos conceitos	A quinta etapa deve iniciar com a retomada e a reapresentação dos conteúdos já discutidos, por meio de uma explicação expositiva ou de um outro recurso. Em seguida deve ocorrer a apresentação de outra situação problema, mas com nível de complexidade maior que a primeira. Essa nova situação problema deve ser capaz de exemplificar, apontar semelhanças e diferenças ao que foi trabalhado. Durante esta etapa é indicado a aplicação de uma outra atividade colaborativa que promova a integração entre os estudantes envolvendo a negociação de significados e o professor como mediador do processo. A atividade pode ser um mapa conceitual, um diagrama V, um experimento.
Etapa 6	Reconciliação integradora	Esta etapa, se encaminha para a finalização da unidade, dessa forma deve-se seguir com o processo de diferenciação progressiva através da retomada dos conceitos buscando a reconciliação integradora. A retomada deve ser realizada a partir de uma nova apresentação de significados e para isso o professor pode utilizar diversas estratégias como: uma breve explicação

		oral, a leitura de um texto, recursos computacionais, vídeos ou áudios. É importante ressaltar que a estratégia não é o mais relevante e sim o modo como se trabalha o conteúdo da UEPS. Nesta etapa os estudantes devem, em grupo, resolver novas situações problema com maior complexidade e por fim discutir suas observações em um grande grupo com o professor no papel de mediador.
Etapa 7	Avaliação	Em uma UEPS a avaliação da aprendizagem não é pontual, ela deve ser contínua, formativa e processual para que possa apontar indícios de aprendizagem significativa. Por isso ela deve ser realizada ao longo de toda a implementação e deve contemplar momentos individuais a partir do sexto passo.
Etapa 8	Efetividade da UEPS	Esta é a etapa de análise dos resultados das avaliações de desempenho realizadas pelos estudantes ao longo da UEPS. Para que uma unidade de ensino possa ser considerada exitosa é preciso que as atividades desenvolvidas em seu decorrer forneçam dados ou apontem indícios de aprendizagem significativa, como, a capacidade de explicar conceitos, de atribuir significado e a aplicação de conceitos para resolver situações problema.

Fonte: adaptado de Moreira (2011)

Moreira (2011) aponta, além dos aspectos sequenciais, aspectos transversais que devem ser considerados ao se elaborar uma UEPS. Em todas as etapas é primordial a escolha de materiais e estratégias diversificadas que privilegiem o questionamento às respostas memorizadas, a resolução de problemas, a troca de significados, o diálogo e as atividades em grupo, o que não quer dizer que a UEPS não possa prever momentos de atividades individuais. Além disso, no decorrer da implementação o professor pode pedir aos estudantes que proponham, como tarefa, situações problema relacionadas ao conteúdo que está sendo discutido.

Assim considera-se, que a elaboração de uma UEPS, tem como objetivo fornecer subsídios aos professores para a criação de um material potencialmente significativo, pois através dela os docentes podem escolher diversos recursos e materiais além de organizar e sistematizar os conteúdos e assim procurar reconhecer indícios da aprendizagem significativa.

3 ENCAMINHAMENTO METODOLÓGICO

3.1 Caracterização do trabalho

O produto educacional, está pautado nos pressupostos da pesquisa qualitativa, que segundo Minayo (2009) tem como objetivo responder questões de nível particular, que não podem ou não devem ser quantificados.

A pesquisa qualitativa apresenta um caráter subjetivo pois está relacionada aos significados, motivações, intenções, crenças, valores e atitudes dos sujeitos. Este tipo de pesquisa utiliza dados em forma de texto, palavras, imagens, vídeos, áudios para compreensão do fenômeno estudado e não métodos e técnicas estatísticas.

É a partir da diferença na forma de coleta que uma pesquisa pode ser definida como quantitativa ou como qualitativa. Minayo (2009) esclarece que a principal diferença entre as duas formas está na natureza. Enquanto a pesquisa quantitativa se ocupa em descrever através de estatísticas os fenômenos estudados, a pesquisa qualitativa propõe-se a analisar dados que não podem ser mensuráveis ou quantificáveis:

A diferença entre qualitativo-quantitativo é de natureza. Enquanto cientistas sociais que trabalham com estatística apreendem dos fenômenos apenas a região “visível, ecológica, morfológica e concreta”, a abordagem qualitativa aprofunda-se no mundo dos significados das ações e relações humanas, um lado não perceptível e não captável em equações, médias e estatísticas (MINAYO, 2009, p. 22).

Para Bogdan e Biklen (1994), independente dos instrumentos de coleta de dados, sejam eles: blocos de anotações, esquemas e diagramas, áudio ou vídeo a pesquisa qualitativa deve apresentar cinco características:

1. Na investigação qualitativa a fonte direta de dados é o ambiente natural, constituindo o investigador o instrumento principal.
2. A investigação qualitativa é descritiva.
3. Os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos.
4. Os investigadores qualitativos tendem a analisar os seus dados de forma indutiva.
5. O significado é de importância vital na abordagem qualitativa (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 51).

De acordo com Dias (1999) a pesquisa qualitativa utiliza métodos menos estruturados, capazes de proporcionar um relacionamento mais longo e flexível entre o pesquisador e os participantes, além disso dados obtidos são mais subjetivos, amplos e apresentam mais detalhes do tema estudado quando comparados aos métodos quantitativos. Destaca-se ainda o papel do pesquisador que se encontra imerso no contexto e atua como um interpretador da realidade.

Nesse sentido, o presente trabalho constitui-se como uma pesquisa qualitativa, descritiva e translacional, visto que o enfoque está no relato de experiência a partir da implementação da proposta de ensino elaborada. Nesse trabalho os dados foram construídos a partir de questionário e mapas conceituais. Para a análise dos dados foram utilizados os pressupostos da pesquisa qualitativa descritiva e interpretativa.

A proposta foi desenvolvida como um curso de extensão gratuito com certificação de 30 horas em parceria com o Departamento de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) *Campus* de Campo Mourão e os Núcleos Regionais de Educação (NRE) de Campo Mourão e Maringá, sob o título “Astrofísica básica para professores: Uma proposta de Ensino a partir da aprendizagem significativa”.

Inscreveram-se para o curso 77 professores da área de Ciências da Natureza e Matemática, sendo que destes, 48 professores participaram de todos os encontros agendados.

Os encontros se deram de forma online, pois a implementação da proposta se deu durante o período de pandemia no Brasil e uma das medidas de combate a proliferação da COVID-19 é o isolamento social. A proposta foi construída utilizando os princípios da aprendizagem significativa e os aspectos sequenciais da UEPS.

A aplicação do trabalho se deu sete encontros, sendo realizado um encontro por semana, sempre às quartas-feiras, no período noturno, das 19h às 21h30. O primeiro encontro aconteceu no dia 14 de outubro de 2020 e o último em 25 de novembro de 2020.

No quadro 5 encontra-se a organização de cada encontro:

Quadro 5 - Organização dos encontros

Encontro	Etapa e Assunto de trabalho por encontro
1º Encontro (14/10)	<p style="text-align: center;">Apresentação e Fundamentos da Proposta</p> <ul style="list-style-type: none"> - Aprendizagem significativa; - Mapas conceituais;
2º Encontro (21/10)	<p style="text-align: center;">Diferenciação</p> <ul style="list-style-type: none"> - Construção de um mapa conceitual inicial; - Astrofísica enquanto campo da ciência; - A Luz visível; - Espectro eletromagnético; - Espectroscopia; - Modelo atômico de Bohr
3º Encontro (28/10)	<p style="text-align: center;">Aprofundamento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Radiação de corpo negro; - Relação entre comprimento de onda e temperatura; - Relação entre intensidade da radiação e temperatura.
4º Encontro (04/11)	<p style="text-align: center;">Aprofundamento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Espectros estelares; - Classes espectrais;
5º Encontro (11/11)	<p style="text-align: center;">Aprofundamento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Montagem e discussão sobre o espectroscópio
6º Encontro (18/11)	<p style="text-align: center;">Aprofundamento</p> <ul style="list-style-type: none"> - Estrelas; - Combustível das estrelas; - Diagrama HR - Evolução Estelar
7º Encontro (25/11)	<p style="text-align: center;">Finalização</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definição de UEPS; - Etapas da UEPS; - Verificação da Efetividade. - Construção do Mapa conceitual final;

Fonte: Autoria própria (2021)

Para a constituição dos dados deste trabalho foram utilizados, mapas conceituais construídos no primeiro e no último encontro, interações (perguntas e

respostas) dos professores durante os encontros, diário de campo produzido pela pesquisadora e um questionário proposto ao fim da implementação da proposta com o objetivo de verificar a efetividade e as relações estabelecidas com o tema apresentado.

Para a análise e interpretação dos dados constituídos utilizamos os pressupostos da pesquisa qualitativa de Robert K. Yin (2016). O referido autor sugere a adoção de cinco fases para a análise dos dados qualitativos, são elas: compilação; decomposição; recomposição; interpretação e conclusão.

A fase da compilação de acordo com Yin (2016), exige uma organização cuidadosa e metódica dos dados originais, pois de acordo com ele “dados mais organizados levarão a análises mais robustas e fundamentalmente a uma pesquisa qualitativa mais rigorosa” (YIN, 2016, p. 163).

A segunda etapa requer: [...] decompor os dados compilados em fragmentos ou elementos menores, o que pode ser considerado um procedimento de decomposição. O procedimento pode (mas não precisa) ser acompanhado por uma atribuição de novos rótulos ou “códigos”, aos fragmentos ou elementos (YIN, 2016, p. 159).

Na terceira etapa, denominada recomposição, faz-se necessário o pesquisador interrogar a si mesmo e questionar seus dados buscando encontrar diferentes arranjos e combinações oriundas das informações obtidas, que lhe possam permitir uma maior visibilidade e compreensão analítica.

A quarta fase refere-se à interpretação dos dados que foram recompostos na etapa anterior. Esta etapa, segundo Yin (2016), é o momento em que o pesquisador por meio de sua habilidade interpretativa cria uma narrativa com tabelas e gráficos quando pertinentes, que se tornarão a parte analítica fundamental.

Por fim, a quinta e última fase refere-se a conclusão, momento em que se busca extrair uma compreensão completa sobre a pesquisa.

3.2 Proposta de ensino apresentada como produto educacional

Este trabalho visa apresentar uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) sobre conteúdos de Física Moderna e Astrofísica.

A UEPS foi dividida em quatro módulos, com etapas que correspondem aos oito passos citados acima, o tema escolhido foi a espectroscopia. Além disso, por se tratar de uma atividade voltada ao ensino remoto, sugere-se que ela deva ser organizada em uma sala de aula online no *Google* do Sala de Aula, a fim de disponibilizar os materiais, atividades, textos, vídeos, recursos e avaliação necessários para o desenvolvimento da proposta. No quadro 6 encontra-se a organização de cada módulo da nossa proposta.

Quadro 6 - Organização dos Módulos da UEPS:

MÓDULO	Etapas da UEPS	Modalidade	Descrição da atividade
MÓDULO 1	Apresentação do tema	Assíncrona (1 hora/aula)	- O professor deverá postar um vídeo, no ambiente virtual selecionado com as apresentações iniciais do tema e sobre o desenvolvimento do trabalho (Convite).
	Levantamento dos conhecimentos prévios		- Aplicação de um questionário inicial com o objetivo realizar o levantamento dos conceitos prévios (Atividade 2).
MÓDULO 2	Organizadores prévios	Síncrona (2 horas/aulas)	- Explicar aos estudantes o que é um mapa conceitual, seu objetivo e como se constrói; - Solicitar que cada estudante confeccione um mapa conceitual a partir da palavra ASTROFÍSICA;
	Proposição de uma situação problema		- Apresentação e discussões da situação problema inicial: Como é possível saber o que tem dentro do Sol se não há nenhum equipamento, que já tenha chegado à superfície desta estrela? (Atividade 2)
	Diferenciação progressiva	Síncrona (2 horas/aulas)	- Aula expositiva e dialogada sobre os conceitos de Física: espectro eletromagnético, espectroscopia e átomo de Bohr. - Retorno a situação problema para uma nova resposta e/ou reformular a resposta inicial. - Atividades propostas (assíncrona – Atividade 3).
MÓDULO 3	Aprofundamento dos conceitos	Assíncrona e Síncrona (2 horas/aula)	- Assíncrona: Cada aluno deverá assistir aos vídeos disponibilizados no ambiente virtual e responder as atividades de cada aula (Atividades 4 e 5). Serão 2 (duas)

			<p>videoaulas: Aula 1: Relação entre Cor e Temperatura e a Aula 2: Classes Espectrais e Fonte de Energia da Estrelas;</p> <p>- Síncrona: Após os estudantes assistirem aos vídeos o professor realizará uma aula expositiva e dialogada, para discutir os conceitos de Física explorados nos vídeos, esclarecer as dúvidas e propor a construção de um novo mapa conceitual.</p>
MÓDULO 4	Reconciliação integradora	Assíncrona e síncrona (2 horas/aula)	<p>- Assíncrona: Atividade prática. Será disponibilizado aos alunos um roteiro e um vídeo para a confecção de um espectroscópio e posterior observação de fontes luminosas sugeridas no roteiro.</p> <p>- Síncrona: Discutir sobre os espectros observados a partir do espectroscópio.</p> <p>- Proposição novas situações problema: Como determinar o que tem dentro de uma estrela? Como ela produz sua energia? Por que as estrelas podem ser consideradas fábricas de elementos químicos? Ao final, de forma coletiva os estudantes devem elaborar uma resposta aos questionamentos.</p>
	Avaliação	Assíncrona (1 hora/aula)	A Avaliação ocorrerá ao final de cada módulo, a partir dos formulários preenchidos e dos mapas conceituais.
	Efetividade		Junto ao último formulário (situação problema final) os estudantes realizarão uma autoavaliação e uma avaliação sobre a UEPS, apontando seus pontos positivos e negativos e também a relevância dos conteúdos.

Fonte: Autoria própria (2021)

A proposta foi fundamentada na Teoria de Aprendizagem Significativa de David Ausubel, que procura investigar e descrever o processo de cognição à luz de uma perspectiva cognitivista. Para o cognitivismo aprendizagem significa organização e integração do material com a estrutura cognitiva do indivíduo, ou seja, significa dizer que o aprendiz precisa expandir e reconfigurar ideias já existentes na estrutura mental e assim relacionar e construir novos conceitos.

A aprendizagem significativa será evidenciada a partir da escolha de materiais de aprendizagem potencialmente significativos, predisposição por parte do estudante para aprender e a existência de conceitos prévios, sendo assim as UEPS se tornam ferramentas importantes, já que ao longo dos oito passos contemplam as condições citadas.

O módulo 1 corresponde às etapas denominadas: apresentação do tema e ao levantamento prévio. A primeira que tem como objetivo apresentar o conteúdo de forma breve, sucinta, com intuito de despertar o interesse do estudante para os conteúdos e a segunda, corresponde à aplicação de um questionário que visa verificar o conhecimento prévio dos alunos sobre os conceitos que serão abordados ao longo da proposta. Os dois momentos são assíncronos.

O módulo 2 apresenta as seguintes etapas: organizadores prévios, a proposição de uma situação problema e a diferenciação progressiva. Este módulo é caracterizado por um momento síncrono em que professor inicia a sua aula sobre mapas conceituais, explicando o que são, quais seus elementos e como se constrói, apresenta alguns exemplos e propõe que os estudantes elaborem um mapa conceitual utilizando a palavra ASTROFÍSICA, o objetivo é realizar um levantamento dos organizadores prévios dos estudantes. Após a elaboração dos mapas o professor fará a apresentação de uma situação problema, que poderá despertar o interesse do estudante e assim a predisposição em aprender. A questão a ser utilizada é: Como é possível saber a temperatura do Sol se não há nenhum equipamento, que já tenha chegado à superfície da nossa estrela?

Após as discussões e os apontamentos referentes à questão o professor iniciará a apresentação dos conteúdos em nível de menor complexidade, a fim de que o estudante possa estabelecer relações e elaborar novos significados, essa é a etapa da diferenciação progressiva. Ao fim dessa aula o professor deverá perguntar aos estudantes se as respostas fornecidas inicialmente devem ser mantidas, alteradas ou se há necessidade de uma nova resposta.

O módulo 3 é o aprofundamento de conceitos será realizado de forma assíncrona. Nesta etapa o professor deverá gravar duas vídeo aulas para explicar conceitos com maior nível de complexidade. Ainda de forma assíncrona os estudantes devem realizar as atividades referentes aos conteúdos trabalhados nas vídeo aulas.

Na modalidade síncrona do Módulo 3 em uma aula expositiva e dialogada, o professor deve retomar os conteúdos mais gerais discutidos no Módulo 2 e avançar

gradualmente para os conteúdos mais complexos apresentados nas vídeo aulas. Para finalizar esse momento o professor deve solicitar aos estudantes a elaboração de um novo mapa conceitual.

O módulo 4 também contém modalidades síncronas e assíncronas e refere-se à reconciliação integradora. Como etapa síncrona propomos a montagem de um espectroscópio para a observação de espectros de algumas fontes luminosas. O professor deverá disponibilizar aos estudantes o roteiro e o vídeo com as instruções para a montagem do espectroscópio. Na etapa síncrona, os estudantes devem apresentar seus espectroscópios e comentar sobre os espectros observados. Para verificar se a reconciliação integradora ocorreu o professor apresentará as novas situações problema: Como determinar o que tem dentro de uma estrela? Como ela produz sua energia? Por que as estrelas podem ser consideradas fábricas de elementos químicos? Por fim, os estudantes devem construir uma resposta coletiva para os questionamentos.

A modalidade assíncrona, no módulo 4, corresponde à avaliação e à efetividade. Cabe ressaltar que a avaliação ocorreu no decorrer da proposta, a partir das atividades realizadas, dos mapas conceituais e do experimento. A avaliação a que nos referimos nessa etapa, consiste em o estudante apontar os pontos positivos e negativos da proposta. Já a efetividade se evidencia ao analisar os resultados das avaliações bem como as respostas oferecidas pelos estudantes neste último momento.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO

4.1 Relato de experiência

Inicialmente este produto educacional havia sido pensado para estudantes do Ensino Médio de uma escola situada na cidade Cianorte, localizada no noroeste do Paraná, mas em virtude da pandemia do COVID-19, as aulas foram suspensas em março de 2020. Por isso, durante o ano letivo de 2020 as aulas precisaram ser realizadas na forma remota e os estudantes foram atendidos utilizando recursos do *Google Classroom*, vídeo aulas pelo *Youtube*, atividades impressas e quando possível aulas síncronas pelo *Google Meet*. Em específico, na escola citada muitos estudantes tinham problemas de acesso, problemas financeiros e dificuldade em participar das aulas síncronas.

Por outro lado, o NRE de Campo Mourão e o NRE de Maringá procuraram o departamento de física da UTFPR solicitando um curso de extensão online na área de Astronomia para uma formação continuada dos professores de Ciências e Física dos respectivos núcleos. Com isso, aproveitamos a autorização da CPG (Comissão da Pós-Graduação) do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física para aplicar a proposta de produto com professores, e, assim, a proposta foi reelaborada em um curso de extensão para professores e professoras da área de Ciências da Natureza e Matemática.

Dessa forma, a proposta foi aplicada como curso de extensão, visando discutir os pressupostos da TAS, mapas conceituais e UEPS trabalhando os conteúdos de Física Moderna a partir do conteúdo Astrofísica. A divulgação foi realizada por meio de uma postagem em uma rede social e com a ajuda das técnicas pedagógicas dos NRE's de Maringá e de Campo Mourão.

Figura 15- Banner de divulgação do curso



Fonte: Autoria própria (2021)

Os encontros tiveram duração de 2h e 30min e foram realizados às quartas-feiras, com início em 14 de outubro de 2020 e término em 25 de novembro de 2020, resultando em sete encontros *online*. Foram encontros dialogados e expositivos, em que foram utilizados simuladores, experimentos e material em *slides* para melhor compreensão dos cursistas.

O curso teve como objetivo promover formação continuada, para os professores que atuam na Educação Básica.

Os conteúdos propostos tanto para a UEPS como para o curso estão de acordo com o Ensino Médio e foram pautados nas habilidades e competências na Base Nacional Comum Curricular (BNCC) conforme o quadro 7:

Quadro 7 - Competências e habilidades apresentados na BNCC.

COMPETÊNCIAS ESPECÍFICAS	HABILIDADE.
COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 1: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.	(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, na indústria e na geração de energia elétrica.
COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 2: Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.	(EM13CNT201) Analisar e utilizar modelos científicos, propostos em diferentes épocas e culturas para avaliar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo. (EM13CNT204) Elaborar explicações e previsões a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais.

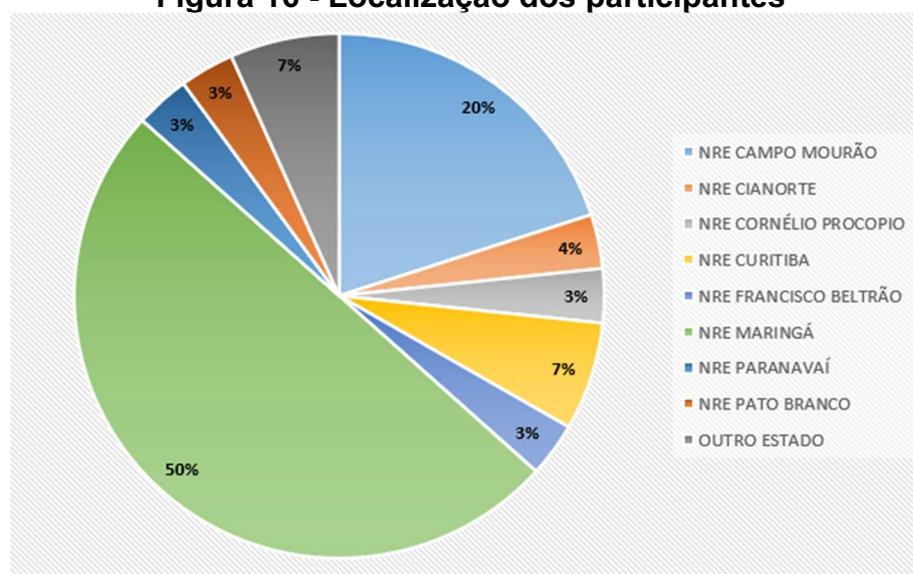
Fonte: Autoria própria (2021)

4.1.1 Caracterização dos sujeitos da pesquisa

Como o curso foi divulgado nas redes sociais, outros professores que não dos respectivos núcleos de educação, anteriormente citados, se interessaram pelo mesmo. Assim, inscreveram-se para o curso 77 professores de diversas áreas do conhecimento, concluíram o curso 48 participantes, mas, apenas 30 professores responderam ao formulário final, é a partir desses dados que será feita a caracterização dos participantes.

Por ser um curso de extensão online, foi possível atender e perceber a participação de vários professores de diferentes cidades do estado do Paraná, situadas nos NREs de Campo Mourão (Campo Mourão e Mamborê), Cianorte (Cianorte), Cornélio Procópio (Cornélio Procópio) , Curitiba (Curitiba e Pinhais), Francisco Beltrão (Planalto), Maringá (Colorado, Floraí, Marialva, Maringá, Sarandi), Paranaíba (Inajá), Pato Branco (Mangueirinha) e também do estado de São Paulo no município de Mogi das Cruzes, como mostra a figura 16

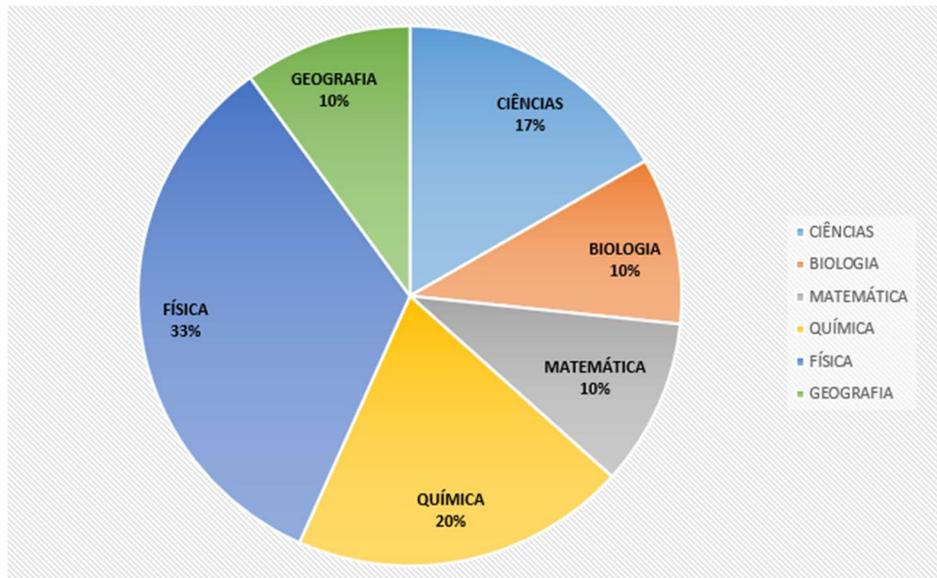
Figura 16 - Localização dos participantes



Fonte: Autoria própria (2021)

Os professores participantes do curso declaram atuar em uma ou mais disciplinas na Educação Básica. Para uma melhor organização dividimos as respostas em seis áreas de concentração: Biologia, Ciências, Física, Geografia, Matemática e Química. A figura 17 evidencia as áreas de atuação declaradas pelos participantes.

Figura 17 - Área de atuação dos participantes



Fonte: Autoria própria (2021).

4.1.2 Sobre o curso

No primeiro encontro, após as apresentações iniciais, foram apresentados conceitos relacionados aos tipos de aprendizagem cognitiva, afetiva e motora, enfatizando a aprendizagem cognitiva a partir dos princípios da TAS proposta por David Ausubel. Durante a conversa foi explicado a base da aprendizagem significativa, partindo da frase:

Se eu tivesse que reduzir toda a psicologia educacional a um único princípio, diria isto: o fato isolado mais importante que informação na aprendizagem é aquilo que o aprendiz já conhece. Descubra o que ele sabe e baseie nisso os seus ensinamentos (AUSUBEL, 1980, p.VII).

Essa frase oportunizou refletir junto aos participantes que o ensino de Física nos dias de hoje, infelizmente, ainda é centrado na aprendizagem mecânica, onde a necessidade de aprender está direcionada para a memorização de leis e equações, visando apenas a aprovação de alunos em testes vestibulares. Além disso, os conteúdos trabalhados na Educação Básica privilegiam a Física Clássica, deixando os conteúdos de Física Moderna praticamente esquecidos. Essas constatações já haviam sido apontadas por Moreira (2017).

A partir dessa discussão foram apresentadas as definições de estrutura cognitiva, subsunçores, diferenciação progressiva e reconciliação integradora na aprendizagem significativa.

Para finalizar esse primeiro encontro foram apresentados os mapas conceituais como uma ferramenta possível para verificar a aprendizagem significativa (MOREIRA 2012), destacando o que são, quais os elementos presentes e suas diversas aplicações.

O segundo encontro, iniciou-se com as boas-vindas e uma retomada rápida sobre o conteúdo da aula anterior, a partir da apresentação de um mapa conceitual previamente escolhido com o tema velocidade, de forma que os participantes pudessem relembrar os elementos encontrados em um mapa conceitual. A todo momento foi enfatizado que segundo Moreira (2012) não há mapas conceituais certos ou errados e que a riqueza de um mapa está nas associações que podem evidenciar se o estudante está aprendendo significativamente ou não.

Dando seguimento às atividades, foi solicitado aos professores que elaborassem um mapa conceitual a partir da palavra ASTROFÍSICA. Foi estipulado um tempo para a realização dessa tarefa e em seguida os professores foram orientados a nomear seus os mapas, guardá-los ou fotografá-los para serem encaminhados posteriormente.

Os participantes então foram convidados a citar os termos que utilizaram em seus mapas. Ao se manifestarem, as palavras que mais se destacaram foram: estrelas, classes de estrela, evolução, universo, luz, comprimento de onda, temperatura, telescópios e radiotelescópios. Pode-se dizer que estes termos representam os chamados conhecimentos prévios dos participantes, e é a partir deles que se pode estruturar as falas e atividades no decorrer do curso.

Para que os professores pudessem identificar os termos utilizados em seus mapas com os conteúdos conceituais, foi feita uma breve introdução e uma caracterização da Astrofísica enquanto área de conhecimento. Em seguida foi apresentada a seguinte questão problematizadora: *“Vimos que a Astrofísica utiliza diversos instrumentos em seu trabalho. Mas de que forma esses instrumentos podem determinar informações como temperatura e composição química de uma estrela (como o Sol por exemplo), se nenhum deles chegou à superfície de uma estrela?”*

A questão ajudou a explorar os conceitos prévios dos participantes, já que alguns professores responderam à questão afirmando que essas informações são

captadas por telescópios ou radiotelescópio. Essa resposta proporcionou direcionar um novo questionamento:

“Se essas informações são captadas por um telescópio, como é possível ver, reconhecer a diferença de temperatura entre duas estrelas?”

Uma professora respondeu que essas informações eram obtidas a partir da análise da luz, então foi pedido que ela tentasse explicar melhor e a resposta foi:

“Então, o telescópio tira uma foto da estrela, essa foto é enviada para um computador e ela será analisada por um programa de computador e a cor identificada por ele indica a temperatura da estrela.”

Com a resposta oferecida pela professora foi questionado o conceito da foto e de como isso seria possível no espaço e assim, foram apresentados os conceitos de física programados para o encontro: espectro eletromagnético e espectroscopia.

Enquanto era discutido o espectro eletromagnético os professores citaram a possibilidade de relacionar as ondas eletromagnéticas à saúde, radiações ionizantes e não ionizantes, como a penetração dessas ondas pode causar mutações e a importância do protetor solar. Além disso perceberam que a partir do espectro eletromagnético é possível diferenciar ondas mais nocivas (ultravioleta) de ondas menos nocivas (infravermelho) e com isso exemplificar a aplicação desses conceitos em equipamentos hospitalares. Esse momento mostrou aos professores a possibilidade de relacionar Astronomia, Física em um contexto CTS (Ciência, Tecnologia e Sociedade), entende-se que esse processo foi muito importante pois, os participantes são professores e podem utilizar-se dessas discussões em suas aulas. Além disso, pode evidenciar as relações que demonstraram que a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora estavam ocorrendo.

Seguindo com o encontro discutiu-se como a espectroscopia pôde avançar graças ao surgimento da Teoria Quântica, marcada por grandes descobertas nos trabalhos de Planck, Einstein e Bohr.

Para explicar o modelo Bohr foi utilizado um simulador disponível como arquivo executável no *site*: <https://astro.unl.edu/>.

O encontro foi finalizado retomando a questão inicial e questionando se os participantes gostariam de mudar, manter ou completar a resposta inicial, os mesmos responderam que a partir das discussões gostariam sim, de mudar ou complementar

a resposta inicial. Essa atividade serviu para que os participantes pudessem perceber a possibilidade da aprendizagem ao comparar as respostas iniciais e finais.

O terceiro encontro foi iniciado com a retomada dos conteúdos do encontro anterior de forma a que possibilitasse uma introdução aos conteúdos que seriam trabalhados nesse encontro, a radiação de corpo Negro.

Nesse encontro foi discutido o que era um corpo negro e também como a Física Clássica não conseguia explicar por que os dados teóricos divergiam dos experimentais. A contextualização do momento histórico também foi apresentada, mostrando a necessidade da quebra de paradigma e de como é importante apresentar aos estudantes não só a resposta certa, mas, a importância de levantar hipóteses, discutir e formar opiniões.

Novamente foram recordadas as importantes contribuições de Planck para a solução do problema da radiação de corpo negro. Também se discutiu como a Lei de Wien pode ajudar a compreender a relação entre a temperatura e a cor de uma estrela e a Lei de Stefan-Boltzmann está relacionada à luminosidade dela.

Para finalizar o encontro foi apresentado, de forma dialogada, dois experimentos (descritos no apêndice 1) que podem ajudar a discutir esses conceitos em sala de aula sendo que o primeiro experimento consiste em verificar a existência da radiação infravermelha e o segundo experimento para a verificar absorção de radiação do corpo negro.

Alguns questionamentos por parte dos participantes foram feitos sobre os materiais a sugeridos nos experimentos:

“Professora, no experimento (da radiação infravermelha) pode ser utilizado outro tipo de lâmpada, a LED por exemplo?”

Outro professor questionou sobre a possibilidade de usar uma vela no lugar da lâmpada. Para esses questionamentos foi respondido que o princípio de funcionamento das lâmpadas do tipo *LED* é salto quântico e por isso não apresentarão os mesmos resultados que uma lâmpada incandescente, quanto a utilização da vela foi respondido que o processo de experimentação poderia ser muito demorado e então seria preferível realizar o experimento utilizando a luz solar.

Outro questionamento:

“Professora, podemos usar a LED para discutir a relação entre e os prejuízos e a saúde, ao organismo?”

Foi respondido que isso deve ser feito com cuidado, explicando que os comprimentos de onda desse tipo de lâmpada são específicos e devem ser comparados ao espectro eletromagnético.

Quanto ao experimento sobre a absorção da radiação de corpo negro um dos professores questionou se o tipo de tinta interferia no experimento. Para esse questionamento foi respondido que sim, indicando que para melhores resultados não se devem utilizar tintas refletoras.

Cabe ressaltar que a maioria dos professores já conheciam ou já haviam realizado esses experimentos anteriormente.

O quarto encontro, foi um passo a mais no aprofundamento dos conceitos, nele discutiu-se sobre os espectros estelares e sobre a classificação espectral. Apresentou-se o contexto histórico e o papel fundamental e importantíssimo das mulheres chamadas de Calculadoras de Harvard na produção dos catálogos estelares que são utilizados até hoje.

Com a apresentação desses conceitos os participantes identificaram a possibilidade de um trabalho que destacasse o papel da mulher na Ciência e por isso, foi sugerido como leitura o texto “As mulheres que calculavam” publicado pela revista Superinteressante disponível no link: <https://super.abril.com.br/especiais/as-mulheres-que-calculavam/>, bem como o episódio oito Irmãs do Sol da série Cosmos: Uma Odisseia no espaço, que trata do importante trabalho desenvolvido por essas astrônomas.

O quinto encontro foi iniciado com a retomada dos conceitos trabalhados anteriormente. Durante o encontro, como parte da reconciliação integradora, realizou-se juntamente com os participantes a montagem, passo a passo, de um espectroscópio (apêndice 2) elaborado pelo programa NASE (*Network for Astronomy School Education*).

A lista de materiais e o molde utilizados para a confecção do experimento foram encaminhados aos participantes por e-mail, com antecedência ao encontro.

Vários participantes acompanharam e construíram o espectroscópio em tempo real, questionando e tirando dúvidas sobre a montagem. Com esse processo questionamentos foram surgindo, entre eles, se era possível utilizar o disco de DVD ao invés do CD. Ficou esclarecido que sim, mas a forma de preparar o DVD é diferente

do CD, pois no CD é necessário apenas retirar a película refletora e no DVD devemos abri-lo para encontrar a rede de difração.

Com os espectroscópios prontos, foi sugerido que os participantes apontassem para uma lâmpada em sua residência ou no local em que estavam e tentassem fazer a leitura do espectro localizado em seu interior. Foi ressaltada a importância de não apontar esse espectroscópio diretamente para o Sol.

Um professor interagiu comentando que estava conseguindo observar com nitidez o espectro da luz emitida pela lâmpada em sua residência, outro que estava com dificuldades de observar o espectro e outro que havia percebido pela montagem dos demais que havia colado o CD de forma incorreta.

Para exemplificar como a faixa espectral aparece dentro do espectroscópio apresentamos algumas fotos (figura 18) da observação de diferentes fontes luminosas obtidas quando esse instrumento é utilizado.

Figura 18 - Espectro de emissão de lâmpadas mercúrio, sódio e incandescente, respectivamente



Fonte: Autoria própria (2021)

Finalizando o encontro, foi questionado aos cursistas: “*Como o espectroscópio caseiro pode nos ajudar a estudar uma estrela?*”. Em resposta ao questionamento conclui-se que o espectroscópio caseiro construído durante esse encontro pode auxiliar professores e estudantes a observar diferentes espectros e fazer uma medida indireta deles.

No sexto encontro foi o momento de discutir o combustível de uma estrela, diagrama HR e evolução estelar. Através de questões como “*o que existe dentro de uma estrela? O Sol é uma bola de fogo? Será que a estrela emite luz por que tem um combustível queimando dentro delas?*”. Os participantes foram respondendo a esses questionamentos explicando que na verdade a energia que provinha do interior de

uma estrela estava associada ao processo de fusão nuclear. Sendo assim, foi explicado que estas questões podem ser utilizadas como levantamento prévio e como uma forma de externar o senso comum.

Com base na resposta obtida, discutiu-se com os participantes que no interior das estrelas o processo mais comum é a fusão nuclear, que transforma átomos de hidrogênio em átomos de hélio liberando uma grande quantidade de energia. Além disso foi possível explicar a evolução de uma estrela e também oferecer uma pequena explicação sobre como o diagrama HR ajuda os astrônomos a classificar e entender o ciclo de vida de uma estrela.

Durante a explicação uma das professoras pediu que fosse elaborado um curso para tratar principalmente sobre buracos negros, pois essa era uma pergunta recorrente de seus estudantes. Outra participante questionou

“Se um buraco negro absorver uma estrela ele aumenta?”

Em meio às discussões outro professor perguntou

“Podemos comparar o buraco negro a um furacão?”

Entende-se que tal analogia pode criar um obstáculo epistemológico já que o furacão “atrai” o que está ao seu redor através de movimentos circulares.

Outra questão que chamou a atenção foi:

“As manchas solares, estão associadas às reações no interior das estrelas?”

e foi respondido que não, já que as manchas solares estão associadas ao campo magnético das estrelas, neste momento, também foi dialogado sobre todos esses assuntos levantados, a fim de sanar as inquietações dos professores.

No sétimo e último encontro foi o momento de apresentação da UEPS elaborada como produto educacional apontando as etapas da unidade de ensino e seus módulos.

Para isso, inicialmente foram apresentados os pressupostos teóricos elaborados por Moreira (2011) bem como as etapas para a elaboração de uma UEPS. A ideia central desse encontro era mostrar como as etapas da UEPS estavam divididas no curso.

Durante o encontro, as situações problema iniciais foram retomadas e novos questionamentos foram realizados com o intuito de verificar se as etapas da diferenciação progressiva e reconciliação integradora foram alcançadas. Entre os novos problemas é possível destacar: *O que tem dentro de uma estrela? Como ela produz sua energia? Como é possível determinar a cor de uma estrela? Qual a cor do Sol? Por que diz-se que a cor do Sol é amarela? As Estrelas podem ser consideradas fábricas de elementos químicos? Por quê?*

Houve uma boa interação entre os participantes um dos professores respondeu

“Engraçado está tudo relacionado ao comprimento de onda.”

outro participante declarou:

“as fusões nucleares dentro de uma estrela agrupam os prótons e se o número de prótons vai aumentando no átomo, novos elementos surgem”.

Outras falas foram importantes e cabendo destaque:

“Os astrônomos do mundo todo trabalham e tentam encontrar as respostas, mas não conseguem descobrir 1/3 dos mistérios do Universo, fico feliz quando um aluno fala que quer ser Astronauta, pesquisador, que quer ser professor, eu me sinto feliz pois a melhor resposta que ele pode me dar é o desejo e a vontade de se tornar um grande profissional da Física, Biologia.”

Durante o encontro os participantes apontaram também que o ensino interdisciplinar de Astronomia favorece a aprendizagem significativa.

Como parte final da UEPS este encontro também discutiu a avaliação e a efetividade dela. Para a avaliação foi pedido que os professores confeccionassem um novo mapa conceitual. Os participantes foram orientados a encaminhar fotos dos mapas conceituais iniciais e finais, no grupo de *WhatsApp* criado a pedido deles para troca de materiais e informações.

Em algumas interações foi possível notar a satisfação e a relevância do conteúdo trabalhado:

“Parabéns, professora pela sua fantástica apresentação, trabalho impecável, sucesso espero trabalhar de forma melhor esse assunto com meus alunos do E.F”

“Obrigada pelas contribuições! Parabéns, professores!”

“Excelente curso, pena que foi curto e rápido”.

4.2 Análise dos formulários

Ao final do curso os professores participantes foram convidados a responder um formulário, que foi chamado de Formulário de Efetividade (apêndice 3). Este formulário tinha por objetivo avaliar os conteúdos trabalhados, os recursos utilizados, a contribuição do assunto para a prática pedagógica, entre outros. Para preservar a identidade dos professores, estes serão aqui nomeados como Professor 1, Professor 2 até Professor 30, seguindo a ordem de resposta no formulário.

Far-se-á agora a discussão e a análise das respostas dos docentes para cada uma das questões do formulário.

A questão 1 e a questão 2 abordavam, respectivamente, a opinião dos docentes sobre o tema “Uma introdução a Astrofísica a partir da espectroscopia” e sobre os encontros, em ambos as respostas foram positivas e 100% consideraram o tema e os encontros muito bons.

Ao questionamento proposto na questão 3: *Você acredita que os conteúdos trabalhados nos encontros e as atividades realizadas têm relação com o cotidiano?* Todos os participantes responderam em afirmativa, concordando e reconhecendo a contextualização. Isso pode ser reconhecido nas respostas destacadas:

Professor 3: *“Sim. Há muita relação, bem como, aplicação. Afinal, a astronomia consiste num estudo complexo pautado em conceitos e teorias de fácil acesso”.*

Professor 5: *“Sim... pois podemos contextualizar o estudo da astrofísica com diversos fenômenos e instigar a curiosidade dos alunos. Por exemplo: As estrelas têm cor? Como é possível determinar a cor de uma estrela?”*

Professor 10: *“Sim. Ondas eletromagnéticas, sol, estrelas. Despertam a curiosidade dos alunos. Gosto muito de trabalhar com aprendizagem significativa e faço sempre que possível, interdisciplinaridade, pois trabalho com Química e Física.”*

Professor 16: *“Sim, além de estar presente na BNCC para ser trabalhado em sala de aula. Todos os dias o Sol nasce e se põe e nossas atividades estão relacionadas com a duração dos dias. Conhecer um pouco mais de sua composição e como isso influencia nosso planeta (em relação a vida, a temperatura, a luminosidade, etc.) faz com que as várias curiosidades apareçam e que muitas vezes não temos a oportunidade de estudá-las para compreendê-las”.*

Professor 23: *“Sim, é importante compreender o comportamento da luz e interessante mostrar para o aluno a questão do espectro, enfatizando os tipos de equipamentos de iluminação, como: lâmpadas incandescentes, halogênicas e led relacionando com seu consumo energético”.*

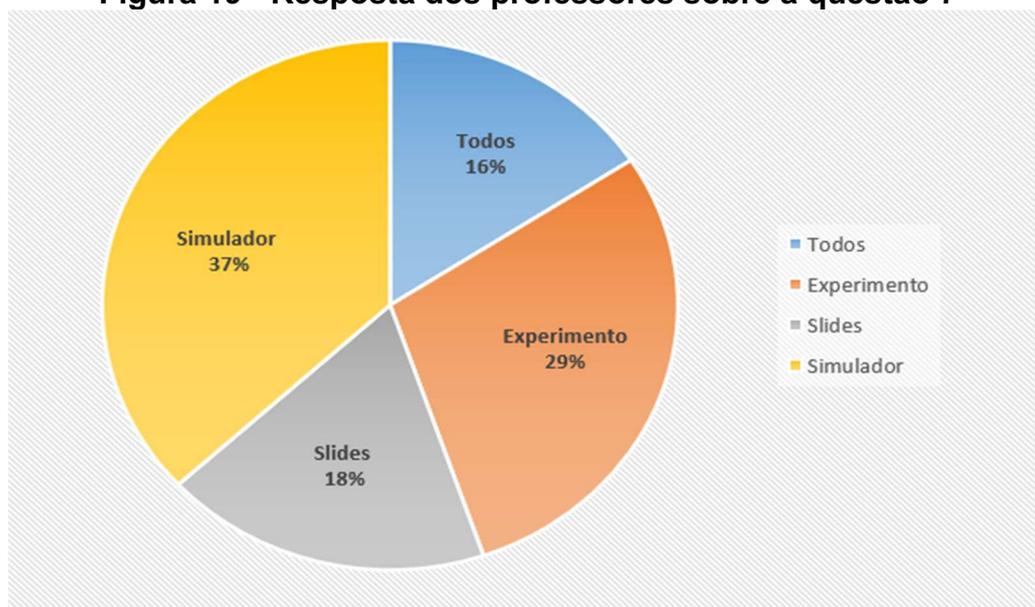
Professor 29: *“Os conteúdos trabalhados nos encontros e nas atividades realizadas teve relação com o cotidiano, pois as práticas apresentadas vão de acordo com a realidade dos discentes e de fácil execução, onde facilita o*

diálogo entre os alunos, auxiliando nos debates, onde podem expressar suas opiniões e argumentos sobre o tema”.

Nas questões 4, 5 e 6, os participantes foram questionados respectivamente, se a metodologia utilizada no encontro facilitou o entendimento do material, se as atividades realizadas durante os encontros estavam coerentes com o assunto discutido e se as expectativas em relação ao tema foram atendidas. Para o primeiro questionamento apenas dois professores responderam assinalando a resposta parcialmente e para as outras duas questões 100% assinalaram sim. Cabe lembrar que os encontros aconteceram no formato *online* e desenvolvidos de forma expositiva e dialogada a partir da proposição de situações problema e assim ficou compreendido, com base nas respostas, que a proposta preparada para a discussão de tópicos de FM à luz da TAS, com uso de simuladores e atividades experimentais se caracterizou como um recurso facilitador da aprendizagem e que os participantes a consideraram importante para seu aprendizado.

Para a questão “*Dos recursos utilizados (simulador, formulário, experimento e slides), quais você mais gostou?*” identificada como questão 7, as respostas são tabuladas em um gráfico, representado pela figura 19. Como esse era um questionamento aberto, os participantes elencaram mais que um dos recursos apresentados.

Figura 19 - Resposta dos professores sobre a questão 7



Fonte: Autoria própria (2021).

A diversificação dos recursos em uma UEPS colabora para a compreensão de conteúdos, para interação entre estudantes e pode ajudar o professor a identificar e verificar indícios da aprendizagem significativa. Por isso o destaque para as respostas de alguns professores

Professor 2: *“Gostei muito do experimento com a espectroscopia, é muito fácil de fazer e muito fácil de entender as cores que nele aparecem de acordo com a luz que estamos observando”.*

Professor 4: *“Experimento e Slides, onde o aluno constrói e visualiza a parte teórica do conteúdo trabalhado”.*

Professor 5: *“Experimentação, pois acredito que pensando em nossos alunos a experimentação contribuirá muito para uma aprendizagem significativa”*

Professor 9: *“Tudo foi engrandecedor, mas os slides foram muito bem embalados e com ótima ilustração. O simulador e o experimento já realizo com os alunos, foi ótimo o processo”.*

Professor 13: *“Simulador e experimento foram os que mais prenderam minha atenção. O fato de eu conhecer os simuladores usados como recursos, proporciona-me mais uma ferramenta para usar nas minhas aulas do Ensino Médio”.*

Professor 19: *“Experimentos, pois sai da rotina, tornou o curso muito mais dinâmico e próximo da minha realidade”.*

Professor 30: *“O recurso que mais gostei foi o simulador, com a construção deste, pode-se sensibilizar os alunos para uma nova fenomenologia, tomando como base os conhecimentos atuais deles, com essa atividade permite aos alunos constatar trazer conhecimentos relevantes ao cotidiano, trazendo conceitos que possibilitam explicar diversos fenômenos atômicos imperceptíveis a olho nu, para que possa ser introduzido de forma clara”*

Com a análise da questão 8 *“Você acredita que os conteúdos trabalhados foram capazes de colaborar para sua aprendizagem? Comente”* percebeu-se que as respostas de forma não intencional (já que não era parte do questionamento apontavam nas justificativas, o motivo pelo qual o docente se inscreveu no curso. Assim, seguindo os pressupostos da pesquisa qualitativa propostos por Yin (2016) as respostas que obedeciam foram organizadas no quadro 8 em quatro categorias: discurso motivacional, discurso metodológico, discurso reflexivo e discurso sobre o conteúdo.

Para o discurso motivacional identificou-se a palavra curiosidade ou um sentido similar presente nas respostas, mostrando que a motivação está relacionada a algo intrínseco, algo que já chamava a sua atenção.

Para o discurso metodológico é possível reconhecer nas respostas a presença de verbos ou intenções relacionadas ensinar, o que reflete uma tentativa de melhorar

a prática pedagógica e a preocupação do docente em aprender conteúdos que pudessem ser aplicados em sala de aula.

Já para o discurso reflexivo pode-se destacar o termo aprimorar ou similares a ele, apontando a necessidade por aprender assuntos que foram pouco ou nada discutidos durante a sua formação. Nessa categoria destacamos a afirmação do professor 18, que indica pontualmente um dos conteúdos específicos trabalhados durante os encontros.

Quadro 8 - Análise das respostas dos professores na questão 8.

Discurso Motivacional	Professor 2	Sim, eu tinha muita curiosidade sobre o tema, mas muito pouco conhecimento sobre o tema, me interessei em aprender muito mais sobre a Astrofísica
	Professor 4	Sim, sempre estamos buscando novas maneiras de ensinar e despertar a curiosidade do aluno, em melhor ensinar.
	Professor 14	Sim. Gosto muito de Astronomia.
	Professor 17	Muito, aprendi muitas coisas novas e despertou a curiosidade para um tema que antes não conhecia.
	Professor 21	Sim. Tinha pouco conhecimento sobre o assunto e me ajudou a esclarecer muitas dúvidas.
	Professor 24	Foi ótimo, adoro o assunto e quero sempre estar aprendendo para poder trabalhar com nossos alunos de forma mais significativa e dinâmica.
Discurso Metodológico	Professor 5	Muito. Pois através do material ofertado, dos diálogos foi possível esclarecer e aprofundar o conhecimento em diversos conceitos.
	Professor 7	Com certeza ampliou meu entendimento sobre o assunto.
	Professor 9	Sim, pois a forma abordada abriu o leque de como abordar os conceitos com os alunos.
	Professor 11	Sim, acrescentou no conteúdo ministrado aos alunos
	Professor 19	Com certeza, só pelo fato de eu entender o UEPS, já me dá uma ideia de potencializar minhas aulas direcionando-as para essa linha de aprendizagem.
	Professor 23	Sim. Apesar de que esse assunto, como já falei pro professor, é do tamanho do universo. Nunca aprendemos tudo, mas esclareceu muitas dúvidas e isso ajudará no meu trabalho enquanto professora.
	Professor 27	Sim, podendo ser trabalhado com meus alunos com mais propriedade.
	Professor 29	Sim. Aprendi mais sobre o assunto e agora posso repassar com mais segurança aos meus alunos.
Discurso Reflexivo	Professor 10	Sim. Proporcionou aprimoramento dos conteúdos de astrofísica, uma vez que na faculdade aprendemos diferente. Agora com enfoque em aprendizagem significativa, facilita a compreensão e a nossa aplicação pedagógica.
	Professor 12	Sim, acredito que os conteúdos contribuíram muito com a minha aprendizagem.
	Professor 16	Sim, apesar de já ter uma noção sobre o tema eu não conhecia algumas teorias que foram apresentadas visto que no meu curso de ciência licenciatura plena, eu tive apenas física 1, 2 e 3.

	Professor 18	Sim. Compreendi melhor os espectros de emissão e de absorção.
	Professor 22	Sim, despertou ainda mais o interesse em estabelecer o conhecimento de modo interdisciplinar.
	Professor 25	Sim, com certeza. São conteúdos que não temos um conhecimento mais profundo.

Fonte: Autoria própria (2021).

Sobre a questão 9, *os conteúdos trabalhados foram capazes de ajudar você professor a compreender melhor sobre Astrofísica? Comente*, foi possível perceber a partir das respostas, que os conteúdos trabalhados durante os encontros foram de grande relevância, permitindo aos docentes melhorar seu entendimento sobre a Astrofísica, a partir das respostas destacadas:

Professor 2: “Sim, foi muito didático o curso com uma linguagem bem acessível até mesmo para quem não tem muito conhecimento em Física”

Professor 5: “Sim. Foram abordados de modo bem coerente, proporcionando uma evolução de conhecimentos”.

Professor 8: “Sim, compreendi melhor como são feitas as análises de imagens, luz, enfim”.

Professor 9: “Sim, como já realizei alguns cursos este mais voltado para professores teve uma linguagem e abordagem mais para sala de aula”.

Professor 10: “As metodologias utilizadas, aprendizagem significativa e mapas conceituais favorecem o aprendizado”.

Professor 21: “Sim, pode ampliar meus conhecimentos sobre Astrofísica e perceber também suas relações com outras áreas”.

Professor 29: “Os conteúdos trabalhados foram capazes de me ajudar a compreender melhor sobre Astrofísica, pois assim pretendo procurar uma forma segura e prática para contextualizar conteúdos de Física através de demonstrações experimentais para que haja um aprendizado mais efetivo por parte dos alunos”.

Em outras respostas para essa questão, foi possível perceber que os conteúdos trabalhados fizeram com que os docentes se sentissem motivados a aprender e a ensinar Astrofísica em suas aulas e isso ficará ainda mais evidente, nas respostas da questão 10.

Professor 17: “Muito, quero fazer outros cursos a partir desse. Compreendi conceitos que antes não entendia, e melhor, despertou minha mente para aprender mais”

Professor 18: “Sim. Partir dos meus conceitos prévios e ir somando mais conceitos aos conteúdos que já tenho um certo domínio ajudou muito”.

Professor 19: “No começo estava um tanto quanto perdida, pois não tive aula de Biofísica na Universidade, porém só o fato de fazer o Curso me deixou motivada a estudar mais sobre o assunto e acreditar que a Astrofísica não é um bicho de sete cabeças”.

De forma separada, destaca-se a resposta do professor 13, que aponta sua percepção para possibilidade de ensinar Astrofísica de forma mais conceitual sem a necessidade de se ater tanto a cálculos matemáticos:

Professor 13: *“Sim, com certeza. Já recebi perguntas de alunos em sala de aula, e meu conhecimento em astrofísica era muito limitado. O curso introduziu conceitos de uma forma suave, sem a necessidade de explorar a Matemática”.*

Durante os encontros procurou-se ressaltar importância dos questionamentos, da troca de significados e da linguagem para além da matematização favorecendo assim a aprendizagem significativa, a partir da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora e não da aprendizagem mecânica que favorece a repetição e a resolução de problemas por meio de fórmulas decoradas. O professor em questão conseguiu perceber o que já havia sido dito por Moreira (2003) aprender uma ciência é aprender uma nova linguagem, como um todo, e nela as palavras, por exemplo, são tão ou mais importantes que outras representações simbólicas como, por exemplo, as matemáticas ou gráficas.

Sobre a questão 10: *Você acredita que os conteúdos discutidos nesse curso poderão contribuir para sua prática docente? Comente.* Cabe lembrar que nem todos os participantes trabalhavam com a disciplina de Física e segundo relatos de alguns deles durante os encontros, tópicos de Astrofísica ou de Física Moderna não fizeram parte de sua formação acadêmica e isso gerava certa ansiedade e insegurança para trabalhar com tópicos de Astrofísica, como relata o professor 2:

Professor 2: *“Sim com certeza, antes eu tinha um pouco de receio em abordar o tema com meus alunos, já que não sou formada em Física, minha habilitação é em Matemática, mas me deu a certificação para lecionar Física e o curso me deu um pouco mais de confiança para abordar o tema Astrofísica”*

Assim as discussões mostraram como os conteúdos trabalhados puderam contribuir para a prática docente, proporcionar uma reflexão sobre a prática pedagógica interdisciplinar, que contempla o uso de metodologias e estratégias diversificadas, como mostram as respostas:

Professor 6: *“Sim! Principalmente nas aulas de Astronomia no ensino fundamental, com o uso de experimentos e simuladores”.*

Professor 8: “Sim, especialmente em geografia no conteúdo referente ao universo”.

Professor 9: “Sim, já pensei em vários assuntos que estão atrelados às habilidades e competências tanto no ensino fundamental como no ensino médio, pois o tema é desenvolvimento na unidade temática: Terra e Universo”.

Professor 10: “Sim grandemente. Contribuirá até quando trabalhamos em ondulatória, ondas eletromagnéticas. Excelente”.

Professor 14: “Sim. Nas aulas de Geografia”.

Professor 17: “Vão contribuir muito, a sequência de trabalho da UEPS é muito didática e permite aprendizagem significativa”.

Professor 18: “Sim. Essa UEPS era bem o que eu estava procurando para incrementar minhas aulas de Ciências, de forma geral, não apenas com conceitos referentes à Astrofísica”.

Professor 21: “Sim, inclusive já apliquei a construção do espectroscópio ao desenvolver o conteúdo de Física Moderna no 3º ano do Ensino Médio”.

Ainda sobre a questão 10, foi possível perceber que a forma como os conteúdos foram abordados e trabalhados contribuíram para uma autorreflexão sobre a prática pedagógica e reforçaram a importância de trabalhar tópicos de Astrofísica em sala de aula, com indicam as respostas:

Professor 19: “Esse foi meu objetivo, fazer o curso e colocar esses termos de forma mais simplista, de acordo com a realidade dos meus alunos, podendo adaptar conforme o andar da carruagem”

Professor 23: “As informações e conteúdos trabalhados irão contribuir muito com minha prática pedagógica, o assunto é muito pertinente e interessante para ser discutido em sala de aula”.

Professor 29: “Os conteúdos discutidos neste curso contribuirão para minha prática docente, onde os experimentos serão essenciais, pois os alunos conseguirão buscar a interpretação e visualização dos conteúdos estudados em sala, permitindo que testem e comprovem diversos conceitos, favorecendo a capacidade intelectual”.

Professor 30: “Sim, a partir deste curso, vou procurar sempre fazer um apontamento nos conteúdos abordados”.

Com base nas respostas da questão 11: *Você utilizaria nossa a UEPS, em suas aulas? Comente, foi possível identificar que*

- Os professores identificados pelos números 4, 6, 9, 10, 17, 19, 19, 20, 21, 23 e 28 responderam que utilizariam a sequência didática por se tratar de um material bem planejado, bem-organizado, bem estruturado e que contempla os pressupostos da aprendizagem significativa;
- Os professores 16 e 29 destacaram que utilizariam apenas partes da UEPS como os simuladores e outros recursos apresentados,
- O professor 14 justificou que utilizaria a sequência pois, os conteúdos dos livros de Geografia são insuficientes,

- Os professores 2, 12, 22 e 24 responderam que utilizariam, mas para isso precisariam se preparar melhor, estudar, planejar ou contar inicialmente com a ajuda de outras pessoas;
- O professor 26 respondeu que ainda não utilizaria;
- O professor 11 afirmou já estar utilizando;
- Os professores 1, 3, 5, 7, 15, 25, 27 e 30 responderam apenas sim ou com certeza, sem maiores explicações;
- O professor 13 respondeu que a utilizaria como ponto de partida para trabalhar os conceitos de Astrofísica.

Com a maioria das respostas positivas, pode-se considerar a UEPS, proposta neste trabalho, como um recurso facilitador da aprendizagem, sendo ela passível de reprodução total e parcial. Destacam-se algumas respostas que levaram aos resultados apresentados acima:

Professor 4: *“Sim, pelo material e a didática simples e objetiva de ensinar, despertando o interesse de aprender cada vez mais”.*

Professor 9: *“Sim, pois foram apresentadas com excelentes temas sendo desenvolvidos e bem estruturadas”.*

Professor 10: *“Sim, trabalhar com aprendizagem significativa estimula os alunos a estudar e entender o conteúdo. Procuro sempre, utilizar também a problematização dos conteúdos abordados, para que haja mais interação dos alunos. Cabe ressaltar que os nossos alunos ficaram tempos acostumados a um ensino bancário, e nós professores estamos mudando nossas metodologias de ensino graças a esses cursos que estamos participando e que é diferencial para nossa prática em sala de aula, pois levar os educandos a pensarem e dialogar sobre os conhecimentos científicos requer muito empenho”.*

Professor 13: *“Sim. Nunca trabalhei astrofísica em sala de aula. O uso dessa UEPS seria o ponto de partida para discutir o tema”.*

Professor 17: *“Sim, muito efetiva e prática. Fica muito claro para o aluno e para o professor os objetivos das aulas”.*

Professor 19: *“Com certeza as Unidades de Ensino Potencialmente FACILITADORAS de Aprendizagem Significativas, vão fazer parte de minhas aulas, não será fácil, como tudo no início, mas vou tentar”.*

Professor 22: *“Com certeza a sequência didática tem clareza nos objetivos e está bem fundamentada na Teoria de Aprendizagem Significativa”.*

Professor 24: *“Sim, pois a sequência apresenta organização, compreensão e tempo adequado para ser trabalhado no ensino médio”.*

Para a questão 12: *O que você acredita que poderia ser melhorado no decorrer dos encontros? Registre sua opinião ou comentário*, foram selecionadas algumas respostas, que demonstram a satisfação dos participantes como a estrutura, conteúdo e materiais utilizados durante o curso, o que leva a acreditar que nossa proposta cumpriu com os anseios daqueles que se inscreveram.

Professor 2: “Para mim os encontros foram muito bons, não sei se poderia melhorar”

Professor 5: “Acredito que tratando-se do período de pandemia, todos os recursos necessários foram contemplados durante o curso”.

Professor 8: “Penso que está bom, pois mesmo eu não tendo muitas noções de Física consegui compreender os processos, os passos, entre outros”.

Professor 10: “Os encontros foram excelentes!!! Precisamos ter mais cursos assim, pois contribuirá com nossa prática pedagógica”.

Professor 12: “Acredito que a forma que foi desenvolvido o encontro veio atender as expectativas”.

Professor 24: “Eu particularmente acho que o conteúdo veio de encontro com nossas necessidades. Achei algumas partes mais difíceis, penso que eu preciso ler mais”.

Professor 29: “Para mim o curso foi maravilhoso, e na situação em que estamos vivendo, ele foi planejado e realizado da melhor maneira possível.”

Por outro lado, nas respostas selecionadas abaixo, os docentes manifestaram que gostariam que o curso tivesse mais encontros ou ainda uma carga horária maior, com maior tempo de discussão de conteúdos específicos da Astrofísica

Professor 3: “Mais encontros”.

Professor 6: “A carga horária deveria ser maior”.

Professor 13: “Usar mais aulas do curso para tratar dos conhecimentos da astrofísica e reduzir um pouco o tempo dedicado a falar do pedagógico”.

Professor 20: “Achei que tinha muita informação para o tempo estipulado”.

Acredita-se que a preocupação com a carga horária, pode estar relacionada com a necessidade que os professores sentem em aprender tópicos relacionados tanto a Astronomia quanto a Astrofísica, por isso, visando preencher possíveis lacunas em sua formação acadêmica os docentes procuram por cursos de extensão que sejam capazes de ajudá-los a aprender e ensinar tais conteúdos.

Esse pensamento é reforçado por Langhi e Nardi (2009) ao dizer que para uma aprendizagem de conteúdos de Astronomia, no âmbito da educação formal, os docentes em serviço podem recorrer a cursos de formação continuada, oferecidos pelas universidades ou instituições públicas. Entretanto os autores apontam para uma preocupação na forma como esses cursos têm sido conduzidos já que para eles a maioria está centrada apenas nos conteúdos específicos, deixando muitas vezes de contemplar questões metodológicas e conceituais envolvidas no processo de ensino e aprendizagem, e por isso:

é importante que futuras elaborações de programas de formação continuada para professores, que contemplem a área de astronomia, norteiem-se em resultados de pesquisas na área de educação em astronomia, do ensino de ciências e da formação de professores, o que poderá proporcionar, além de

processos formativos docentes adequados às suas reais necessidades, fontes seguras de informações a partir dos estabelecimentos categorizados neste trabalho, para que os professores possam ter acesso, não apenas a temas e conteúdos específicos de astronomia, mas também, a metodologias e técnicas adequadas para o ensino de astronomia, bem como à produção da pesquisa em ensino de astronomia. (LANGHI; NARDI; 2009, p.2)

Por isso, em contraponto a resposta dada pelo professor 13, salienta-se o cuidado tido ao elaborar esse curso para trabalhar além dos conteúdos específicos de Astrofísica, as metodologias, práticas e atividades que auxiliem o professor no seu trabalho em sala de aula.

4.3 Análise dos mapas conceituais

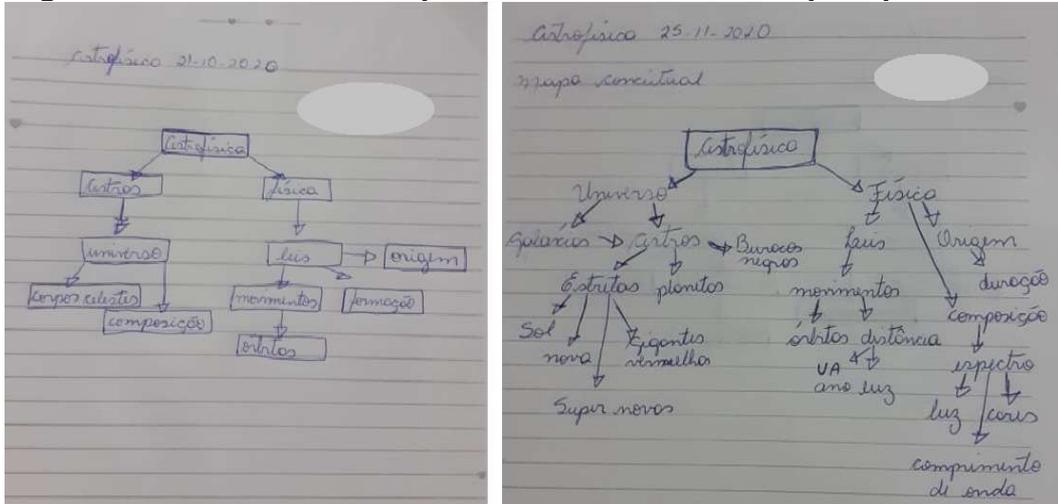
Outra atividade que permitiu a análise de dados, foi a elaboração de mapas conceituais. Os mapas foram construídos em momentos diferentes do curso, o mapa conceitual inicial (MCI) foi elaborado no segundo encontro e o mapa conceitual final (MCF) no sétimo encontro para que fosse possível compará-los a fim de buscar indícios de aprendizagem significativa e não de classificá-los. Destaca-se que nem todos os professores encaminharam seus mapas, sendo assim, a análise foi realizada apenas com aqueles que se dispuseram a compartilhá-lo.

A teoria da Aprendizagem Significativa destaca que os subsunçores são de fundamental importância para a aquisição de novos conhecimentos. Portanto, determinar os saberes prévios dos aprendizes se torna fundamental para qualquer processo de ressignificação dos saberes e o quanto cada um avançou na sua própria construção do conhecimento.

Neste sentido, o mapa conceitual pode ser utilizado como ferramenta de avaliação na qual pode permitir que seja identificado possíveis avanços no conhecimento ou mudanças na estrutura cognitiva dos estudantes por meio dos elementos apresentados. Dentre as possíveis sugestões para o uso do mapa conceitual como estratégia avaliativa bem como, para inferir elementos da aprendizagem significativa, Novak e Gowin (1999) sugerem que a este possa ser atribuído pontuação de seus elementos fundamentais, permitindo atribuição de notas e também a verificação dos avanços alcançados por quem o construiu. As figuras 20, 21 e 22 representam mapas conceituais analisados e foram escolhidos aleatoriamente

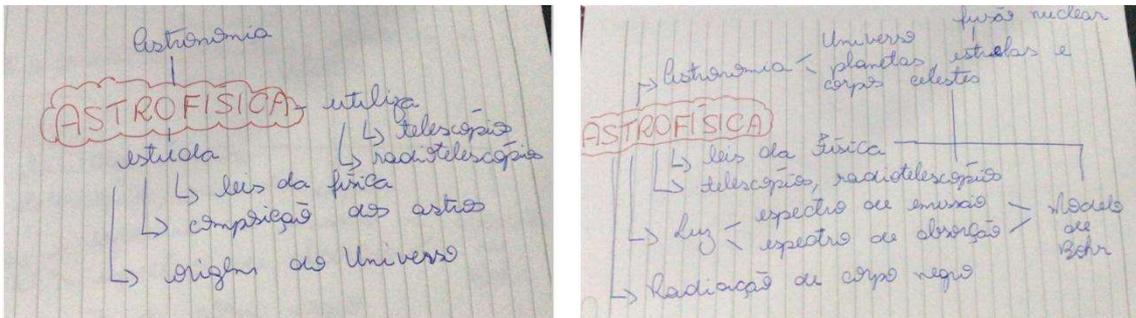
para representar a análise realizada. Os demais serão apresentados, analisados e discutidos por seus dados.

Figura 20 - MCI e MCF, respectivamente, elaborado pelo professor 8



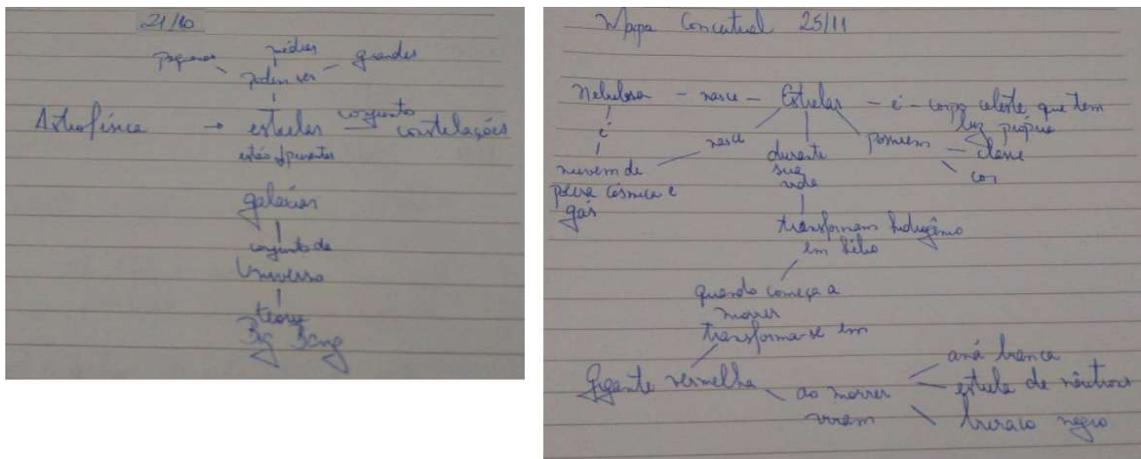
Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 21 - MCI e MCF, respectivamente, elaborado pelo professor 6



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 22 - MCI e MCF, respectivamente, elaborado pelo professor 2



Fonte: Autoria própria (2021)

Portanto, a atribuição destes pontos só é possível desde que o avaliador tenha domínio para identificar os elementos necessários à estrutura de cada mapa conceitual. Com base nisso, são apresentados resumidamente esses elementos apoiados na teoria de Novak e Gowin (1999):

- a) hierarquia: são as ramificações sequenciais que partem de um conceito inicial, devendo ser cada vez mais específicas na medida que se aumenta o nível. Portanto, o avaliador poderá analisar a maior ramificação dentro do mapa ou estabelecer uma média entre elas, certificando que um conceito ou proposição parte do mais abrangente para o mais específico;
- b) proposições: estes são compreendidos como os conceitos escritos no mapa, sendo organizados em uma ordem de subordinação, obedecendo a hierarquia dos conhecimentos;
- c) ligação simples: demonstra a relação direta entre os conceitos nas cadeias hierárquicas, mas não representa a síntese destes agrupamentos hierárquicos. Elas podem vir acompanhadas de palavras ou conectivos que complementam a associação de ideias;
- d) ligação cruzada: este tipo de ligação deve amarrar duas ideias em diferentes hierarquias ou síntese das mesmas. Se elas ocorrerem entre duas hierarquias, podem demonstrar uma maior integração dos conhecimentos, porém pode ocorrer somente entre palavras de diferentes hierarquias, têm menor valor para a pontuação;
- e) exemplos: devem ser apresentados ao final das ramificações das hierarquias, onde podem complementar os conceitos por meio de sua aplicabilidade, desde que sejam coerentes com os conceitos elencados.

Alguns autores (GOMES, 2021; GOMES, 2017; GOMES; BATISTA; FUSINATO, 2019), realizaram uma adaptação na teoria de Novak e Gowin (1999) para a pontuação dos mapas conceituais. Primeiro sugerem que o avaliador realize uma planificação dos mapas, de modo que as estruturas hierárquicas se tornem mais evidentes e seja mais fácil a identificação dos elementos avaliados. Em seguida, logo após essa identificação, são atribuídos pontos conforme o Quadro 9.

Quadro 9 - Pontuação dos elementos essenciais dos mapas conceituais

Elementos	Pontos
Proposições	2
Hierarquia	5
Ligação simples	1
Ligação cruzada	2
Exemplos	1

Fonte: Novak e Gowin (1999), adaptado pelo Gomes Batista e Fusinato (2019).

A atribuição de pontos para avaliar os mapas conceituais permitiu uma avaliação individual e quantitativa, de modo que fosse possível comparar alguns mapas conceituais produzidos no início do curso com os mapas conceituais produzidos no término da proposta. Dessa forma, utilizando os critérios de pontuação da tabela anterior, foi construída uma nova tabela na qual pôde-se obter as notas realizando um comparativo entre início e fim.

Essa comparação é relevante na medida em que permite comparar os avanços adquiridos pelos professores entre estes momentos de formação. Esse fato se dá pelo motivo que a:

A aprendizagem significativa processa-se quando o material novo, ideias e informações que apresentam uma estrutura lógica, interage com conceitos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura cognitiva, sendo por eles assimilados, contribuindo para sua diferenciação, elaboração e estabilidade (MOREIRA; MASINI, 2001, p. 17).

Destaca-se, que a teoria de Novak e Gowin (1999) sugere um peso maior na pontuação de ligações cruzadas, que representam uma síntese de ideias ou conceitos, entretanto, como os mapas conceituais analisados não apresentaram esse elemento, todas ligações cruzadas obtidas representaram apenas ligações entre ideia correlacionadas em diferentes hierarquias. No quadro 10 é apresentado o resultado das pontuações de 14 professores cursistas que construíram os mapas conceituais no início e fim do curso.

Quadro 10 - Pontuação dos elementos entre os MCI e MCF.

Alunos	Hierarquia (2)		Conceitos/Proposições (5)		Ligações simples (1)		Ligações cruzadas (2)		Exemplos (1)		PI	PF
	MCI	MCF	MCI	MCF	MCI	MCF	MCI	MCF	MCI	MCF		
Professor 2	4	3	4	7	7	11	0	1	3	3	38	57
Professor 3	2	5	9	13	10	15	0	0	1	2	60	92
Professor 6	1	3	4	13	6	11	0	1	2	0	30	84
Professor 7	4	1	8	5	7	8	0	0	1	3	56	38
Professor 8	2	5	5	5	10	11	1	1	7	7	48	55
Professor 9	6	2	10	13	9	17	0	1	0	3	71	91
Professor 10	4	7	5	14	7	13	0	3	2	2	42	105
Professor 12	3	4	6	10	6	11	0	0	0	0	42	69
Professor 16	3	8	7	37	8	33	0	8	0	10	49	260
Professor 17	3	4	6	8	4	9	2	0	0	2	44	59
Professor 19	3	5	8	13	10	14	0	1	2	2	58	95
Professor 22	3	5	11	20	12	20	0	0	1	1	74	135
Professor 28	4	5	10	16	10	17	0	0	1	7	69	114

Fonte: Autoria própria (2021).

A contagem dos elementos dos mapas conceituais, bem como a atribuição de pesos sobre estes, permitiu realizar um comparativo que pudesse evidenciar a aquisição de novos saberes e também facilitar a mensuração de notas se fosse esse o objetivo. Inicialmente a atribuição de pontos para cada elemento é um pouco trabalhosa, mas se minimiza na medida que o avaliador adquire a prática da contagem, se tornando uma estratégia avaliativa útil e proveitosa, permitindo a identificação de elementos da aprendizagem significativa (GOMES, 2021).

Quanto ao grupo de mapas avaliados, notou-se que em um conjunto de 28 análises (14 iniciais e 14 finais), lembrando que cada participante produziu um para cada momento, é possível perceber o crescimento de pontos em 13 dos 14 participantes. Essa foi a primeira evidência positiva sobre a UEPS, pois, após a conclusão do curso constatou-se um avanço significativo com relação a maioria dos participantes, entretanto, cabe destacar que não houve uma linearidade deste aumento de pontos, uma vez que o mapa conceitual é idiossincrático para cada um que o traçou.

Entretanto, no mapa que apresentou uma menor pontuação do momento final para o momento inicial, não apresentou erros de proposições, mas sim que ele (professor 7) substituiu as hierarquias e conceitos por um sistema de organograma,

demonstrando não haver compreendido o processo para a organização subordinada dos conceitos dentro do mapa conceitual. Esse problema poderia ter sido superado se houvesse uma explicação oral do trabalho por este professor, ou uma nova oportunidade para a elaboração de um novo mapa conceitual.

Com relação aos outros 13 professores constatou-se que os avanços foram muito individualizados, pois a exemplo, houve um crescimento tímido em alguns casos (professor 8 e professor 17), que pode ter se dado devido a sua formação inicial, História e Biologia respectivamente, e um crescimento significativo em outros (professor 10, professor 16, professor 22 e professor 28). Para esses casos e os demais, verificou-se um crescimento das hierarquias e das proposições, isto é, a presença de elementos que melhor descreviam a temática desenvolvida no curso de formação. Este crescimento forneceu indícios da aprendizagem significativa, pois os conceitos foram se diferenciando progressivamente, uma vez que os mapas conceituais finais estavam mais completos e respeitavam a subordinação dos conceitos.

O crescimento de pontos também indicou a presença da reconciliação integradora, uma vez que nos mapas finais foi possível identificar a associação de novas ideias que antes não eram apresentadas nos mapas conceituais. Isso demonstra que ao compreender os novos conceitos, os participantes utilizaram estes como subsunçores para agregar novos saberes, porque as estruturas cognitivas podem ter sido modificadas. Essa reconciliação integradora pode ser observada também, quando percebe-se o aumento dos conceitos corretamente estruturados, das ligações simples ou cruzadas.

Neste sentido:

[...] acreditamos que mapas conceituais quando utilizados como ferramenta para a indicação de Aprendizagem Significativa, pode favorecer a consolidação do aprendizado do educando. Da mesma forma, ao serem aplicados como avaliação formal, pode contribuir satisfatoriamente com o processo de ensino e aprendizagem, desde que proporcionem uma compreensão ampla e cheia de significados [...] (GOMES; BATISTA; FUSINATO, 2019, p. 76).

Uma vez que houve uma nova compreensão dos conceitos, também foi possível constatar que os mapas conceituais finais se apresentaram com estruturas hierárquicas melhor organizadas, trazendo mais um elemento necessário da aprendizagem significativa que é a organização sequencial, onde os conceitos se

apresentavam hierarquizados, sendo concluídas com os exemplos. Conforme Moreira (1985), a organização sequencial permite a maximização das ideias-âncora que serão importantes para aprendizagem significativa porque auxilia na compreensão de um novo tópico utilizando conceitos já compreendidos em momentos anteriores.

Ressalta-se que não houve o objetivo de comparar as pontuações obtidas entre os professores, mas sim, as do momento inicial com as do final de cada um, para verificar o avanço obtido em termos de uma possível aprendizagem com a UEPS. Esse dado se torna relevante, porque, segundo Moreira (2010), aprender significativamente implica que cada um dos mapas conceituais confeccionados apresentasse significados próprios.

Portanto, os pontos obtidos nos MCI seriam as ideias-âncoras que conforme Moreira (2012), são conhecimentos estabelecidos na estrutura cognitiva do sujeito, que aprende, e, permite por interação, dar significados a vários conhecimentos. Desta forma, todos os mapas analisados foram considerados como corretos, entretanto, quando estes apresentaram ideias incorretas, elas foram desconsideradas, não mudando a sua pontuação.

De um modo geral, o avanço da pontuação corrobora para inferir a ocorrência da aprendizagem significativa, baseada nos pressupostos teóricos de Ausubel. Assim, se a aprendizagem é significativa, a estrutura cognitiva constantemente se reorganiza, por diferenciação progressiva, reconciliação integradora e organização sequencial, demonstrando que mapas conceituais como os elaborados se diferem de acordo com os momentos, mesmo sendo construídos pelos mesmos autores e sobre os mesmos temas (MOREIRA, 2010).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Este trabalho teve por objetivo investigar o potencial pedagógico de um material didático na área de Física Moderna, sobre conceitos de Astrofísica, a fim de oferecer subsídios metodológicos e práticos, contemplando a interdisciplinaridade, aos professores de Física da rede pública.

Sendo assim, o curso foi elaborado para apresentar no decorrer de cada encontro, além dos conteúdos disciplinares importantes ao trabalho, aspectos relevantes da TAS e os passos sequenciais de uma UEPS, bem como a discussão de recursos que podem auxiliar os professores a buscar indícios de uma aprendizagem significativa.

A proposta foi implementada de forma não presencial, através de encontros semanais e virtuais, utilizando a plataforma *Google Meet*. Utilizando essa modalidade foi possível romper barreiras geográficas, já que professores de cidades diferentes puderam participar, entre eles professores residentes em cidades do NRE de Maringá, Paranavaí, Curitiba, Campo Mourão, entre outros, além de professores de outro estado. Isso trouxe a reflexão sobre a relevância do tema e talvez a ausência de iniciativas como essa.

Através da participação, das interações durante os encontros e das respostas no formulário final foi possível perceber que a proposta foi capaz de despertar o interesse dos docentes. Além disso, durante os encontros os professores participaram ativamente das discussões e da realização da atividade experimental, questionando e relacionando o material a outros conteúdos disciplinares.

Mesmo sendo uma proposta interdisciplinar, houve a surpresa pela participação de professores de outras áreas do conhecimento como a Biologia, Ciências, Geografia, Química e Matemática. Este fato fortaleceu ainda mais o caráter interdisciplinar da proposta, principalmente ao encontrar nas respostas fornecidas no formulário e até mesmo pelas falas e mensagens durante os encontros um *feedback* positivo. Os professores apontaram que conteúdos e forma como estavam sendo trabalhados eram de fácil entendimento e se mostravam adequados também a essas áreas do conhecimento.

Por meio das respostas do formulário e da fala dos participantes, também foi constatado que os materiais (*slides*), experimentos e o simulador foram recursos importantes, pois deixaram os encontros mais atrativos, motivadores e estimularam os questionamentos, o que caracteriza a proposta como um material potencialmente significativo.

A análise dos mapas conceituais também permitiu perceber indícios da aprendizagem significativa. Ao comparar os mapas iniciais e finais, é possível perceber a presença de termos e relações e troca de significados demonstrando que a aprendizagem ocorreu por diferenciação progressiva e reconciliação integradora. Provando assim o caráter significativo da proposta, mesmo quando implementada com professores. Acredita-se que os resultados encontrados com alunos da educação básica não destoariam dos encontrados neste trabalho, no entanto, tal verificação foi deixada para trabalhos futuros.

O trabalho desenvolvido através UEPS, foi capaz de demonstrar aos professores a importância de processo de ensino organizado, sistematizado, capaz de oferecer procedimentos para a aprendizagem significativa se desenvolver em qualquer contexto, já que a maioria concordou que utilizaria a sequência didática apresentada. Caracterizando a UEPS aqui apresentada como um recurso facilitador da aprendizagem.

Outro fator apontado nas respostas dos formulários foi a reflexão sobre a prática pedagógica e a importância em inserir tópicos de FM em sala de aula. Os professores puderam refletir que é possível falar sobre esses conteúdos sem a necessidade da matematização complexa.

Pode-se dizer também que esta proposta, de acordo com Langhi e Nardi (2009), se caracterizou como espaço formal destinado a professores em serviço para aprendizado de conteúdos relacionados à Astronomia. A implementação dessa proposta além prever tópicos de Astronomia e Astrofísica, preocupou-se com a metodologia, com a sugestão de recursos e materiais variados. Além disso destacou uma carência e um desejo dos docentes por mais cursos como esse. Essa constatação foi evidenciada pelo pedido dos docentes por mais horas de cursos e de outros cursos com tópicos na área de Astronomia.

Por fim, as manifestações dos professores participantes do curso em relação à qualidade do material, recursos e metodologia utilizadas permitem concluir e comprovar o potencial pedagógico da proposta. Espera-se que os professores de

Física da Educação Básica possam explorar essa proposta, para nortear o tema abordado de acordo com sua realidade, utilizando as diversas ferramentas didáticas apresentadas.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P. **Alguns aspectos psicológicos da estrutura do conhecimento**. Buenos Aires: El Ateneo, 1973.
- AUSUBEL, D. P., Novak. J. D., & Hanesian, H. **Psicologia educacional**, 2ª ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BARROS, L.; Assis, A.; Langhi, R.. Proposta de construção de espectroscópio como alternativa para o ensino de Astronomia. 2016 **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. 33. 1026 - 1046.10.5007/2175-7941.2016v33n3p1026.
- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação Qualitativa em Educação: uma introdução à teoria e aos métodos**. Porto – Portugal. Porto Editora, 1994.
- BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília, 2018.
- CRUZ, C. C. **A teoria cognitivista de Ausubel**. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, 2011 – Unicamp. Disponível em: http://www.robertexto.com/archivo3/a_teor%C3%ADa_ausubel.htm. Acesso em 12 de jul. 2021
- CRUZ, J. TAVARES, COSTA, M. (2020). Aprendizagem significativa no contexto do ensino remoto. **Dialogia**. 411-427. 10.5585/dialogia. n36.17760. Acesso em 12 de jul. 2021
- DIAS, C. A. Grupo focal: técnica de coleta de dados em pesquisas qualitativas. **Informação & Sociedade: Estudos**, v. 10 n.2 2000, n. 2, 2000. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/20.500.11959/brapci/92532>>. Acesso em: 01 abr. 2021.
- DIAS, J. Luz e espectros. **Ventos do universo**. 2012. Disponível em: <https://ventosdouniverso.blogspot.com/search?q=espectros>. Acesso em 01 de jul. 2021
- DIAS, J. RCF (Radiação Cosmológica De Fundo). **Ventos do universo**. 2013. Disponível em: <http://ventosdouniverso.blogspot.com/2013/04/?m=0>. Acesso em: 26 de out. 2021.
- EISBERG, R., RESNICK, R. **Física Quântica: Átomos, Moléculas, Sólidos, Núcleos e Partículas**. 23ª Triagem. Rio de Janeiro: Campos, 1979.
- FARIA, W. de. **Aprendizagem e planejamento de ensino**. São Paulo, Ática, 1989.
- FELTRE, R. **Química**. Volume 1 . 6. ed. São Paulo : Moderna, 2004.
- FILGUEIRAS, C. A. A espectroscopia e a química da descoberta de novos elementos ao limiar da teoria quântica. **Química Nova na Escola**, n.3, 1996. Disponível em: <http://qnesc.sbg.org.br/online/qnesc03/historia.pdf>. Acesso em: 12 de jul. 2021.

GUIMARÃES, Fernando Feliciano. **Proposta de sequência didática para o estudo da radiação do corpo negro no ensino médio**. 2018. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2018. Disponível em: <http://repositorio.utfpr.edu.br:8080/jspui/handle/1/3240>. Acesso em: 12 de jul. 2021.

GOMES, E. C. **Contribuições de metodologias ativas para o ensino de física 3 em um curso de engenharia eletrônica**. 2021. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência e a Matemática) Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2021. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/6135>. Acesso em: 12 de jul. 2021.

GOMES, E. C. **Ondas eletromagnéticas: possibilidades da aplicação no ensino médio a partir das relações CTS**. 2017. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência e a Matemática) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2017. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/6134>. Acesso em: 12 de jul. 2021.

GOMES, E. C.; BATISTA, M. C.; FUSINATO, P. A. A utilização de mapas conceituais como instrumento de avaliação no ensino de física. **REnCiMa**, v. 10, n. 3, p. 58-78, 2019.

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 jul. 2021.

HETEM; J. G. Estrutura e Evolução Estelar. **Observatórios Virtuais – Fundamentos de Astronomia** – Cap. 10 (Gregorio-Hetem & Jatenco-Pereira) Atualização 2010. <http://www.astro.iag.usp.br/~jane/aga215/apostila/cap11.pdf>. Acesso em: 12 de jul. 2021.

INPE - INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS 2020. Cosmologia. Disponível em <http://www.das.inpe.br/cosmo/intro-rcf/espectro-de-corpo-negro.php>. Data de acesso 04/04/2021. Acesso em: 12 de jul. 2021.

JESUS, R. T. de, AMORIM, R. G. G. de. Uma Proposta de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa para Ensinar Física de Partículas por meio de Jogos de Cartas. **Revista do Professor de Física**, v. 3, n. 1, p. 47-84, Brasília, 2019. Instituto de Física - Universidade de Brasília. Acesso em 11 de jul. 2021.

LANGHI, R; NARDI. Ensino da astronomia no Brasil: educação formal, informal, não formal e divulgação científica. **Revista Brasileira de Ensino de Física** [online]. 2009, v. 31, n. 4. pp. 4402-4412. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000400014>>. Epub 26 Abr 2010. ISSN 1806-9126. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172009000400014>. Acesso em 11 de jul. 2021

LIMA, C. C. B. de. **Análise combinatória: uma aprendizagem significativa com mapas conceituais**. 2011. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade

Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011. Disponível em: https://repositorio.ufpb.br/jspui/handle/tede/4634?locale=pt_BR. Acesso em 12/07/2021.

MINAYO, M.C. de S. (org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. 28ª ed. Rio de Janeiro, Vozes, 2009.

MONTEIRO, C. E. F.; CAMPOS, T. M. M. **Aspectos visuais e conceituais envolvidos na interpretação de gráficos**. Revista Iberoamericana De Educación Matemática, N. 24, P. 135-144, 2010.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos. NARDI, R. org. **Ensino de ciências e matemática**, I: temas sobre a formação de professores [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 258 p. ISBN 978-85-7983-004-4. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/g5q2h/pdf/nardi-9788579830044-10.pdf>. Acesso 21 de fev. de 2021.

MOREIRA, M. A. **Ensino e aprendizagem: enfoques teóricos**. São Paulo: Editora Moraes, 1985.

MOREIRA, M.A. BUCHWEITZ, B. (1993). **Novas estratégias de ensino e aprendizagem: os mapas conceituais e o Vê epistemológico**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas.

MOREIRA, M.A., CABALLERO, M.C. e RODRÍGUEZ, M.L. (orgs.) (1997). **Aprendizagem significativa: um conceito subjacente**. Actas del Encuentro Internacional sobre el Aprendizaje Significativo. Burgos, España. pp. 19-44. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/~moreira/apsigsubport.pdf>. Acesso em: 09/07/2021

MOREIRA, M. A. **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1999.

MOREIRA, M. A. MASINI, E. A. F. (2006). **Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel**. 2ª ed. São Paulo: Centauro Editora.

MOREIRA, M. A. **Mapas conceituais e aprendizagem significativa**. São Paulo: Centauro Editora, 2010.

MOREIRA, M.A.; Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS. In. SILVA, M. G. da.; MOHR, A.; ARAÚJO, M. F.F. de. (orgs). **Temas de ensino e formação de professores de ciências**. Natal: EDUFERN, 2012. p.45-71. Disponível em: https://ppgect.ufsc.br/files/2013/05/LivroCasadinho_V2_2013.pdf. Acesso 21 de fev. de 2021.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo, Livraria Editora da Física, 2011.

MOREIRA, M. A. Mapas conceituais e aprendizagem significativa. Revista Galáico Portuguesa de Sócio-Pedagogia e Sociolinguística, Pontevedra/Galícia/Espanha e Braga/Portugal, N° 23 a 28: 87-95, 1988. Publicado também em **Cadernos de Aplicação**, 11(2): 143-156, 1998. Revisado e publicado em espanhol, em 2005, na **Revista Chilena de Educação Científica**, 4(2): 38-44. Revisado novamente em 2012. Disponível em: [ttp://moreira.if.ufrgs.br/mapasport.pdf](http://moreira.if.ufrgs.br/mapasport.pdf). Acesso em 09 de jul 2021.

MOREIRA, M. A. O que é afinal aprendizagem significativa? **Revista cultural La Laguna Espanha**, 2012. Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>. Acesso em: 09/07/2021.

MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da Física na educação contemporânea. **Revista do Professor de Física**, v. 1, n.1, 2017. Disponível em: <http://periodicos.unb.br/index.php/rpf/article/view/25190>. Acesso em 11 de jul. 2021

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. Disponível em: <http://www.astro.iag.usp.br/~guia/>. Acesso em 06 de out. 2020.

NAPOLEÃO, T.A. **Uma pequena história da espectroscopia**. Grupo Alfa Cruxis: Pesquisas e estudos astronômicos, 2020. Disponível em: <https://alfacruxis.org/artigos/uma-pequena-historia-da-espectroscopia/> Acesso em: 28 de fev. 2021

GARCIA, B.; MORENO, R.; ROS, R. M. Astronomia fora do visível. In: ROS, R. M.; GARCIA, B.(editoras). **14 passos para o Universo**: Curso de Astronomia para professores e pós-graduados em ciências. 1ª Edição. NASE; Network for Astronomy School Education. 2018. Disponível em: http://sac.csic.es/astrosecundaria/pt/cursos/formato/materiales/libro/libro_14_pasos_f inal.pdf. Acesso em: 11 de jul. 2021.

NOVAK, J. D.; GOWIN, B. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano, 1999.

OLIVEIRA, F.F de; VIANNA, D.M; GERBASSI, R.S.; Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Rev. Bras. Ensino Fís.**, São Paulo , v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007 . Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/rh5x6dG35fJrV87r99L5PmK/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 20 jun. 2021.

OLIVEIRA FILHO, K de S.; SARAIVA, M. de F. O. **Astronomia & Astrofísica**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2014.

OLIVEIRA FILHO, K de S.; SARAIVA, M. de F. O. **O Diagrama Cor-Magnitude - Hertzsprung-Russel** - 2016. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/estrelas/node2.htm>

OLIVEIRA FILHO, K de S.; SARAIVA, M. de F. O. **Espectroscopia** – 2016. Disponível em: em: 26 de novembro de 2016.

PAULO, D.. **Unidades de Ensino Potencialmente Significativas (UEPS) em Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA) como Instrumento de Aprendizagem Significativa de Física no Ensino Médio**. 2013. 123f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas - Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2013. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/5062?show=full>. Acesso em 20 jul. 2021.

PIETROCOLA, P. C.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em contextos**. Volume 3. 1ª Edição. São Paulo. Editora do Brasil. 2016.

REIS, N. Estrelas. **Astronomia, Astronáutica e Ciências Espaciais na Escola**, 2011. Disponível em: <https://educacaoespacial.wordpress.com/2011/11/09/estrelas/>. Acesso em: 21 de out. 2021.

QUARTUCCIO, J.T. O problema da radiação de corpo negro. **Instituto de Pesquisas Científicas**. 2016. Disponível em <https://institutodepesquisascientificas.wordpress.com/2016/04/17/o-problema-da-radiacao-de-corpo-negro-da-catastrofe-do-ultravioleta-a-teoria-quantica/>. Acesso em: 21 de out. 2021

SATO, E. Importante reação nuclear foi detectada pela primeira vez no Sol. **Instituto Principia**. 2021. Disponível em: <https://www.institutoprincipia.org/post/importante-rea%C3%A7%C3%A3o-nuclear-foi-detectada-pela-primeira-vez-no-sol>. Acesso em: 21 de out. 2021

SANTOS, J. N. dos. **Uso de ferramentas cognitivas para a aprendizagem de física**. 2005.129f. Dissertação (Mestrado) em Física – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 2005. Disponível em: <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/pdf/DissertacaoNazareno.pdf>. Acesso em: 21 de jul de 2021

SILVA, J. **A Teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel: uma análise das condições necessárias**. 9. 13. Research, Society and Development, v. 9, n. 4, e09932803, 2020. (CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i4.2803>. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/339916302>. Acesso em: 21 de jul. de 2021

SILVA, S. de C. R. da; SCHIRLO, A. C. Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel: reflexões para o ensino de física ante a nova realidade social. **Imagens Da Educação**, 4(1), 36-42. <https://doi.org/10.4025/imagenseduc.v4i1.22694>. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ImagensEduc/article/view/22694>. Acesso em: 21 de jul. de 2021.

SPOHR, C. B. GARCIA, I. K. SANTAROSA, M. C. P. Asserção de processos de ensino e aprendizagem como um campo conceitual. ISSN – 1982-4866. **Revista Dynamis**.

SERWAY, R. A., JEWETT, J. W. **Eletricidade e Magnetismo**. Rio de Janeiro: LTC, 2011. v. 3.

SERWAY, R. A., JEWETT, J. W. **Princípios de Física: Ótica e Física Moderna**. Rio de Janeiro: LTC, 2012. v. 4.

SOUZA, G.; PINHEIRO, N. (2019). Unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS): Identificando tendências e possibilidades de pesquisa. **Revista Dynamis**. Furb, Blumenau, V.25, N.1, P 113-128, 2019. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/333527394_UNIDADES_DE_ENSINO_POTENCIALMENTE_SIGNIFICATIVAS_UEPS_IDENTIFICANDO_TENDENCIAS_E_POSSIBILIDADES_DE_PESQUISA_POTENTIALLY_MEANINGFUL_TEACHING_UNITS_PMTU_IDENTIFYING_TRENDS_AND_RESEARCH_POSSIBILITIES. Acesso em 21 de jul. 2021

TIPLER, P.A; LLEWELLYN R. A., **Física Moderna**, Ed. LTC, Rio de Janeiro, 2006

TIRONI, C. R; SCHMIT, E; SCHUHMACHER, V. R. N; SCHUHMACHER, E. A Aprendizagem Significativa no Ensino de Física Moderna e Contemporânea. **IX Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências** Águas de Lindóia, SP – 10 a 14 de Novembro de 2013. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/303247292_A_Aprendizagem_Significativa_no_Ensino_de_Fisica_Moderna_e_Contemporanea. Acesso em 01 de jul. 2021.

VALVERDE, C; BASEIA, B; BAGNATO, V. Mecanismos de alargamento de linhas espectrais atômicas. **Rev. Bras. Ensino Física**, vol. 38, nº 4. Dez 2016. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0092>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbef/a/QkLc3KWzBSyKj4fdnhVnHLf/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 01 de jul. 2021.

YIN, R. K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Penso Editora, 2016.

VALADARES, J. A teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista. **Aprendizagem Significativa em Revista/**Meaningful Learning Review – V1(1), pp. 36-57, 2011. Disponível em: http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID4/v1_n1_a2011.pdf. 01 de jul. 2021.

ZEUXIS, C. A luz para a metáfora do conhecimento. **Nefelibata Boy**, 2020. Disponível em: <http://perifocus.blogspot.com/>. Acesso em: 21 de out. 2021

APÊNDICE 1 - Experimentos sugeridos no 3º encontro

Experimentos sugeridos no 3º encontro

Experimentos sugeridos no 3º encontro do curso foram retirados da dissertação de Mestrado: PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA PARA O ESTUDO DA RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO NO ENSINO MÉDIO de Fernando Feliciano Guimarães (2018). A tese completa pode ser acessada pelo: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3240/1/sequenciadidaticaensinoradiao.pdf>

Experimento 1: Comprovando a existência da radiação infravermelho

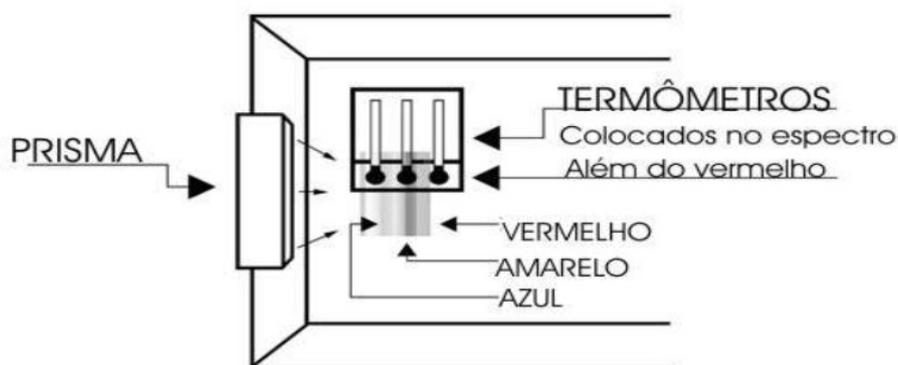
Objetivo: Verificar experimentalmente a existência da radiação infravermelho.

Materiais

- Uma caixa de plástico de 30 cm por 10 cm.
- Três termômetros de mercúrio.
- Um prisma com base triangular.

Procedimento: Prenda o prisma no topo da caixa de plástico direcionando a caixa para captar a maior incidência de luz solar possível. É necessário que os raios solares passem por dentro do prisma atingindo o fundo da caixa, como mostra a figura acima. Em seguida, para garantir uma melhor precisão nas medidas, com uma caneta preta de tinta permanente, pinte o bulbo de cada termômetro (esse procedimento vai garantir uma melhor absorção da radiação), deixando-os alinhados para cobrir os aspectos de cores vermelho, azul, para registrar a incidência do raio infravermelho, deixe um termômetro antes da cor vermelha, como indicado na figura 23 abaixo.

Figura 23 - Posição dos termômetros em relação ao espectro luminoso



Fonte: Guimarães, (2018)

Antes de direcionar os termômetros para luz visível, certifique-se que todos os termômetros estão na mesma temperatura, em seguida posicione os termômetros de acordo com o esquema acima deixando-os por aproximadamente 5 minutos, meça a temperatura dos raios de luz nos respectivos termômetros, registrando os seus valores em uma tabela minuto a minuto. Antes de direcionar os termômetros para luz visível, certifique-se que todos os termômetros estão à mesma temperatura, em seguida posicione os termômetros de acordo com o esquema acima deixando-os por aproximadamente 2 minutos, meça a temperatura dos raios de luz nos respectivos termômetros, registrando os seus valores no quadro 11.

Quadro 11 - Variação de temperatura das cores vermelho azul e radiação infravermelho

Espectros	0,5 MIN.	1 MIN.	1,5 MIN.	2 MIN.
VERMELHO TEMPERATURA				
AZUL TEMPERATURA				
INFRAVERMELHO TEMPERATURA				

Fonte: Guimarães, (2018)

Experimento 2: Experimento de absorção de radiação do corpo negro

Objetivo: Comprovar experimentalmente que os corpos de cores escuras absorvem mais radiação do que os de cores claras.

Materiais

- Duas latas de alumínio.
- Tinta preta e tinta escura.
- Dois termômetros digitais.
- Uma lâmpada de 60 W de farol de automóvel.
- Um soquete.
- Um metro e meio de fio fino paralelo.
- Um conector para conectar o fio à tomada.

Figura 24 - Latas tingidas de branco e preto para demonstrar do experimento



Fonte: Guimarães, (2018)

Procedimento: Pinte uma lata de preto outra de branco como mostra a figura XX. Coloque dentro de cada uma das latas um termômetro digital. Com a ajuda de uma furadeira, faça um furo de modo que permita a passagem do

fio de luz como mostra figura ilustrativa 24, em seguida instale o fio no soquete e fixe-o na base de madeira parafusando-a no suporte como mostra a figura 21 acople a lâmpada no soquete de madeira de forma que ela fique equidistante das lâmpadas a mais ou menos 10 cm, certifique-se que os termômetros estão à mesma temperatura e acenda a lâmpada aguardando 5 minutos. Se certifique que os respectivos termômetros atingiram a temperatura final máxima, após essa certificação, por meio da equação de Wien chegou o momento de calcularmos o máximo comprimento de onda possível para esse corpo em sua máxima temperatura.

APÊNDICE 2 - Experimento sugerido no 5º encontro

Experimento sugerido no 5º encontro

Experimento 3: **Construção de um espectroscópio**

O experimento sugerido será realizado no 5º encontro do curso e foi retirado do material elaborado para a oficina 7 pelo grupo NASE. Para a obtenção do material completo acesse o link:

[http://sac.csic.es/astrosecundaria/pt/cursos/formato/materiales/conferencias/T7_pt.p](http://sac.csic.es/astrosecundaria/pt/cursos/formato/materiales/conferencias/T7_pt.pdf)

[df.](#) Assista o vídeo com a demonstração da montagem:

https://www.youtube.com/watch?v=ZJZ_-Oa7Uks

Materiais

Molde para o espectroscópio;

Tesoura;

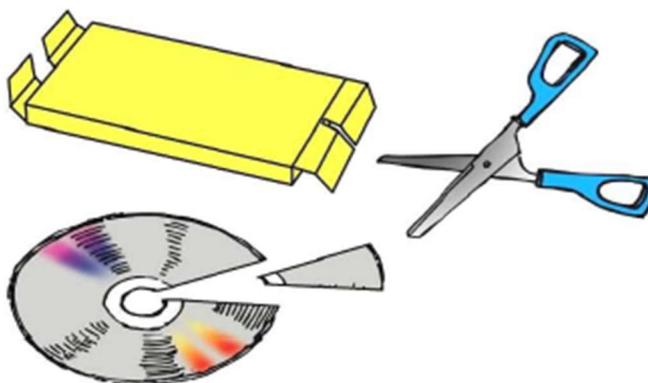
CD

Cola

Procedimento:

Pegue um CD ou um DVD (figura 25), e com tesouras boas corte de forma radial um pedaço. Se usar um CD deve ser prateado pela parte que não é gravado, isto é, não deve estar impresso, nem ser branco nem de outra cor.

Figura 25 - Materiais e corte no CD



Fonte: GARCIA *et al* (2018)

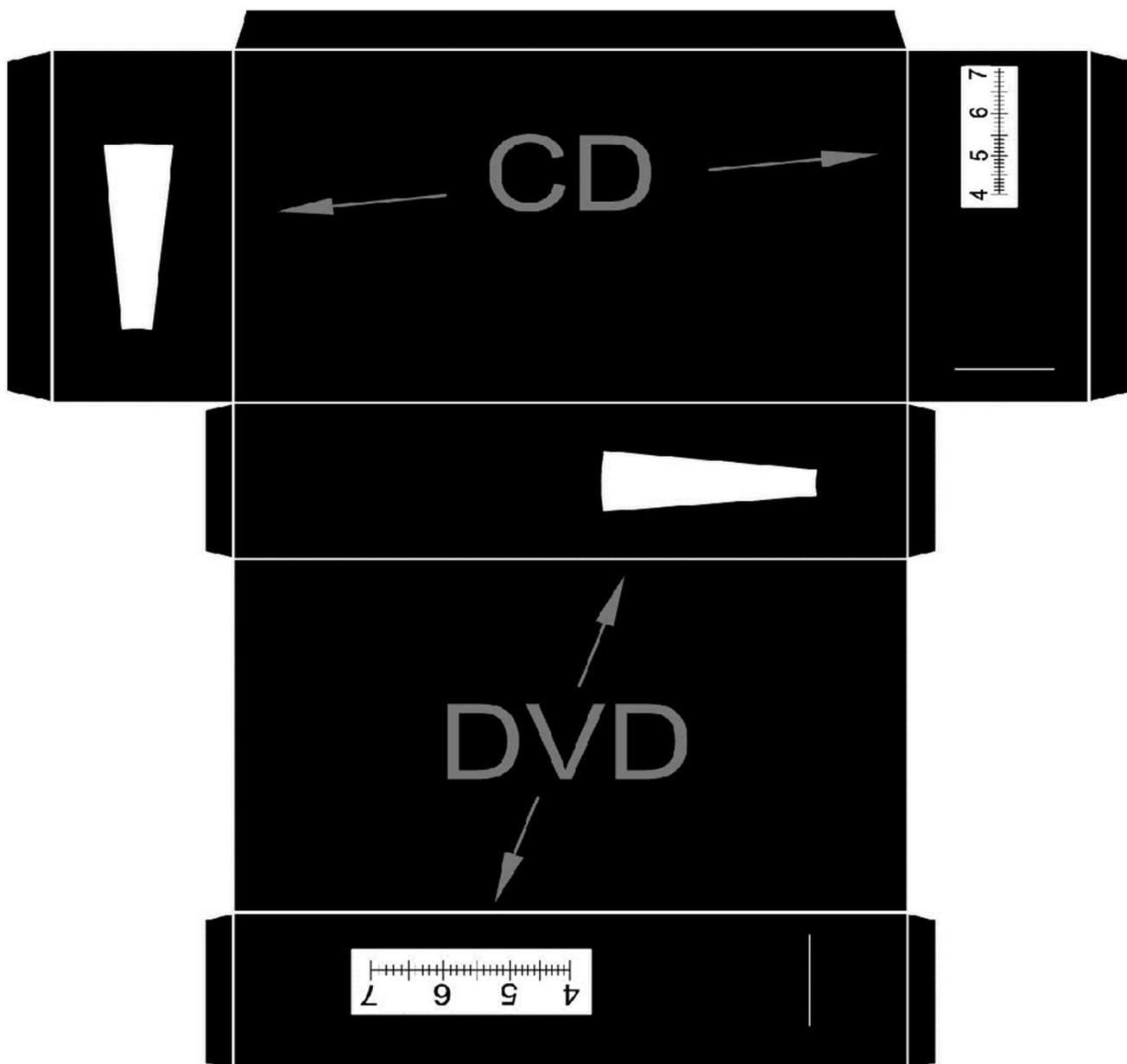
Para desprender a capa metálica do CD, você pode usar fitas adesivas, riscando previamente a superfície (figura 26). Se usar um DVD, o procedimento anterior não é necessário: basta separar no pedaço cortado a capa de plástico superior da inferior dobrando-o levemente ou com a ajuda de uma chave de fenda, e terão a rede de difração preparada.

Figura 26 - Preparação do CD

Fonte: GARCIA *et al* (2018)

Faça uma fotocópia em papel do modelo da figura 26 de preferência em tamanho A3, pois será mais exato. Recorte o modelo, incluindo a parte branca em forma de setor circular, e faça uma fresta fina na listra próxima à escala graduada. Esta escala NÃO se deve recortar. Monte a caixa deixando a parte preta no interior e cole sobrepondo-as. Em um buraco deixado no setor circular, cole o pedaço de CD ou DVD que preparamos. Está impresso “CD” e “DVD”, para recortar um ou outro setor circular e fresta, conforme possuam um ou outro tipo de disco. Se olhar através do pedaço de disco, direcionando a fresta da caixa (não a escala) para uma lâmpada de baixo consumo ou um tubo fluorescente, será vista nitidamente sobre a escala as linhas de emissão dos gases que contêm essas lâmpadas. Se não for vista, olhe à direita da lâmpada e mova o espectroscópio lentamente para a esquerda até que apareçam as linhas. A escala está graduada em centenas de nanômetros, isto é, a marca 5 indica 500 nm ($500 \cdot 10^{-9}$ m). Quanto mais fina for a fresta, com maior precisão será medida a longitude de onda das listras. É possível fazer a caixa com cartolina. Nesse caso, é necessário recortar o retângulo da escala e colar uma cópia da escala feita em papel normal sobre esse buraco, para que possa tornar transparente a escala. Também é possível olhar os faróis das ruas, tanto os laranjas (de sódio) como os brancos (de vapor de mercúrio). As lâmpadas incandescentes tradicionais oferecem um espectro contínuo.

Figura 27 - Molde para o espectroscópio



Fonte: GARCIA *et al* (2018)

APÊNDICE 3 - Formulário aplicado aos professores

Formulário aplicado aos professores

Efetividade da UEPS

Olá professor! Gostaríamos de saber sua opinião sobre o nosso trabalho. Dessa forma peço por gentileza que você responda esse formulário, lembrando que ao enviar as respostas você estará aceitando as condições previstas no TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Endereço de e-mail :

Nome (opcional) :

Disciplina que Leciona:

Cidade e NRE:

UMA INTRODUÇÃO A ASTROFÍSICA A PARTIR DA ESPECTROSCOPIA

1) Qual a sua opinião sobre o tema “ UMA INTRODUÇÃO A ASTROFÍSICA A PARTIR DA ESPECTROSCOPIA”, trabalhado nessa proposta?

- () Muito bom
- () Bom
- () Regular
- () Ruim

2) Como você avalia nossos encontros durante a implementação deste produto educacional?

- () Muito bom
- () Bom
- () Regular
- () Ruim

3) Você acredita que os conteúdos trabalhados nos encontros e nas atividades realizadas tem relação como o cotidiano? Exemplifique.

4) A metodologia utilizada durante os encontros facilitou seu entendimento do conteúdo?

- () Sim
- () Parcialmente
- () Não

5) As atividades realizadas (simuladores, vídeos e experimento) estavam coerentes com o assunto apresentado?

- () Sim
() Parcialmente
() Não

6) Em relação ao tema abordado, suas expectativas foram atendidas?

- () Sim
() Parcialmente
() Não

7) Dos recursos utilizados (Simulador, Formulário, Experimento e *Slides*), qual(is) você mais gostou? Comente.

8) Você acredita que os conteúdos trabalhados foram capazes de colaborar para sua aprendizagem ? Comente.

9) Os conteúdos trabalhados foram capazes de ajudar você professor a compreender melhor sobre Astrofísica? Comente

10) Você acredita que os conteúdos discutidos nesse curso poderão contribuir para sua prática docente? Comente.

11) Você acredita que os conteúdos discutidos nesse curso poderão contribuir para sua prática docente? Comente.

12) Você utilizaria nossa a UEPS, em suas aulas? Comente.

13) O que você acredita que poderia ser melhorado no decorrer dos encontros? Registre sua opinião ou comentário.

APÊNDICE 4 - Produto Educacional



**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA**

ANDRÉIA ÁGUEDA MAGRON

**PRODUTO EDUCACIONAL:
PROPOSTA DE UMA UEPS PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA NO
ENSINO MÉDIO A PARTIR DA ESPECTROSCOPIA**

**CAMPO MOURÃO
2021**

ANDRÉIA ÁGUEDA MAGRON

**PROPOSTA DE UMA UEPS PARA O ENSINO DE FÍSICA MODERNA NO
ENSINO MÉDIO A PARTIR DA ESPECTROSCOPIA**

Produto Educacional apresentado ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (Polo 32 MNPEF), campus Campo Mourão, como requisito à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador(es):
Dr. Michel Corci Batista
Dr. Gilson Junior Schiavon

CAMPO MOURÃO

2021



[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.

UMA INTRODUÇÃO A ASTROFÍSICA A PARTIR DA ESPECTROSCOPIA



Fonte: ALTMANN (2015)¹

ANDRÉIA ÁGUEDA MAGRON

MICHEL CORCI BATISTA

GILSON JÚNIOR SCHIAVON

¹ ALTMANN, G. **PIXABAY**, 2015, disponível em: <https://pixabay.com/pt/users/pexels-2286921/>
Acesso em: 01 de out. 2021

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA.....	4
1º MÓDULO	8
SUPLEMENTO 1.....	10
QUESTIONÁRIO INICIAL	11
2º MÓDULO.....	14
SUPLEMENTO 2.....	16
TUTORIAIS	17
MAPA CONCEITUAL INICIAL.....	25
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.	26
ATIVIDADE E AVALIAÇÃO	41
3º MÓDULO.....	45
SUPLEMENTO 3	47
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – APROFUNDAMENTO 1.....	48
ATIVIDADE E AVALIAÇÃO	56
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – APROFUNDAMENTO 2.....	60
ATIVIDADE E AVALIAÇÃO.....	71
MAPA CONCEITUAL FINAL.....	75
4º MÓDULO	76
SUPLEMENTO 4	78
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.	79
MONTAGEM DO ESPECTROSCÓPIO.....	81
MOLDE PARA O ESPECTROSCÓPIO.....	83
ATIVIDADE E AVALIAÇÃO	84
CONSIDERAÇÕES FINAIS	87
REFERENCIAS	88

APRESENTAÇÃO DA PROPOSTA

A Física enquanto área de conhecimento, colabora para o desenvolvimento e evolução das inovações tecnológicas, a partir dos princípios, leis, estudos e pesquisas, mas quando reporta-se ao ensino da Física no Ensino Médio o professor se depara com obstáculos como um ensino tradicional, baseado apenas na transmissão e reprodução automática de conteúdos e também a presença de um currículo defasado que por vezes privilegia os conteúdos discutidos na Física Clássica em detrimento a Física Moderna (MOREIRA, 2018).

A alteração dos currículos de Física, com a inserção de tópicos de Física Moderna aos estudantes do Ensino Médio tem sido um grande desafio para os professores de Física. Monteiro *et al* (2009), realizaram uma pesquisa com professores de Física do Ensino Médio, e esses profissionais ao serem questionados sobre os impedimentos que levam a não inclusão da Física Moderna em seus planos de trabalhos, apontaram motivos como: número reduzido de aulas, muitos conteúdos de Física Clássica, e as dificuldades de aprendizagem dos alunos que chegam ao Ensino Médio.

Assim, na tentativa de introduzir os conceitos de Física Moderna no Ensino Médio, foi elaborada uma UEPS (Unidade de Ensino de Potencialmente Significativa) que visa introduzir conceitos da Física Moderna a partir da Astrofísica Estelar.

A UEPS é uma sequência de ensino fundamentada na Aprendizagem Significativa e foi proposta pelo Professor Marco Antônio Moreira. O ponto de partida para essa proposta será a Espectroscopia com o respaldo da Teoria de Aprendizagem Significativa (TAS) proposta por Ausbel (1989).

A TAS possibilita que os conceitos que serão trabalhados tenham um maior significado para o aprendiz que passa a perceber melhor as interações e possibilidades que conteúdos disciplinares carregam e que é possível aprender sem a “decoreba” tão característica do ensino mecânico (MOREIRA, 2011).

A Aprendizagem Significativa, tem como ponto de partida o levantamento prévio de conceitos. O conhecimento prévio é parte fundamental de uma UEPS, pois, em posse disso o professor pode moldar seu trabalho,

reconhecer os organizadores prévios necessários e propor situações problemas capazes de promover a Diferenciação Progressiva e a Reconciliação Integradora (MOREIRA, 2011).

Desse modo, este material foi pensado para estudantes do Ensino Médio, como uma alternativa ao ensino remoto e se encontra dividido em 4 (quatro) módulos com atividades síncronas e assíncronas. Para a implementação da proposta sugere-se a utilização da plataforma *Google Sala de Aula* para a disponibilização dos materiais vídeos e atividades e os formulários *Google* para os questionários.

No quadro 1 encontra-se a organização da UEPS em módulos e etapas, assim como uma breve descrição do que ocorrerá em cada momento.

Quadro 1 - Organização da proposta

MÓDULO	Etapa da UEPS	Modalidade	Descrição da atividade
MÓDULO 1	Apresentação do tema	Assíncrona	Por meio de um vídeo curta duração, o professor explicará como o trabalho será desenvolvido, como ele está organizado e o que se espera dos estudantes.
	Levantamento dos conhecimentos prévios	Assíncrona	Através do ambiente virtual, os estudantes deverão responder as questões contidas na Atividade 1: Questionário Inicial, que tem por objetivo realizar o levantamento dos conceitos prévios.
MÓDULO 2	Proposição de uma situação problema	Síncrona	De forma síncrona, o professor fará uma breve explicação sobre mapas conceituais e solicitará aos estudantes a elaboração de um mapa conceitual a partir do termo ASTROFÍSICA. Após a confecção dos mapas conceituais o professor deverá apresentar a situação problema inicial.
	Diferenciação progressiva	Síncrona	Após as discussões em torno da situação problema inicial o professor fará a introdução gradativa dos conceitos físicos que possibilitem ao estudante responder os questionamentos do texto (Atividade 2). Terminada a explicação o professor e os estudantes deverão retomar a situação problema e se julgarem necessário, construir e ou reformular a resposta questão inicial. Finalizada a aula os estudantes serão orientados a

			responder a Atividade 3 – Situação Problema Inicial e outras questões, bem como encaminhar os mapas conceituais por meio da plataforma.
MÓDULO 3	Aprofundamento dos conceitos	Assíncrona e Síncrona	Para a modalidade assíncrona, serão gravadas 2 (duas) videoaulas. Estas aulas serão postadas separadamente no <i>Google</i> sala de aula e junto a cada uma delas será anexado um questionário elaborado com os conteúdos trabalhados (Atividade 4 e Atividade 5). Já na modalidade Síncrona, finalizando no módulo, o professor realizará um aula, para discutir as dúvidas e propor a construção de um novo mapa conceitual (Atividade 6) .
MÓDULO 4	Reconciliação integradora	Assíncrona e síncrona	Na modalidade assíncrona, será disponibilizado aos alunos um roteiro e um vídeo para a confecção de um espectroscópio e posterior observação de fontes luminosas (Atividade 7). Para o momento síncrono professor e alunos devem discutir as observações do experimento. Em seguida o professor deve propor uma nova situação problema, que deve ser respondida de forma coletiva. Para registro dessa atividade cada estudante deve responder a ao questionário (Atividade 8) com as questões discutidas em aula.
	Avaliação	Assíncrona	A Avaliação ocorrerá ao final de cada módulo, a partir dos formulários preenchidos e dos mapas conceituais.
	Efetividade	Assíncrona	Junto à atividade 8 os estudantes realizarão uma auto avaliação sobre a UEPS, apontando seus pontos positivos e negativos e também a relevância dos conteúdos.

Fonte: Autoria própria (2021)

Os módulos desse material foram apresentados de forma sucinta no quadro acima, mas no decorrer da proposta cada um deles é apresentado de forma detalhada, com os encaminhamentos, objetivos de cada módulo e atividades.

Outra preocupação foi elaborar uma proposta pautada em documentos oficiais como a BNCC (Base Nacional Comum Curricular) em que a disciplina de Física se apresenta dentro da Área de Conhecimento: Ciências da Natureza e suas Tecnologias com suas Competências Específicas e Habilidades esperadas para o ensino dessa Ciência, apresentadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Competências e Habilidades

COMPETÊNCIAS ESPECÍFICAS	HABILIDADE.
<p>COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 1: Analisar fenômenos naturais e processos tecnológicos, com base nas relações entre matéria e energia, para propor ações individuais e coletivas que aperfeiçoem processos produtivos, minimizem impactos socioambientais e melhorem as condições de vida em âmbito local, regional e/ou global.</p>	<p>(EM13CNT103) Utilizar o conhecimento sobre as radiações e suas origens para avaliar as potencialidades e os riscos de sua aplicação em equipamentos de uso cotidiano, na saúde, na indústria e na geração de energia elétrica.</p>
<p>COMPETÊNCIA ESPECÍFICA 2: Construir e utilizar interpretações sobre a dinâmica da Vida, da Terra e do Cosmos para elaborar argumentos, realizar previsões sobre o funcionamento e a evolução dos seres vivos e do Universo, e fundamentar decisões éticas e responsáveis.</p>	<p>(EM13CNT201) Analisar e utilizar modelos científicos, propostos em diferentes épocas e culturas para avaliar distintas explicações sobre o surgimento e a evolução da Vida, da Terra e do Universo.</p> <p>(EM13CNT204) Elaborar explicações e previsões a respeito dos movimentos de objetos na Terra, no Sistema Solar e no Universo com base na análise das interações gravitacionais.</p>

Fonte: Autoria própria (2021)

Assim, o produto educacional foi construído tomando como referência o Guia de Estudos “Astrofísica para o Ensino Médio” de Napoleão Tasso (2018)², o livro digital Astronomia e Astrofísica de Kepler de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva e os livros didáticos: Ser Protagonista (Volume 3) de Valio e outros autores, Física (Volume 3) de Guimarães, Piqueira e Carron, Física Conceitos e Contextos (Volume 3) de Pietrocola e outros autores bem como a Coleção Explorando o Ensino Fronteira Espacial do Ministério da Educação.

²Disponível no endereço eletrônico: <http://www.astro.iag.usp.br/~guia/>, foram utilizados os capítulos 1,2,5,6 e 8.

1º MÓDULO

ETAPAS DA UEPS:	1ª Etapa: APRESENTAÇÃO DO TEMA 2ª Etapa: LEVANTAMENTO DE CONHECIMENTOS PRÉVIOS
MODALIDADE:	Assíncrona
OBJETIVOS:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentação do tema, por meio de um vídeo de curta duração; ➤ Propor questionamentos que possam despertar o interesse dos estudantes para a relevância do tema; ➤ Promover uma retomada de conteúdos; ➤ Realizar o levantamento de conhecimentos prévios dos estudantes, por meio de um questionário.
CONTEÚDOS ESPECÍFICOS:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ondas; ➤ Elementos de uma onda (frequência, comprimento de onda e velocidade); ➤ Ondas eletromagnéticas.
MATERIAIS – SUPLEMENTO 1	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Vídeo apresentação e formulário de participação; ➤ Questionário para levantamento prévio (atividade 1).
ENCAMINHAMENTOS:	

➤ Criando o ambiente virtual e Convidando os estudantes:

A Etapa 1 é a Apresentação do Tema, por se tratar de uma atividade voltada ao ensino remoto, primeiramente o professor deverá organizar uma sala *online* no *Google Sala de aula*. Em seguida deverá gravar um vídeo de curta duração para apresentar os objetivos, as etapas, números de aulas e os conteúdos que serão desenvolvidos.

O professor deverá encaminhar este vídeo para os alunos, anexado a um formulário com o questionamento que indica o aceite ou não dos estudantes.

Agora é momento do professor inserir na sala criada os estudantes que aceitarem participar deste trabalho. Com isso finaliza-se a Etapa 1, deste módulo.

➤ **Iniciando as atividades:**

A Etapa 2 é um momento muito importante da UEPS e consiste no Levantamento dos Conhecimentos Prévios. Nesta etapa o professor deve propor questionamentos que possibilitem evidenciar os conhecimentos prévios dos estudantes e a presença dos subsunçores capazes de auxiliar o estudante em etapas posteriores. Por isso os estudantes serão orientados a responder um formulário, intitulado Atividade 1: Questionário Inicial.

Nas instruções para a resolução da atividade, deve constar uma descrição da importância da atividade, do compromisso e da necessidade dos estudantes responderem os questionamentos a partir dos seus conhecimentos sem a necessidade de pesquisar as respostas. Esse questionário pode ser criado utilizando os Formulários *Google*.

SUPLEMENTO 1

O Suplemento 1 reúne os materiais e recursos necessários a aplicação do módulo 1:

- Questionário inicial;
- Orientações para Módulo 2

QUESTIONÁRIO INICIAL

Atividade 1: Levantamento dos conhecimentos prévios³



Querido (a) estudante, para iniciar nosso trabalho preciso da sua ajuda. Você traz consigo várias informações importantes sobre a Física, algumas adquiridas em sala de aula, outras em programas de TV, revistas, acesso a *sites* de *internet* e também de suas vivências diárias. Gostaria que você respondesse as questões abaixo com base em seu conhecimento, sem pesquisas e sem utilizar o não sei. Você não precisa responder as questões usando termos científicos, você pode se expressar utilizando um exemplo.

1) Você sabe o que são ondas eletromagnéticas? Tente definir ou expressar o que você sabe. (Se você preferir utilize exemplos para tentar explicar)

2) Para identificar uma onda utilizamos alguns elementos como: comprimento de onda (λ), frequência, período, velocidade. Pensando no que você já sabe, tente relacionar esses conceitos a suas definições:

- | | |
|---------------------------|---|
| (1) Comprimento de onda | () é o tempo gasto para produzir uma oscilação completa (um ciclo). |
| (2) Frequência | () a distância entre duas cristas sucessivas ou dois vales sucessivos. |
| (3) Período | () número de oscilações completas (ciclos) geradas por unidade de tempo. |
| (4) velocidade | () é a taxa de rapidez de propagação de uma onda. Ela depende do meio de propagação. |

³ Figura do banco de imagens do Office 365

3) As ondas podem ser classificadas de acordo com sua natureza em Mecânicas e Eletromagnéticas. Dessa forma:

a) Sobre ondas Mecânicas assinale o que você considera correto:

- Precisam de um meio para propagação.
- Não precisam de um meio para sua propagação.
- Podem se propagar no vácuo.
- Resultam da combinação de um campo elétrico com um campo magnético.
- Esse tipo de onda pode ser exemplificado pelas: ondas sonoras, as ondas do mar, ondas em uma corda de violão
- Esse tipo de onda pode ser exemplificado pelas: radiações solares, luz, raio X, ondas de rádio, micro-ondas.

b) Sobre ondas Eletromagnéticas assinale o que você considera correto:

- Precisam de um meio para propagação.
- Não precisam de um meio para sua propagação.
- Podem se propagar no vácuo.
- Resultam da combinação de um campo elétrico com um campo magnético.
- Esse tipo de onda pode ser exemplificado pelas: ondas sonoras, as ondas do mar, ondas em uma corda de violão
- Esse tipo de onda pode ser exemplificado pelas: radiações solares, luz, raio X, ondas de rádio, micro-ondas.

4) As ondas podem ser classificadas de acordo com sua natureza em Mecânicas e Eletromagnéticas. Observando os exemplos abaixo marque M para ondas mecânica e E para ondas eletromagnéticas.

- Ondas do mar. Ondas sonoras.
- Luz Visível Ondas de radiofrequência.
- Ondas nas cordas de um piano. Bluetooth.
- Ondas produzidas pelo aparelho de ultrassonografia.
- Raios X

5) Em viagens de avião, é solicitado aos passageiros o desligamento de todos os aparelhos cujo funcionamento envolva a emissão ou a recepção de ondas eletromagnéticas. O procedimento é utilizado para eliminar fontes de radiação que possam interferir nas comunicações via rádio dos pilotos com a torre de

2º MÓDULO

ETAPAS DA UEPS		3ª Etapa: APRESENTAÇÃO DE UMA SITUAÇÃO PROBLEMA 4ª Etapa: DIFERENCIAÇÃO PROGRESSIVA
MODALIDADE	Síncrona	
OBJETIVOS:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Propor uma situação problema de nível introdutório; ➤ Apresentar o conteúdo que será trabalhado; ➤ Promover a diferenciação progressiva; 	
CONTEÚDOS ESPECÍFICO:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ A Luz visível; ➤ Espectro eletromagnético; ➤ Espectroscopia; ➤ Espectro de luz dos átomos; ➤ Modelo atômico de Bohr. 	
MATERIAIS – SUPLEMENTO 2	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Atividade 2: Construção de um mapa conceitual; ➤ Fundamentação teórica; ➤ Atividade 3: Situação problema inicial e outras questões. 	
RECUROS		
LINK PARA O SIMULADOR:	https://astro.unl.edu/naap/hydrogen/animations/hydrogen_atom.html	
ENCAMINHAMENTOS		

A 3ª etapa de uma UEPS é a apresentação de uma situação problema, mas antes dessa apresentação o professor deve ter em mãos uma análise das respostas do questionário do módulo anterior para iniciar a aula. É a partir dessa análise que o professor pode reconhecer quais são os subçunsores existentes e aqueles que precisam ser apresentados para a ancoragem.

A 3ª etapa se desenvolverá na modalidade síncrona e o professor iniciará sua aula retomando as questões do formulário anterior. Em seguida, o professor fará uma breve explicação sobre mapas conceituais e pedirá aos estudantes que elaborem um mapa conceitual, partindo da palavra **ASTROFÍSICA**. Os mapas conceituais produzidos deverão ser encaminhados ao final da aula pela plataforma *Google Classroom* em um campo indicado como Atividade 2: Mapa Conceitual Inicial.

Terminada a elaboração dos mapas, o professor fará uma breve explicação sobre o que é a Astrofísica e apresentará aos estudantes a situação

problema inicial (atividade 3): **Como podemos saber o que existe dentro do Sol se não há nenhum equipamento, que já tenha chegado a superfície da nossa estrela?**

Com a questão problema apresentada o professor estimulará a participação dos estudantes e as discussões pertinentes, anotando as respostas conforme forem aparecendo.

Ao perceber que as respostas se tornam escassas, o professor iniciará a 4ª Etapa da UEPS, a diferenciação progressiva, com a introdução de conteúdos em um nível mais básico.

A aula se dará de forma expositiva e dialogada e o professor utilizará *slides (PowerPoint)*, um texto de fundamentação teórica e um simulador. Os conteúdos que deverão ser trabalhados nesta etapa são: A luz visível, a espectroscopia e os espectros (contínuo e de emissão) e o Modelo de Bohr.

Ao final desse momento expositivo o professor deve retornar a situação inicial e perguntar se os alunos desejam melhorar, alterar ou modificar a resposta dada inicialmente. Para o registro individual, o professor pedirá que cada estudante, após terminada a aula, responda a essa e outras questões que compõem a Atividade 3: situação problema e outras questões, no formato de formulários *Google* que será disponibilizada através do *Google Sala de Aula*.

SUPLEMENTO 2:

O Suplemento 2 reúne os materiais e recursos necessários a aplicação do módulo 2:

- Tutorial para elaboração de mapas conceituais;
- Tutorial para instalação e utilização de um simulador;
- Espaço para o desenvolvimento de um mapa conceitual;
- Fundamentação teórica;
- Atividades e Avaliação.

TUTORIAIS

Nessa seção você encontrará instruções para a elaboração de mapas conceituais e também o passo a passo para a instalação e a utilização do simulador Níveis de Energia do Hidrogênio.

➤ **Mapas conceituais e sua estrutura principal:**

O mapas conceituais foram desenvolvidos na década 70 pelo professor Joseph Novak e podem ser considerados como uma estratégia potencialmente facilitadora de uma aprendizagem significativa. Segundo Moreira (1997), “mapas conceituais, ou mapas de conceitos, são apenas diagramas indicando relações entre conceitos, ou entre palavras que usamos para representar conceitos.”

O autor ressalta que mesmo os mapas conceituais apresentando uma organização hierárquica com o uso de setas eles não devem ser confundidos com organogramas ou diagramas de fluxo, quadros sinóptico, pois os mapas não apresentam sequencia temporalidade, poder ou hierarquia organizacional e a diagrama classificatórios. Os mapas conceituais são diagramas de significados, de relações significativas; de hierarquias conceituais que não buscam classificar conceitos, mas sim relacioná-los e hierarquizá-los.

Um mapa conceitual é constituído de três elementos básicos: formas, setas e proposições ou palavras chaves. As formas podem ser retângulos ou elipses, a forma geométrica não importa, dentro das formas devem estar escritos os conceitos. As setas devem ligar os conceitos mostrando a ligação entre elas. Sobre as setas são escritas as proposições ou palavras chaves, que tem função de identificar ou descrever ligação entre os conceitos.

Seguindo o modelo hierárquico os conceitos mais inclusivos ficam localizados na parte superior do mapa e conceitos mais específicos e abrangentes estão na base parte inferior.

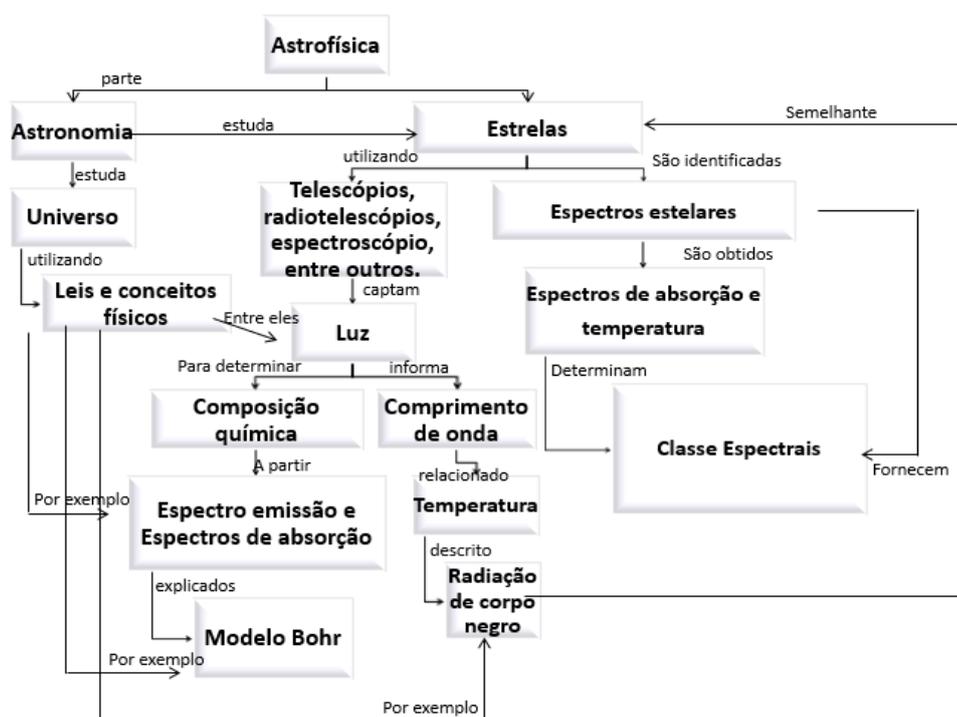
➤ **Como elaborar um mapa conceitual**

- 1 Identifique o conceito-chave do conteúdo que vai mapear. Coloque-o em uma forma na parte superior do mapa;

- 2 Faça uma lista de conceitos relacionados ao tópico principal. Limite entre 6 e 10 o número de conceitos.
- 3 Vá adicionando ao mapa os conceitos da lista, os mais gerais ficam no topo do mapa. Adicione os conceitos de forma gradual até completá-lo.
- 4 Conecte os conceitos com setas ou com linhas e preposições, mostrando o sentido da relação. No entanto, o uso de muitas setas acaba por transformar o mapa conceitual em um diagrama de fluxo.
- 5 Nem toda ligação precisa ser de cima para baixo, você pode criar conexões cruzadas, com setas ou linhas em todas as direções.
- 6 Sobre as setas ou linhas utilize uma palavra, de preferência um verbo, que conecte os termos e forme uma frase simples, para que seja possível realizar a leitura do mapa de cima para baixo.
- 7 Não se preocupe com “começo, meio e fim”, o mapa conceitual é estrutural, não sequencial. O mapa deve refletir a estrutura conceitual hierárquica do que está mapeado.

O mapa conceitual representado na figura 1, foi elaborado proposto pelos autores da proposta.

Figura 1 - Mapa conceitual sobre Astrofísica



Fonte: Autoria própria (2021)

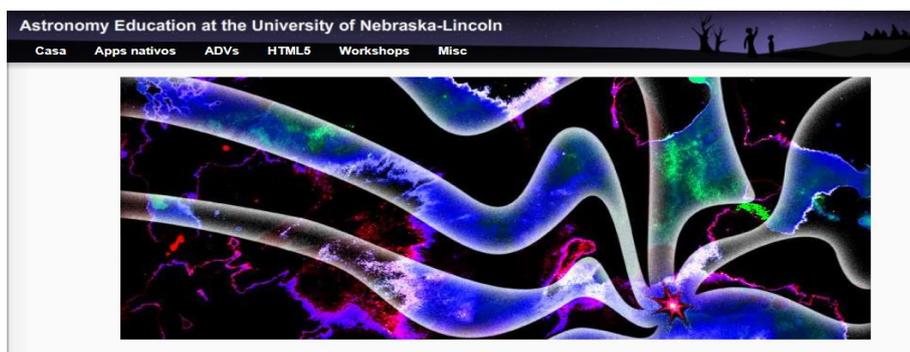
➤ **Como utilizar o Simulador NAAP Labs:**

Nessa etapa, o objetivo principal é que o estudante compreenda o que são os espectros e como é possível explicá-los. Para isso o professor utilizará um Simulador que o ajudará a explicar o modelo atômico de Bohr.

O simulador indicado, encontra-se disponível no site <http://astro.unl.edu/>. Recomenda-se que este objeto educacional seja utilizado como um programa executável, instalado diretamente em seu equipamento.

Passo 1: Entre no site: <http://astro.unl.edu/> . Se preferir autorize a tradução da página pelo *Google Tradutor*. A figura 2, mostra o *layout* inicial do site:

Figura 2 - Tela inicial do site Astronomy Education at the University of Nebraska – Lincoln

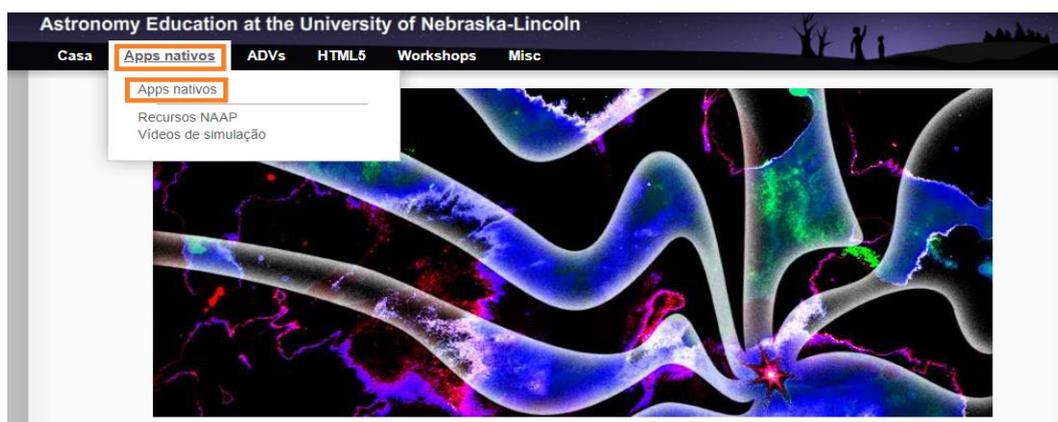


Fonte: LEE (2020)⁴

Passo 2: Clique na aba *Apps Nativos* e selecione *App Nativos* como indicado a figura 3.

Figura 3: Apps nativos na Tela inicial do site Astronomy Education at the University of Nebraska - Lincoln

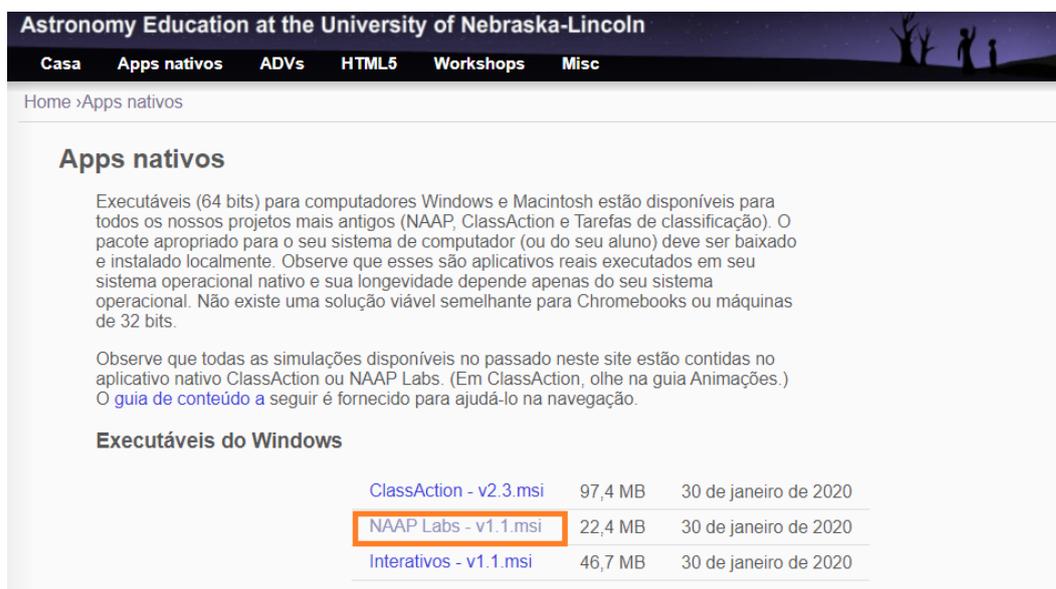
⁴ LEE, K. **Astronomy Education at the University of Nebraska – Lincoln** (2020), disponível em: <https://astro.unl.edu/about.html>. Acesso em 01 de set. 2020.



Fonte: LEE (2020)⁵

Passo 3: Clique sobre o *link*, *NAAP Labs- v1.1.ms*, como indicado na figura 4:

Figura 4 - Seleção do arquivo executável



Fonte: LEE (2020)⁶

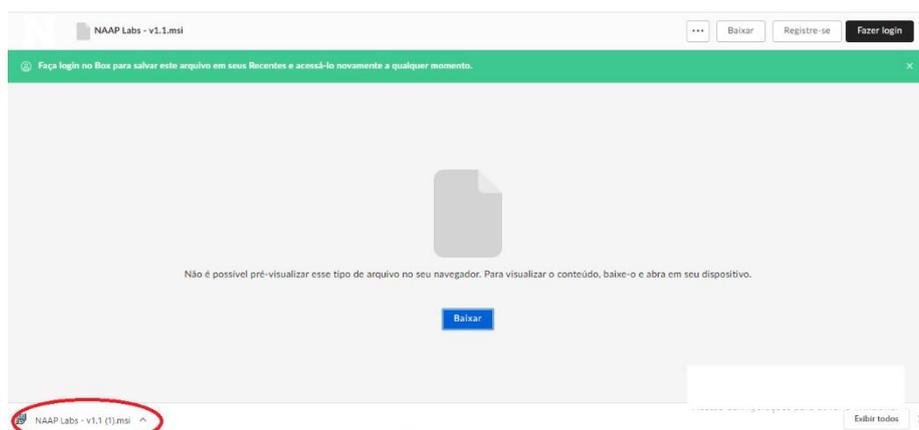
Passo 4: Ao clicar sobre o *link*, você será redirecionado a um ambiente para baixar o arquivo. Clique em baixar e aguarde que o arquivo seja salvo em seu computador

Passo 5: Observe a figura 5, o arquivo baixado aparecerá sobre a barra de tarefas, no canto inferior esquerdo da tela do computador.

⁵ LEE, K. Apps Nativos. **Astronomy Education at the University of Nebraska – Lincoln** (2020), disponível em: <https://astro.unl.edu/about.html>. Acesso em 01 de set. 2020.

⁶ LEE, K. Apps Nativos. **Astronomy Education at the University of Nebraska – Lincoln** (2020), disponível em: <https://astro.unl.edu/about.html>. Acesso em 01 de set. 2020.

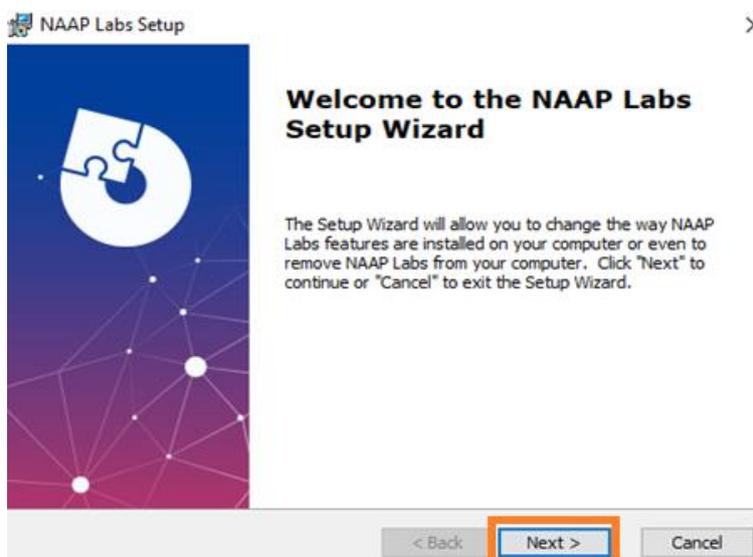
Figura 5 - Indicação do download



Fonte: LEE (2020)⁷

Passo 6 : Uma janela de boas vindas, como a representada pela figura 6, será aberta. A partir desse momento é só seguir os passos indicados para completar a instalação.

Figura 6 - Tela de instalação do Simulador



Fonte: NAAP Labs (2020)⁸

⁷ LEE, K. Apps Nativos. **Astronomy Education at the University of Nebraska – Lincoln** (2020), disponível em: <https://astro.unl.edu/about.html>. Acesso em 01 de set. 2020.

⁸ NAAP Labs - Hydrogen energy Levels (2020) – **Astronomy Education at the University of Nebraska – Lincoln** (2020), disponível em: <https://astro.unl.edu/nativeapps/> Acesso em 01 de set. 2020.

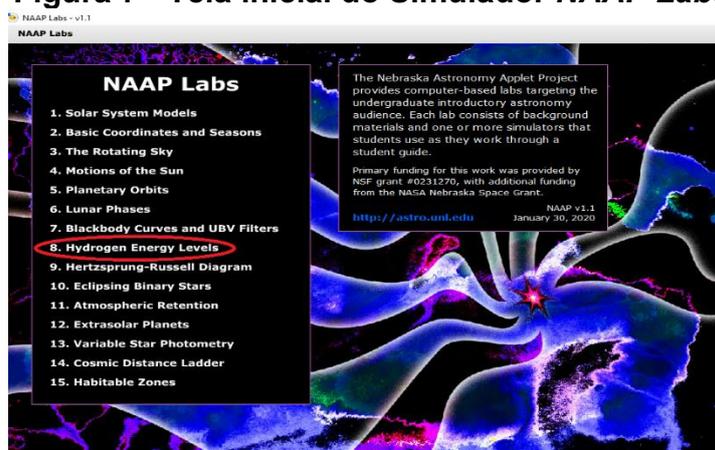
Após a instalação completa, um ícone *NAAP Labs* será fixado na área de trabalho do seu computador.

➤ **Utilizando o Simulador:**

Passo 7: Clique sobre o ícone *NAAP lab* em sua área de trabalho.

Passo 8: A figura 7, mostra o *layout* do programa instalado, clique sobre item 8 para selecionar *Hydrogen Energy Levels*.

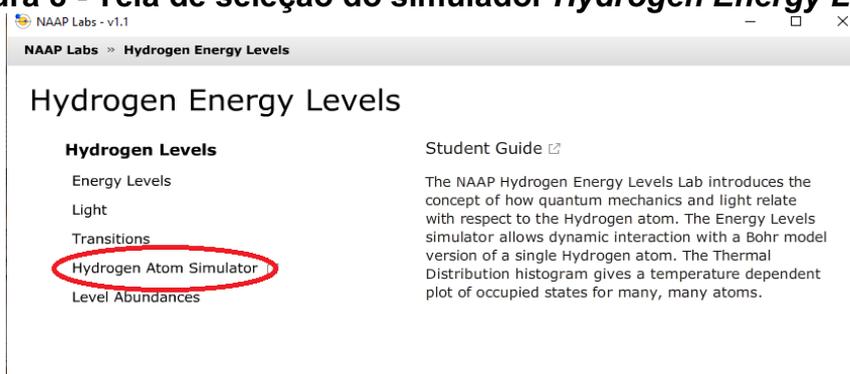
Figura 7 - Tela inicial do Simulador NAAP Labs



Fonte: NAAP Labs (2020)⁹

Passo 9: Assim uma nova janela com várias informações será aberta. Clique em *Hydrogen Atom Simulator*, indicado na figura 8.

Figura 8 - Tela de seleção do simulador Hydrogen Energy Levels

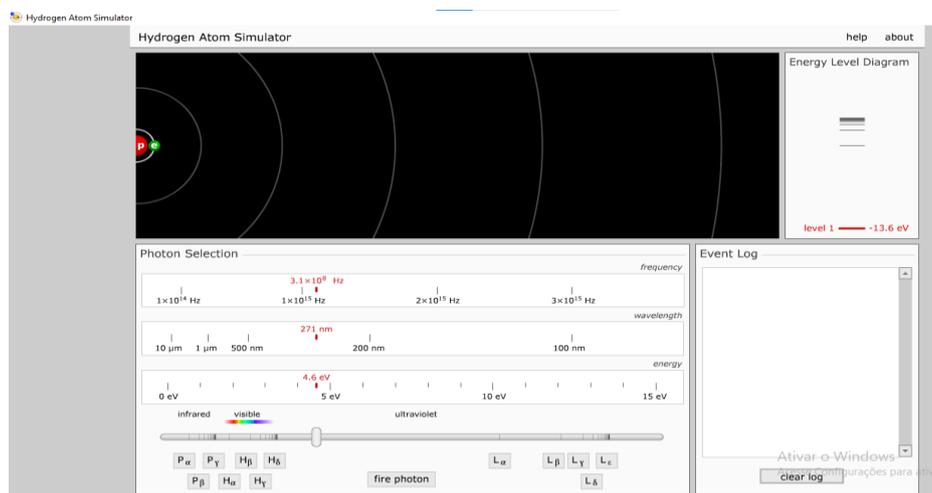


Fonte: NAAP Labs (2020)¹⁰

⁹ NAAP Labs - Hydrogen energy Levels (2020) – **Astronomy Education at the University of Nebraska – Lincoln** (2020), disponível em: <https://astro.unl.edu/nativeapps/> Acesso em 01 de set. 2020.

Passo 10: A figura 9, mostra a tela inicial da simulação escolhida e os recursos disponíveis nela.

Figura 9 - Tela do simulador *Hydrogen Energy Levels*



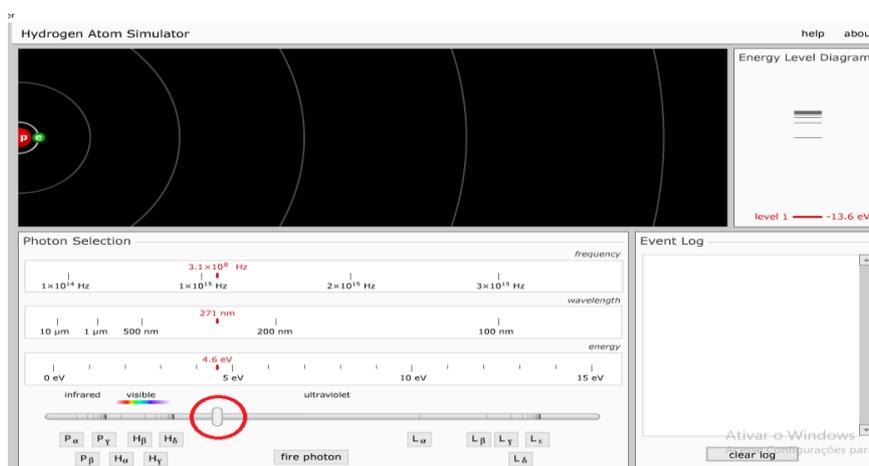
Fonte: NAAP Labs (2020)¹¹

Passo 11: Para utilizar o simulador mova o botão na barra inferior da tela, indicado na figura 10. Ao movê-lo podemos alterar a frequência, comprimento de onda e a energia fornecida ao elétron, para que ocorra o salto de um nível para outro.

¹⁰ NAAP Labs - Hydrogen energy Levels (2020) – **Astronomy Education at the University of Nebraska – Lincoln** (2020), disponível em: <https://astro.unl.edu/nativeapps/> Acesso em 01 de set. 2020.

¹¹ NAAP Labs - Hydrogen energy Levels (2020) – **Astronomy Education at the University of Nebraska – Lincoln** (2020), disponível em: <https://astro.unl.edu/nativeapps/> Acesso em 01 de set. 2020.

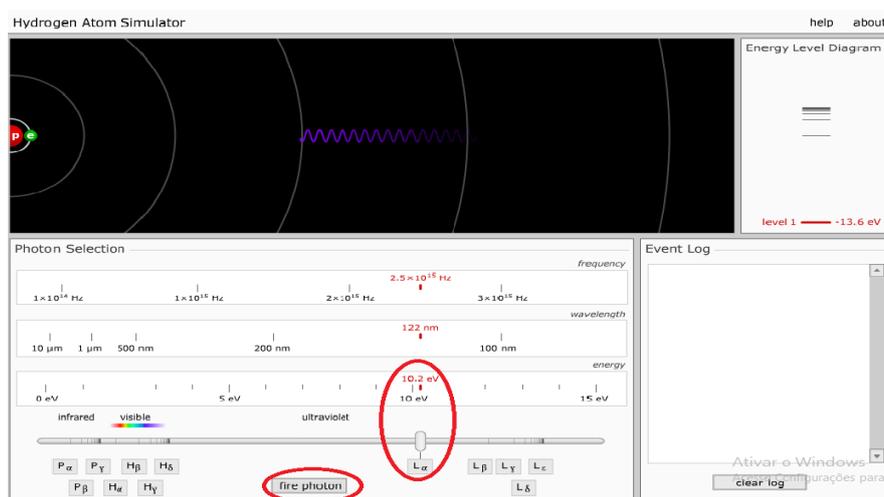
Figura 10 - Indicação do botão para funcionamento da simulação



Fonte: NAAP Labs (2020)¹²

Passo 12: Mova o botão indicado na figura 11, de forma a selecionar uma das quantidades de energia indicadas e clique em *fire photon*. Perceba que um comprimento de onda será emitido e se chocará com o elétron (bolinha verde), podemos deslocá-lo ou não. O elétron só realizará um salto com quantidades definidas. (**Nível 1 para o nível 2:** 10,2 eV, **Nível 1 para o nível 3:** 12,1 eV, **Nível 1 para o nível 4:** 12,8 eV, **Nível 1 para o nível 5:** 13,1eV, **Nível 1 para o nível 6:** 13,2 eV).

Figura 11 - Simulação da Emissão de um fóton



Fonte: NAAP Labs (2020)¹³

¹²NAAP Labs - Hydrogen energy Levels (2020) – **Astronomy Education at the University of Nebraska – Lincoln** (2020), disponível em: <https://astro.unl.edu/nativeapps/> Acesso em 01 de set. 2020.

Observe também que o retorno do elétron de órbitas mais distantes para órbitas mais próximas ao núcleo ocorre sempre com emissão de um comprimento de onda característico. Todos os saltos podem ser acompanhados no quadro *Event Log*.

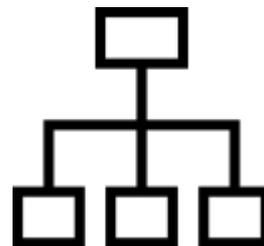
Passo 13: A partir disso o professor poderá explorar as demais quantidades de energia e perceber os saltos quânticos realizados, a emissão do fóton e os comprimentos de ondas obtidos. E a partir disso, mostrar como o Modelo de Bohr ajuda a compreender a formação dos Espectros.

¹³ NAAP Labs - Hydrogen energy Levels (2020) – **Astronomy Education at the University of Nebraska – Lincoln** (2020), disponível em: <https://astro.unl.edu/nativeapps/> Acesso em 01 de set. 2020.

MAPA CONCEITUAL INICIAL

Atividade 2: Mapa Conceitual inicial¹⁴

ASTROFÍSICA



¹⁴ Figura do banco de imagens do Office 365

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

INTRODUÇÃO:

O homem sempre teve a curiosidade em entender e descobrir o que há no espaço. Artigos e notícias na mídia impressa ou digital sempre divulgam matérias relacionadas a esse tema e entre as informações sempre ocorre a divulgação da composição química de uma estrela ou sobre a sua temperatura, e isso provoca questionamentos, por exemplo, como é possível determinar a composição química de um corpo celeste? Como eles conhecem a sua temperatura se nenhum equipamento chegou até a sua superfície? Como conseguimos estudar as estrelas?

Para responder essas questões é preciso ter em mente que a maior parte da informação recebidas do Universo, chega até nós na forma de Ondas ou Radiação Eletromagnética e quem ajuda a “decifrar” essas mensagens, vindas do espaço, é um campo da Astronomia denominado de Física das Estrelas ou Astrofísica.

A Astrofísica começou a se desenvolver por volta do século XIX e graças a ela que conhecimentos sobre o Universo e suas fronteiras tem expandido cada vez mais. Uma das razões para o crescente desenvolvimento dessa área da Ciência é que é possível aprender a ler, decodificar e interpretar as informações envidadas do Universo, utilizando a luz visível. Por isso é necessário compreender um pouco melhor o que é a Luz e quais as informações que ela carrega.

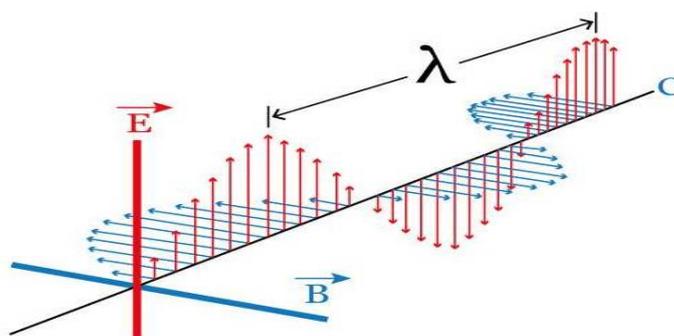
1. AS RADIAÇÕES ELETROMAGNÉTICAS:

Em meados do século XIX os físicos já compreendiam que cargas elétricas e ímãs podiam alterar as regiões em torno deles, criando campos de força. Sabiam também que havia uma relação entre campos elétricos e campos magnéticos, que estes dois campos estavam intimamente ligados, pois a passagem de corrente elétrica em um condutor era capaz de gerar ao redor dele um campo magnético, e da mesma forma, um campo magnético criava uma corrente elétrica nas proximidades.

O responsável pela unificação dessas duas teorias, eletricidade e magnetismo, foi o físico escocês James Clark Maxwell. Maxwell elaborou um conjunto de quatro equações, conhecidas como Equações de Maxwell, que permitiram prever teoricamente a existência de ondas eletromagnéticas e mais tarde, em 1887, seriam geradas e detectadas por Heinrich Hertz (GUIMARÃES, *et al*, 2016).

Pode-se dizer que as ondas eletromagnéticas são formadas pela combinação entre campos elétricos e campos magnéticos variáveis. Esses dois campos são perpendiculares à direção de propagação e por isso podem ser classificados como ondas transversais. A figura 12 mostra a representação de uma onda eletromagnética.

Figura 12 - Representação de uma onda eletromagnética

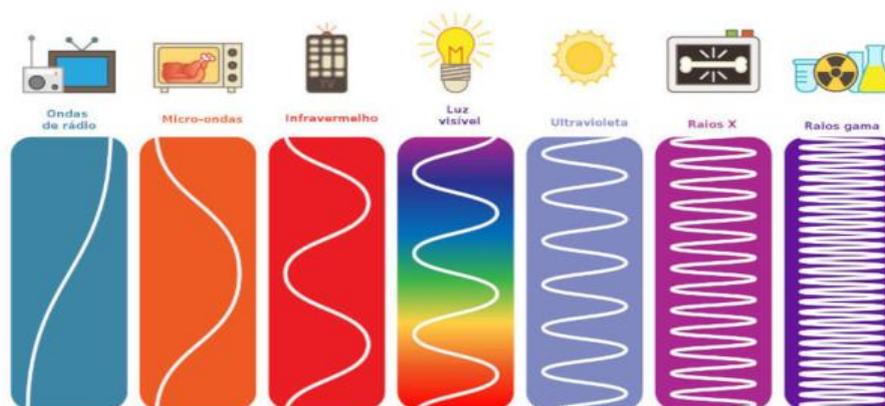


Fonte: ROSA (2019)¹⁵

As ondas eletromagnéticas formam um conjunto com sete tipos de ondas conhecidas como: ondas de rádio, microondas, infravermelho, luz visível, ultravioleta, raios X e raios gama estão representadas na figura 13.

¹⁵ ROSA, J. Ondas Eletromagnéticas. **Educa Mais Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/ondas-eletromagneticas>. Acesso em: 01 de jul. 2021

Figura 13 - Tipos de onda eletromagnéticas



Fonte: HELERBROCK (2021)¹⁶

Essas radiações propagam-se em linha reta sem a necessidade de um meio físico, diferenciam-se uma das outras por suas frequências e seus comprimentos de onda. Outra característica importante é que as ondas eletromagnéticas possuem a mesma velocidade no vácuo.

A velocidade de uma onda eletromagnética, representada por c , pode ser expressa matematicamente pelo produto do comprimento de onda (λ) pela frequência (f), de acordo com a equação:

$$c = \lambda \cdot f$$

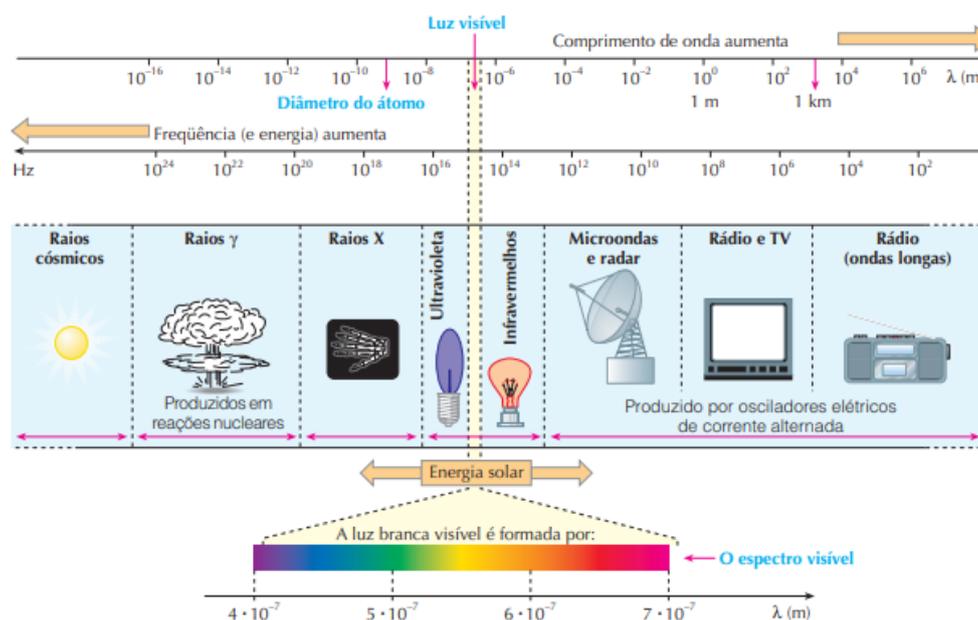
Por meio dessa equação é possível identificar que a frequência e o comprimento de onda são inversamente proporcionais, ou seja, quanto maior a frequência de uma eletromagnética menor será seu comprimento de onda e vice versa (VALIO, *et al*; 2016).

2. O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO E O ESPECTRO VÍSEL

O conjunto formado pelas ondas eletromagnéticas recebe o nome espectro eletromagnético. Ele é formado por ondas visíveis e invisíveis distribuídas em um contínuo de frequências como representado pela figura 14.

¹⁶ HELERBROCK, R. "Espectro eletromagnético"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>. Acesso em: 01 de jul de 2021.

Figura 14 - Espectro Eletromagnético completo



Fonte: FELTRE (2004, p. 89)¹⁷.

Vale lembrar que as radiações que formam o espectro possuem a mesma natureza mas, diferem-se entre si pelo fato de que cada uma delas possui frequências e comprimentos de ondas distintos e únicos.

Observando o espectro eletromagnético, representado na figura 15, é possível observar que além da frequência ele também é dividido em regiões segundo o comprimento de onda. Perceba que o espectro eletromagnético está organizado da seguinte forma: à esquerda encontram-se os espectros com maiores frequências, maior energia e menores comprimentos de ondas e à direita estão as menores frequências, menores energias e maiores comprimentos de onda. Não há um divisor entre um tipo de onda e outro, pois todas elas são produzidas pelo mesmo fenômeno: aceleração das cargas elétricas. Os nomes dados para os tipos de ondas são simplesmente um modo conveniente de descrever a região do espectro onde elas se encontram.

Na região quase ao centro, encontra-se uma pequena faixa denominada luz visível ou espectro visível. A luz visível é formada por várias cores, com comprimentos de onda característicos para cada cor. O quadro 3 apresenta os comprimentos de onda e as frequências relacionadas a cada cor que compõe a luz visível.

¹⁷ FELTRE, R. **Química**. Volume 1 . 6. ed. São Paulo : Moderna, 2004.

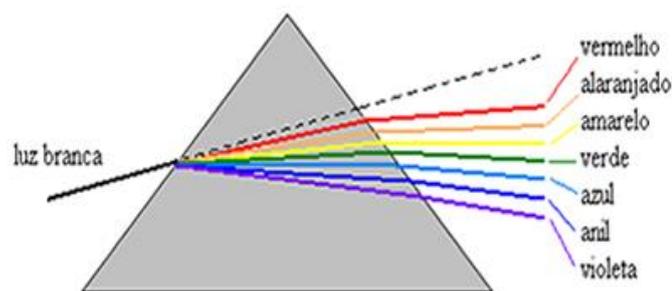
Quadro 3 - Comprimento de onda e frequência do Espectro da Luz Visível

Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência (10^{14}Hz)
Violeta	400 – 460	7,5 – 6,5
Índigo	460 – 475	6,5 – 6,3
Azul	475 – 490	6,3 – 6,1
Verde	490 – 565	6,1 – 5,3
Amarelo	565 – 575	5,3 – 5,2
Laranja	575 – 600	5,2 – 5,0
Vermelho	600 – 700	5,0 – 4,3

Fonte: Adaptado de Napoleão (2018)

O espectro visível foi obtido pela primeira vez por Issac Newton em 1666. Em uma série de experimentos Newton observou que a luz branca proveniente do Sol ao atravessar o prisma, sofria dispersão e se decompunha em diversas cores componentes, como um arco-íris, e chamou aquilo de espectro. O espectro formado tinha cores distribuídas do vermelho ao violeta.

Newton concluiu que a luz branca era formada por várias cores de luzes visíveis e que ao atravessar o prisma, como mostra a figura 15, cada um desses comprimentos de onda sofria um desvio diferente. A componente violeta é a que apresenta um desvio maior e a componente vermelha, um desvio menor.

Figura 15 - Decomposição da luz em branca em suas componentes

Fonte: ZEUXIS (2020) ¹⁸

A partir de seus resultados Newton apresentou em 1672 um artigo sobre a luz e cores, mas infelizmente por não conseguir chegar a uma teoria definitiva abandonou os estudos da luz um pouco mais tarde e por isso, segundo

¹⁸ ZEUXIS, C. A luz para a metáfora do conhecimento. **Nefelibata Boy**, 2020. Disponível em: <http://perifocus.blogspot.com/>. Acesso em: 21 de out. 2021

Napelão (2018; p.4) a “espectroscopia teria que esperar mais cento cinquenta anos para se desenvolver”.

3. A ESPECTROSCOPIA E OS ESPECTROS ATÔMICOS

Mesmo diante do abandono, os experimentos de Newton abriram caminho para os estudos da luz e a sua interação com a matéria e também possibilitaram a criação de uma técnica conhecida como espectroscopia.

A espectroscopia segundo Oliveira e Saraiva (2007) 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 espectroscopia utiliza a luz para estudar a composição, a estrutura e as propriedades da matéria.

Depois de Newton muitos cientistas continuaram a investigar as características e propriedades dos espectros. Entre eles o químico William Hyde Wollaston que ao aprimorar experimentos de Newton obteve um espectro mais definido com a presença de linhas escuras, como se fossem falhas no espectro solar. Ele acreditava que era possível separar cada uma das cores que compunham o espectro e por isso as linhas escuras foram consideradas erroneamente como limite das cores.

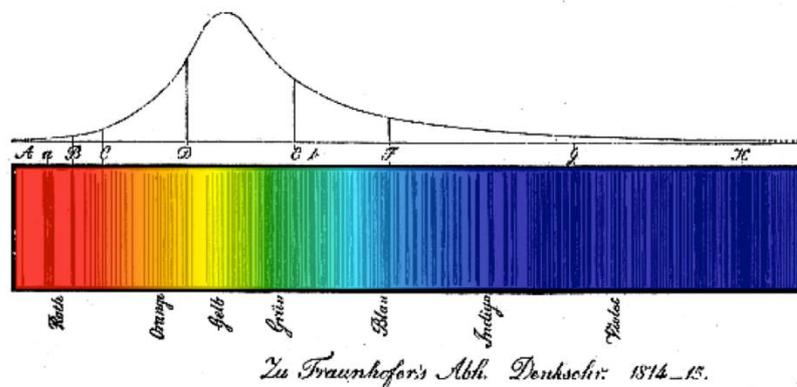
Um tempo depois, em 1814, essas falhas no espectro solar também chamaram a atenção de um fabricante de lentes e instrumentos ópticos chamado Joseph von Fraunhofer que, ao observar o espectro solar, notou que este era cortado por diversas diversas linhas escuras de diferentes espessuras, como se houvessem sido subtraídas do espectro.

Fraunhofer resolveu então mapeá-las e conseguiu identificar que apresentavam em torno 574 linhas raias. O fabricante de lentes realizou vários testes, com combinações diferentes de vidros e modelos de prismas e concluiu, em 1817, que essas linhas não eram causadas por difrações, mas tratavam-se de características da natureza da luz solar. Essas linhas, ficaram conhecidas como “raias ou linhas de Fraunhofer”.

A figura 16, mostra a representação das linhas espectrais de absorção observadas no espectro solar descobertas e nomeadas por Fraunhofer. Fraunhofer deu nome a estas linhas mais fortes, usando letras maiúsculas A

até K. Na parte superior, a curva mostra a intensidade da luz solar em diversas regiões do espectro

Figura 16 - Linhas de Fraunhofer no espectro solar



Fonte: LUCCA (2015)¹⁹

Fraunhofer que também era um astrônomo amador, observou e conseguiu obter os espectros de outras estrelas como Sirius, Castor, Pollux, Capella, Beterlgeuse e Procyone notou que a maior parte deles eram diferentes das linhas observadas no espectro solar. Infelizmente Fraunhofer morreu antes de compreender a causa das linhas espectrais, mas a precisão do seu trabalho foi determinante para descobertas futuras.

A resposta para observações de Fraunhofer seriam dadas pelo físico teórico Gustav Kirchhoff e pelo químico Robert W. Busen em 1859. Busen havia inventado em 1856 um bico de gás, conhecido como bico de Busen, que produzia uma chama incolor. Esse equipamento é constituído de tubo de metal vertical ligado a uma base e esta base encontra-se conectada a uma fonte de combustível. A mistura do combustível (gás) e do ar na base do dispositivo produz uma chama azul na base e incolor no topo.

Utilizando esse equipamento, Bunsen desenvolveu uma técnica conhecida como teste de chama. Este pesquisador analisava amostras de diferentes sais e percebeu que quando queimados a chama adquiria cores específicas e de acordo com elementos químicos presente nos sais.

Diante disso, para Bunsen e Kirchhoff a ideia de passar a luz emitida por diversos elementos químicos aquecidos pelo Bico de Bunsen por um

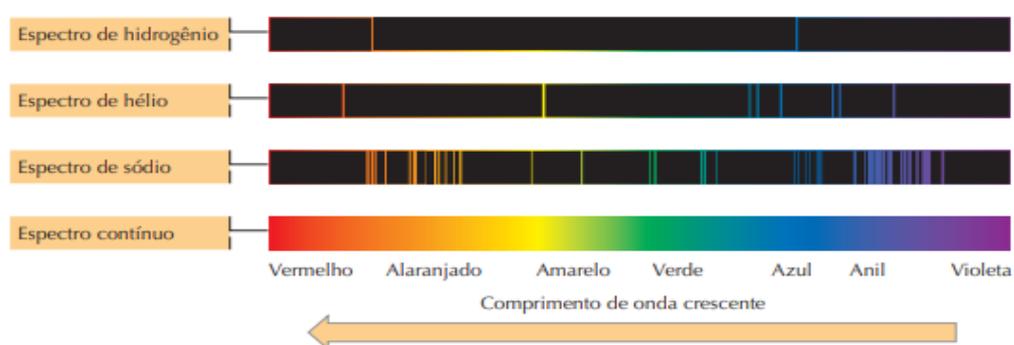
¹⁹ LUCCA, G.F.L. A espectroscopia e a cor das estrelas e dos átomos. **Física em classe**. 2015. Disponível em: <http://fisicaemclasse.blogspot.com/2015/03/a-espectroscopia-e-cor-das-estrelas-e.html>. Acesso em: 01 de jul. 2021

prisma de vidro e observaram que os gases quentes não emitiam um espectro contínuo.

Os cientistas perceberam também que cada elemento apresentava um conjunto de linhas de emissão brilhantes característico, sempre nos mesmos comprimentos de onda, formando um padrão único e próprio de cada elemento, como uma impressão digital.

A figura 17, representa as linhas brilhantes obtidas por Kirchorff.

Figura 17 - Espectro de emissão de alguns elementos químicos



Fonte: FELTRE (2004, p. 90)²⁰.

Kirchhoff percebeu que as linhas brilhantes obtidas eram diferentes das linhas escuras descobertas por Fraunhofer e decidiu comparar as linhas de emissão obtidas e ao analisar o vapor de sódio viu que eram correspondentes as linhas escuras de absorção de Fraunhofer.

Para isso, Kirchhoff, fez a luz do Sol atravessar uma chama produzida por vapores de sódio na expectativa de preencher as linhas escuras do espectro solar, mas em vez disso ele notou que as linhas se intensificaram, tornando-se mais escuras. Este resultado comprovava a presença do sódio na atmosfera do Sol.

Esta comparação permitiu que Kirchhoff comprovasse que as duas linhas brilhantes do espectro de emissão do sódio, correspondiam as duas linhas escuras (D1 e D2) do espectro Fraunhofer, representados na figura 18.

²⁰ FELTRE, R. **Química**. Volume 1 . 6. ed. São Paulo : Moderna, 2004.

Figura 18 - Espectros de emissão e absorção para o Sódio

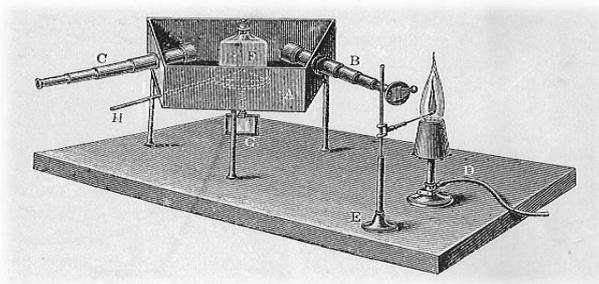


Fonte: CORREA (2013)²¹

Além disso, ao repetir a experiência comparando as linhas espectrais de outros elementos, conseguiu identificar a presença de Cálcio, Magnésio, Cromo, Cobalto, Zinco, Ferro, Níquel e Bário no Sol. Com base nestas constatações, Kirchhoff concluiu que o Sol era um gás ou um sólido quente, envolto por um gás mais frio.

O trabalho brilhante desses dois cientistas possibilitaram o estudo e a identificação de elementos químicos por meio das técnicas espectrais bem como para o desenvolvimento da Espectroscopia. Além disso os dois são os principais responsáveis pela construção do espectroscópio, figura 19, instrumento de grande utilização na Química, Física e Astronomia.

Figura 19 - Espectroscópio de Kirchhoff e Busen



Fonte: ARAUJO (2021)²²

O espectroscópio é um dispositivo óptico utilizado para decomposição e análise da luz emitida por uma fonte. Ele é constituído por uma fenda, uma

²¹ CORREA , T. Estrelas parte III. **Harmonia do Mundo**. 2013. Disponível em: <https://harmoniadomundo.wordpress.com/2013/03/23/estrelas3/>. Acesso em 01 de jul. 2021.

²² ARAUJO, J.C. Como o gás hélio foi descoberto em 1868. **Mega Curioso**. 2021. Disponível em: egacurioso.com.br/ciencia/119449-como-o-gas-helio-foi-descoberto-em-1868.htm. Acesso em 21 de out. 2021.

lente colimadora e um rede de difração. A luz entra pela fenda e ao passar pela rede de difração, é decomposta em diferentes comprimentos de onda que compõe o espectro. É possível pela análise do espectro encontrado, determinar cada elemento químico presente na fonte luminosa e assim descobrir características como a sua composição química. (BARROS, *et al*; 2016)

Os espectroscópios podem ser utilizados na Astrofísica de forma a auxiliar na determinação da composição de estrelas e outros corpos celestes. São eles que ajudam a interpretar as informações trazidas pela luz até a Terra proveniente desses objetos celestes. As informações indicadas nos espectros nos ajudam a determinar propriedades físicas e químicas de uma estrela, entre elas a temperatura, densidade, composição e ainda se está se aproximando ou se afastando da Terra.

4. LEIS DE KIRCHHOFF

Com seus experimentos, Kirchhoff formulou três leis empíricas para a espectroscopia, para definir os tipos de espectros. Pelas Leis de Kirchhoff é possível classifica-los da seguinte forma:

1. Espectro de emissão contínuo: um corpo opaco quente, em qualquer estado físico, emite um espectro contínuo. O espectro contínuo não apresenta linhas. A observar o espectro de uma lâmpada de tungstênio ou a luz emitida por uma estrela percebe-se a presença desse tipo de espectro.



Fonte: CORREA (2013) - adaptada²³

2. Espectro de emissão: um gás transparente, pouco denso, produz um espectro de linhas brilhantes sobrepostas ao espectro contínuo, de modo que o número e a cor dessas linhas dependem dos elementos químicos componentes do gás. Esse espectro é conhecido como espectro de emissão discreto.

²³ CORREA , T. Estrelas parte III. **Harmonia do Mundo**. 2013. Disponível em: <https://harmoniadomundo.wordpress.com/2013/03/23/estrelas3/>. Acesso em 01 jul. 2021.

Figura 21 - Espectro emissão



Fonte: CORREA (2013) - adaptada²⁴

3. Espectro de absorção: quando um espectro contínuo atravessa um gás à temperatura mais baixa, o gás frio, produz algumas linhas escuras no espectro, que são conhecidas como linhas de absorção.

Figura 22 - Espectro absorção



Fonte: CORREA (2013) - adaptada²⁵

Deve-se notar que as linhas brilhantes no espectro de emissão ocorrem exatamente nos mesmos comprimentos de onda que as linhas escuras no espectro de absorção. Necessariamente esses espectros não aparecem isolados, em algumas estrelas é possível observar os três espectros combinados. Isso evidencia a presença de processos físicos diferentes ocorrendo geralmente a temperaturas diferentes.

Vimos então, que os trabalhos de Kirchoff e Busen foram muito importantes para o desenvolvimento da Espectroscopia e por consequência o grande avanço em áreas como a Química e a Astrofísica Estelar. Para a Química, os espectros são considerados ferramentas importantes, que permitem identificação de cada elemento ou substância em qualquer material.

Os espectros podem ser considerados como uma espécie de impressão digital e por isso na Astrofísica a análise das linhas espectrais de uma estrela permite determinar sua composição química, bem como os elementos presentes nela. Além da sua composição é possível determinar sua temperatura, velocidade, rotação, luminosidade, densidade e também compreender sua origem e evolução.

²⁴ CORREA , T. Estrelas parte III. **Harmonia do Mundo**. 2013. Disponível em: <https://harmoniadomundo.wordpress.com/2013/03/23/estrelas3/>. Acesso em 01 jul. 2021.

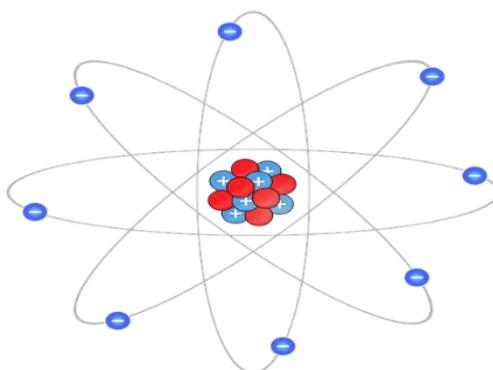
²⁵ CORREA , T. Estrelas parte III. **Harmonia do Mundo**. 2013. Disponível em: <https://harmoniadomundo.wordpress.com/2013/03/23/estrelas3/>. Acesso em 01 jul. 2021.

5. MODELO DE BOHR:

Ao final do século XIX, os cientistas já conheciam os efeitos da luz relacionados aos espectros de emissão e de absorção, mas ainda não eram capazes de explicar as causas reais desse fenômeno, nem os mecanismos da produção de luz em níveis atômicos envolvidos.

Para explicar as indagações relacionadas aos espectros de emissão e absorção e a estabilidade do átomo, o modelo atômico de Rutherford, também precisava passar por modificações. Esse modelo, representado na figura 23, não conseguia explicar como um átomo podia emitir ou absorver determinadas frequências características da radiação eletromagnética e outras não. Outro problema estava na dificuldade de entender como cargas elétricas, no caso os elétrons, estavam em movimento circular e de acordo com a Física Clássica, estavam sujeitos a aceleração centrípeta e emitindo energia. Assim, ao emitir energia a velocidade de rotação do elétron ao redor do núcleo teria de diminuir com o tempo. Desse modo, o elétron acabaria indo de encontro ao núcleo, descrevendo um movimento espiralado e a força de atração entre os elétrons e o núcleo levariam a destruição do átomo.

Figura 23 - Modelo atômico de Rutherford



Fonte: MATTHEW (2016) ²⁶

Para tentar superar as dificuldades impostas pelo modelo vigente, em 1913, Niels Bohr apresenta uma reestruturação ao modelo atômico Rutherford,

²⁶ MATTHEW, B. PIXABAY, 2016. Disponível em: <https://pixabay.com/pt/illustrations/%C3%A1tomo-mol%C3%A9cula-hidrog%C3%AAnio-qu%C3%ADmica-2222965/>. Acesso em 01 jul. 2021.

utilizando com base no átomo de Hidrogênio. Para desenvolver seu modelo Bohr aplica as ideias da Física Quântica propostas por Planck e Einstein e apresenta quatro postulados para validar seu modelo:

1º) Os elétrons se movimento ao redor do núcleo em órbitas circulares, e cada órbita apresenta um determinado valor de energia, bem definido e constante . Essas órbitas foram chamadas de níveis ou camadas eletrônicas. Quanto mais próximo do núcleo, menor a energia do elétron, e vice-versa;

2º) Os níveis de energia são quantizados, ou seja, os elétrons não podem permanecer entre duas órbitas, só são permitidas certas quantidades de energia para o elétron cujos valores são múltiplos inteiros do fóton (*quantum* de energia).

3º) Um elétron pode saltar de um nível de menor energia para um de maior energia, mas para que isso ocorra o elétron precisa absorver uma quantidade apropriada de energia, um fóton. Quando isso ocorre, dizemos que o elétron realizou um salto quântico. A energia necessária para realizar um salto pode ser expressa pela equação:

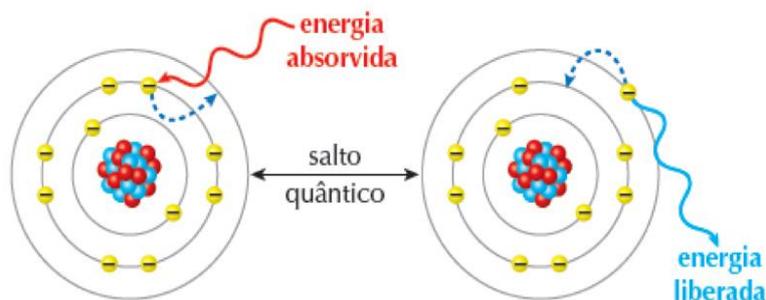
$$\Delta E = E_{final} - E_{inicial} = h \cdot f$$

(ΔE é a variação de energia de dois estados, E_{final} é a energia do estado final, $E_{inicial}$ é a energia do estado inicial, h é a constante de Planck e f a frequência do fóton.) Quando um fóton é absorvido a energia final é menor que a energia inicial, caso contrário ele é emitido. Essa hipótese é a que explica a descontinuidade dos espectros de absorção e emissão; corresponde a equação:

4º) A transição de retorno ao seu nível de energia original (estado fundamental), ou seja, um nível de maior energia para um nível de menor energia, ocorre com liberação de energia, na forma de onda eletromagnética, por exemplo luz visível ou ultravioleta.

Os postulados 3 e 4 podem ser representados pela figura 24.

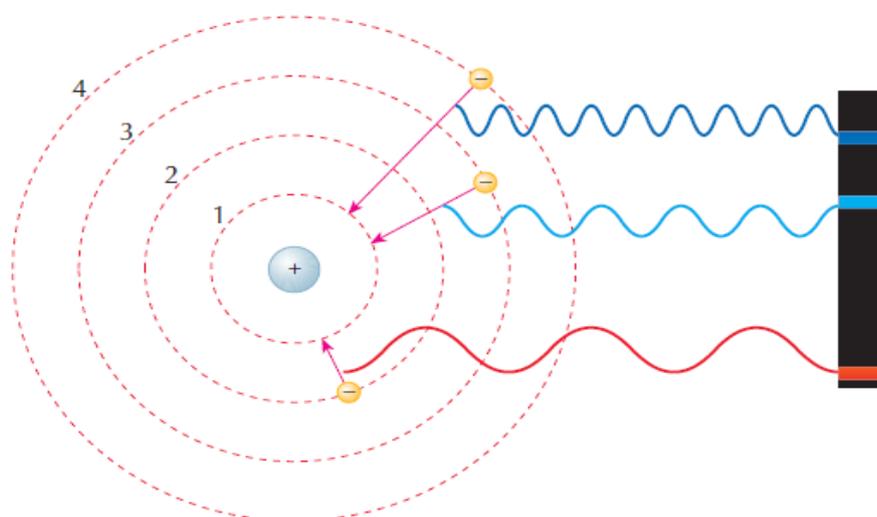
Figura 24 - Representação dos saltos quânticos dos elétrons no átomo de Bohr



Fonte: CISCATO, *et al* (2015)²⁷

Observando o espectro do átomo de hidrogênio, Bohr identificou a presença de linhas luminosas diferentes. Ele então constatou que cada uma dessas linhas representava a energia liberada pelo elétron ao retornar de camadas mais externas para seu estado fundamental, conforme a figura 25.

Figura 25 - Representação dos saltos quânticos dos elétrons no átomo de Bohr e a emissão de diferentes comprimentos de onda



Fonte: FELTRE (2004, p. 91)²⁸.

²⁷ CISCATO, C.A.M; PEREIRA, L.F; CHEMELLO, E. **Química**, Vol. 1. 1ª Edição. Editora Moderna, 2015, p. 87. Disponível em: <https://redes.moderna.com.br/2017/07/10/a-luz-da-quimica/>. Acesso em: 21 de out. 2021.

²⁸ FELTRE, R. **Química** – volume 1 . 6. ed. São Paulo : Moderna, 2004.

Observe na figura 25, que o retorno do elétron a partir de diferentes órbitas para seu estado fundamental, ocorre a emissão de comprimentos de onda diferentes ou luz com cores diferentes.

O modelo de Bohr mostrou que a radiação emitida durante os saltos, estava relacionada à frequência do fóton e não com a frequência do movimento circular orbital do elétron, e que as linhas de absorção e emissão ocupam a mesma raia no espectro.

A partir do modelo atômico de Bohr foi possível explicar os espectros atômicos e compreender que átomos de elementos distintos emitem diferentes comprimentos de ondas, e por consequência luminosidades diferentes, já que realizavam saltos quânticos diferentes.

ATIVIDADE E AVALIAÇÃO

Atividade 3 – Situação Problema Inicial e outras questões:

1) Como podemos saber o que existe dentro do Sol se não há nenhum equipamento, que já tenha chegado a superfície da nossa estrela?

2) Explique com suas palavras o que são espectros.

3) Em nossas discussões, vimos que o modelo atômico de Bohr foi muito importante para explicar os problemas conceituais apresentados pelo modelo atômico de Rutherford. As alterações propostas por Bohr foram a base para o entendimento dos espectros. Explique com suas palavras como o modelo de Bohr contribuiu para o entendimento da ocorrência e formação dos espectros.

4) (PUC-MG) "As diferentes cores produzidas por distintos elementos são resultado de transições eletrônicas. Ao mudar de camadas, em torno do núcleo atômico, os elétrons emitem energia nos diferentes comprimentos de ondas, as cores." ("O Estado de São Paulo", Caderno de Ciências e Tecnologia, 26/12/92) O texto anterior está baseado no modelo atômico proposto por:

- a) Niels Bohr
- b) Rutherford
- c) Heisenberg
- d) John Dalton
- e) J. J. Thomson

5) (UECE-CE) Cada elemento químico apresenta um espectro característico, e não há dois espectros iguais. O espectro é o retrato interno do átomo e assim é usado para identificá-lo, conforme ilustração dos espectros dos átomos dos elementos hidrogênio, hélio e mercúrio. Bohr utilizou o espectro de linhas para representar seu modelo atômico, assentado em postulados, sendo que o verdadeiro é o seguinte:

- a) Ao mudar de órbita ou nível, o elétron emite ou absorve energia superior à diferença de energia entre as órbitas ou níveis onde ocorreu essa mudança.
- b) Todo átomo possui um certo número de órbitas, com energia constante, chamadas estados estacionários, nos quais o elétron pode movimentar-se sem perder nem ganhar energia.
- c) Os elétrons descrevem, ao redor do núcleo, órbitas elípticas com energia variada.
- d) O átomo é uma esfera positiva que, para tornar-se neutra, apresenta elétrons (partículas negativas) incrustados em sua superfície.

6) (UFOP-MG) Bohr atribuiu a emissão de espectros de linhas pelos átomos:

- a) à quantização centrífuga de elétrons de alta energia.
- b) à troca de energia entre elétrons de baixa energia com elétrons de alta energia.
- c) à polarização seletiva dos elétrons em orbitais.
- d) ao retorno de elétrons excitados para estados de mais baixa energia.
- e) ao colapso de elétrons de baixa energia no interior do núcleo.

7) (PUC-RS) Em 1913, o físico dinamarquês Niels Bohr propôs um novo modelo atômico, fundamentado na teoria dos quanta de Max Planck, estabelecendo alguns postulados, entre os quais é correto citar o seguinte:

- a) os elétrons estão distribuídos em orbitais.
- b) quando os elétrons efetuam um salto quântico do nível 1 para o nível 3, liberam energia sob forma de luz.
- c) aos elétrons dentro do átomo são permitidas somente determinadas energias, que constituem os níveis de energia do átomo.
- d) o átomo é uma partícula maciça e indivisível.
- e) o átomo é uma esfera positiva com partículas negativas incrustadas em sua superfície

8) (LA SALLE-SP) Sobre o modelo atômico de Bohr, é correto afirmar que:

- a) os elétrons giram em torno do núcleo em órbitas aleatórias.
- b) um átomo é uma esfera maciça, homogênea, indivisível e indestrutível.
- c) o elétron recebe energia para passar de uma órbita interna para outra mais externa.
- d) é impossível determinar simultaneamente a posição e a energia de um elétron.
- e) o átomo é formado por uma esfera positiva com elétrons incrustados como em um pudim de passas

9) (FCC-SP) Se um elétron move-se de um nível de energia para outro, mais afastado do núcleo do mesmo átomo, pode-se afirmar que, segundo Bohr:

- a) há emissão de energia.
- d) há emissão de luz de um determinado comprimento de onda.
- b) há absorção de energia.
- e) o número atômico varia.
- c) não há variação de energia.

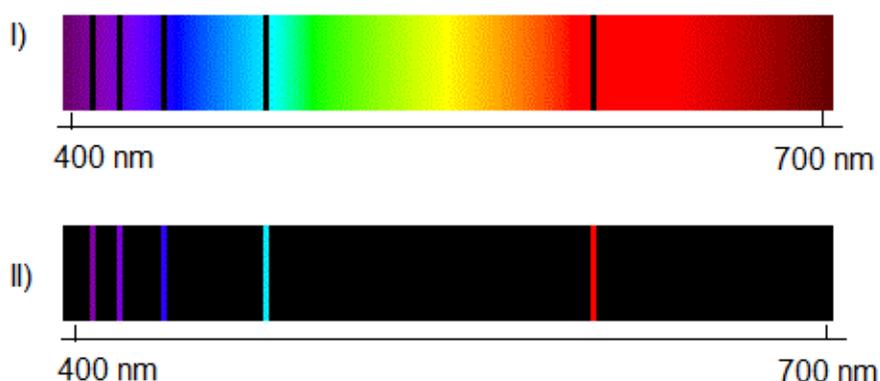
10) Enem 2017- Um fato corriqueiro ao se cozinhar arroz é o derramamento de parte da água de cozimento sobre a chama azul do fogo, mudando-a para uma chama amarela. Essa mudança de cor pode suscitar interpretações diversas,

relacionadas às substâncias presentes na água de cozimento. Além do sal de cozinha (NaCl), nela se encontram carboidratos, proteínas e sais minerais.

Cientificamente, sabe-se que essa mudança de cor da chama ocorre pela

- reação do gás de cozinha com o sal, volatilizando gás cloro.
- emissão de fótons pelo sódio, excitado por causa da chama.
- produção de derivado amarelo, pela reação com o carboidrato.
- reação do gás de cozinha com a água, formando gás hidrogênio.
- excitação das moléculas de proteínas, com formação de luz amarela.

11) Observe os espectros emissão e absorção representados pela abaixo.



Sobre os espectros apresentados, responda:

a) Quais são as características que nos permitem diferenciar um espectro de absorção (I) de um espectro de emissão(II)?

b) Quantas raias podem ser identificadas em cada espectro?

c) Utilizando o modelo de Bohr, explique o surgimento das linhas no espectro de absorção e no espectro de emissão.

3º MÓDULO

ETAPADA UEPS	5º Etapa: APROFUNDAMENTO DOS CONCEITOS
MODALIDADE	Assíncrona e Síncrona
OBJETIVOS:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Apresentar conceitos em um nível de maior complexidade; ➤ Elaborar um mapa conceitual que apresente um maior nível de complexidade.
CONTEÚDOS ESPECÍFICO:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Relação entre comprimento de onda e temperatura; ➤ Radiação de corpo negro; ➤ Espectros estelares; ➤ Classes espectrais; ➤ Diagrama H-R ➤ Fonte de energia das estrelas.
MATERIAIS – SUPLEMENTO 3	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Aprofundamento 1: Relação entre Cor e Temperatura (Fundamentação Teórica e Atividade 4); ➤ Aprofundamento 2 : Classes Espectrais e Fonte de Energia da Estrelas (Fundamentação Teórica e Atividade 5); ➤ Atividade 6: Mapa conceitual final;
ENCAMINHAMENTOS	

Neste módulo, iniciamos a 5ª Etapa de uma UEPS, o aprofundamento dos conceitos. Nessa etapa os conceitos iniciais são retomados, novos conceitos e uma situação problema, ambos com maior nível de complexidade, serão apresentados.

Para isso, esse módulo foi organizado em momentos assíncrono e síncrono. Para o momento assíncrono o professor deverá gravar 02 (duas) vídeoaulas, com aproximadamente 30 minutos cada, utilizando como recursos *slides* e simuladores.

O professor disponibilizará juntamente com o vídeo um material de apoio e um formulário contendo exercícios relacionados aos conteúdos discutidos.

Nessa etapa serão discutidos nas vídeoaulas os conteúdos: relação entre cor e temperatura, classes espectrais, diagrama H-R e fonte de energia da estrelas

O material de apoio encontra-se organizado da seguinte forma:

- Aprofundamento 1 – Fundamentação Teórica e Atividade 4 (Atividade e Avaliação)
- Aprofundamento 2 – Fundamentação Teórica e Atividade 4 (Atividade e Avaliação)

Para a parte síncrona, foi programado um momento de integração, que será realizado por meio de aula *online* para discutir os conteúdos trabalhados nos vídeos, as dúvidas e realizar os esclarecimentos.

Finalizando o aprofundamento de conceitos e o encontro, será solicitado aos estudantes a elaboração de mapa conceitual, a partir da palavra **ASTROFÍSICA**, utilizada no mapa conceitual inicial. Os mapas conceituais produzidos deverão ser postados na plataforma *Google Sala de Aula* em um campo indicado como Atividade 6.

SUPLEMENTO 3

O Suplemento 3 reúne os materiais e recursos necessários a aplicação do módulo 3:

- Fundamentação teórica;
- Atividades e Avaliação;
- Mapa conceitual final.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA – APROFUNDAMENTO 1

6. RELAÇÃO ENTRE COMPRIMENTO DE ONDA E TEMPERATURA:

Segundo Gaspar (2016), a espectroscopia teve um grande desenvolvimento durante a segunda metade do século XIX e início do século XX, mas algumas questões relacionadas aos espectros ainda assombravam os químicos e físicos. Uma delas estava relacionada à emissão de radiação contínua por corpos aquecidos.

Todo o corpo que se apresenta em um estado condensado, ou seja no estado sólido ou líquido, independente dos materiais que os constituem e que estejam em temperaturas acima de -273°C (0 K, zero absoluto) irradiam energia para o ambiente na forma de radiação eletromagnética em um espectro contínuo. Ao serem aquecidos os corpos absorvem energia na forma de radiação fazendo com que a energia cinética dos átomos que os constituem aumente e em consequência a temperatura do corpo também aumenta.

De acordo com a teoria eletromagnética os átomos são formados por elétrons, que por sua vez são partículas carregadas e quando aceleradas devem emitir radiação e assim reduzir a energia cinética dos átomos bem como a sua temperatura.

Caso a taxa de absorção seja igual a taxa de emissão, dizemos que o corpo está em equilíbrio termodinâmico com o ambiente, logo ele será um bom absorvedor e um bom emissor de radiação.

As radiações emitidas nesse caso, são conhecidas como radiações térmicas estão associada diretamente as vibrações que ocorrem das partículas, átomos e moléculas que constituem um corpo, ou seja, a radiação emitida está diretamente associada à temperatura.

Com isso a radiação emitida pode estar localizada em qualquer região do espectro eletromagnético, seja na faixa do visível ou fora dele, nas regiões do infravermelho ou ultravioleta. Assim em baixas temperaturas, a maior taxa de emissão encontra-se no infravermelho e não pode ser detectada pelo olho humano. À medida que as temperaturas na superfície do corpo se tornam mais

altas, este começa a emitir luz em cores vermelha, amarela, verde, até atingir temperaturas suficientemente altas e passam a emitir a luz branca.

De acordo com Kirchoffum um corpo que conseguem absorver toda a radiação incidente é chamado de corpo negro. Logo, um corpo negro é por tanto, um corpo ideal, capaz de absorver todos os comprimentos de onda que incidem sobre eles, por isso ele é chamado de negro.

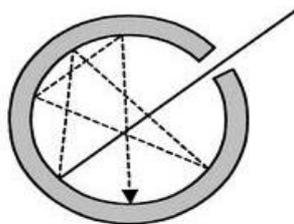
Kirchorff demonstrou que se um corpo negro absorve todos os comprimentos de onda da radiação que incide sobre ele e também emite radiação eletromagnética em todos os comprimentos de onda formando espectro contínuo e isso depende apenas da sua temperatura e não da sua composição química, forma, volume ou massa. Quanto maior for a temperatura de um corpo maior serão as vibrações, maior será a quantidade de energia emitida e menor serão os comprimentos de onda.

Segundo Gaspar (2016) :

O fato de emitir e absorver todas as frequências tornou o corpo negro ideal para o estudo das radiações térmicas um corpo que excluisse algumas frequências na emissão ou absorção da radiação implicaria em restrições a generalidade desse estudo (GASPAR, 2016, p. 238-239)

Um corpo negro pode ser comparado a uma pequena abertura , um orifício, em um corpo oco que conecta exterior ao interior do corpo oco, como mostra a figura 26. A radiação que entra pelo orifício é refletida seguidamente pelas paredes internas da cavidade, parte dessa radiação é absorvida e parte é refletida de forma aleatória. A radiação refletida volta a ser absorvida pela cavidade. Se a radiação é absorvida e reemitida várias, isso significa que a radiação entrará em equilíbrio termodinâmico.

Figura 26 - Representação deum corpo negro:



Fonte: MEDEIROS (2011)²⁹

²⁹ MEDEIROS, A. Radiação de corpo negro: Janelas Escuras em Edifícios. 2011. **Física e Astronomia**. Disponível em:

Assim a natureza da radiação que está saindo da cavidade pelo orifício, tem as características da radiação de corpo negro pois depende apenas da temperatura das paredes da cavidade e não do material que são feitas. Pode-se dizer que um corpo negro é ao mesmo tempo absorvedor perfeito e emissor perfeito.

Na tentativa de entender a radiação de corpo negro, em 1879, o físico Josef Stefan utilizando dados experimentais, deduziu que a intensidade da energia por unidade de área irradiada por um corpo negro era proporcional a temperatura absoluta elevada à quarta potência.

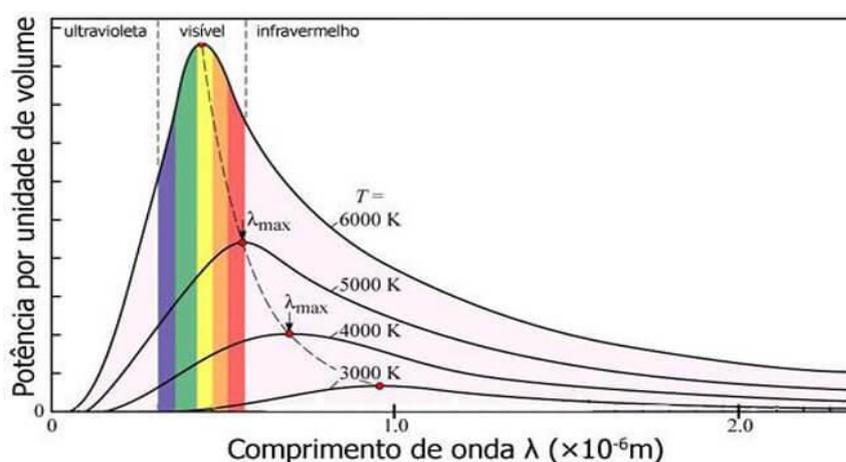
Essas constatações também foram obtidas por Ludwig Eduard Boltzmann, cinco anos depois. Boltzmann sintetizou a Lei de Stefan com base na termodinâmica e obteve a equação que ficou conhecida como Lei de Stefan-Boltzmann:

$$I = \sigma \cdot T^4$$

Nessa equação σ corresponde a constante de proporcionalidade conhecida como constante de Stefan-Boltzmann ou constante de Stefan tem o valor de $5,67 \times 10^{-8} \text{W/m}^2\text{K}^4$. As unidades de medida para a intensidade I são dados em W/m^2 (Watt por metro quadrado) e a temperatura em Kelvin (K).

Os experimentos acerca da radiação de corpo negro mostravam que a energia irradiada por ele variava com o comprimento de onda e a temperatura. A figura 27, mostra um gráfico que relaciona a distribuição da energia da radiação em função do comprimento de onda. Nele é possível notar que há um comprimento de onda no qual a energia irradiada atinge o valor máximo. A medida que a temperatura aumenta o pico da curva se desloca para valores de menores comprimentos de onda.

Figura 27 - Espectro de emissão de um corpo negro



Fonte: DIAS (2013)³⁰

Por exemplo, pode-se observar, na figura 27, que em temperaturas acima que 5000 K o pico intensidade se localiza na região do visível, já temperaturas abaixo desse valor a radiação emitida se localiza infravermelho. Conclui-se, então, que quanto maior a temperatura de um corpo mais deslocado para a esquerda se encontra o pico da curva e menor é o comprimento de onda emitido pela fonte e a radiação emitida se localiza na região do ultravioleta.

Para tentar explicar matematicamente a relação entre os comprimentos de onda e a temperatura observada nos gráficos, em 1893 o físico Wilhelm Wien propôs uma equação para a lei de distribuição da radiação de corpo negro.

Segundo de Wien a temperatura absoluta de um corpo negro é inversamente proporcional ao comprimento de onda máximo radiação. Wien expressou essa relação através da seguinte equação matemática:

$$\lambda_{\text{máx}} = \frac{2,897 \cdot 10^{-3}}{T}$$

Essa equação ficou conhecida como Lei de Deslocamento de Wien e o valor $2,897 \cdot 10^{-3} \text{m} \cdot \text{K}$ corresponde a constante de dispersão, λ corresponde ao

³⁰DIAS, J. RCF (Radiação Cosmológica De Fundo). **Ventos do univeros**. 2013. Disponível em: <http://ventosdouniverso.blogspot.com/2013/04/?m=0>. Acesso em: 26 de out. 2021.

comprimento de máximo da radiação em metros (m) T corresponde a temperatura em Kelvin (K).

A Lei de Wien explicava muito bem a distribuição de radiação para baixos comprimentos de onda mas, para comprimentos de onda mais altos ainda apresentava sérios problemas.

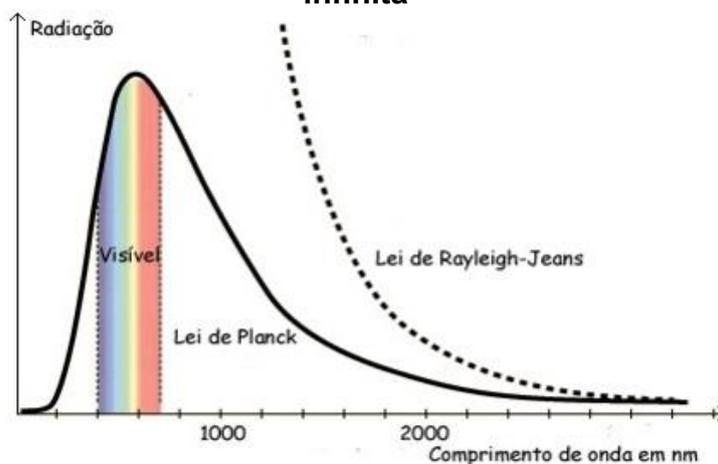
Outra tentativa de explicar a distribuição de radiação eletromagnética por um corpo negro foi proposta pelos físicos Jonh Rayleigh e James Jeans. Os físicos obtiveram uma equação matemática que se relacionava a intensidade da radiação ao comprimento de onda:

$$I = \frac{8\pi kT}{\lambda^4}$$

Onde k é a constante de Boltzmann e corresponde a $1,38 \times 10^{-23} \text{m}^2\text{kg s}^{-2}\text{K}^{-1}$, T é a temperatura absoluta e λ o comprimento de onda em metros.

A fórmula funcionava bem para grandes comprimentos de onda mas infelizmente não se adequava para os comprimentos de onda mais baixos. De acordo com a equação proposta pelos físicos a intensidade da radiação aumentava drasticamente para comprimentos de ondas mais baixos, tendo ao infinito, conforme mostra a figura 28:

Figura 28 - Curva de Rayleigh-Jeans apontando para uma intensidade infinita



Fonte: QUARTUCCIO(2016) ³¹

³¹QUARTUCCIO, J.T. O problema da radiação de corpo negro. Instituto de Pesquisas Científicas. 2016. Disponível em <https://institutodepesquisascientificas.wordpress.com/2016/04/17/o-problema-da-radiacao-de-corpo-negro-da-catastrofe-do-ultravioleta-a-teoria-quantica/>. Acesso em: 21 de out. 2021

Este problema ficou conhecido como Catástrofe do Ultravioleta.

O problema da distribuição espectral da radiação de corpo negro e a Catástrofe do Ultravioleta só viria a ser solucionado por Max Planck, em 1900. Para isso Planck propõe uma teoria que consegue explicar a relação entre a intensidade da radiação, temperatura e comprimento de onda e o resultado. Nela, Planck associa a agitação molecular dos elétrons e a emissão de ondas eletromagnéticas, à osciladores harmônicos, ou seja, sistemas que oscilam com frequências definidas, na superfície do corpo.

Com base nisso, Planck estabeleceu que a energia irradiada ou absorvida por um oscilador é quantizada, (se apresenta em “pacotes de energia) ou seja, não pode assumir qualquer valor de energia, apenas valores discretos de energia (*quantum*), múltiplos de um valor fundamental, que poderia ser expresso por:

$$E_n = nhf$$

Onde n é um número quântico inteiro e positivo, chamado de número quântico e indica o estado quântico diferente, f é a frequência do oscilador e h , atualmente conhecido como constante de Planck ($6,626 \cdot 10^{-34}$ J.s), é um parâmetro introduzido por Planck.

A teoria de Planck, permitiu explicar que as partículas mudam de estado quântico quando absorvem ou emitem energia. Caso isso não aconteça elas permanecem no mesmo estado quântico e nenhuma energia será absorvida ou emitida.

Ao aplicar a ideia dos osciladores harmônicos Planck conseguiu obter uma função que relacionava os dados experimentais para as curvas de emissão de radiação para todos os comprimentos de onda, resultando nos dados e resultados obtidos anteriormente com as Leis de Wien e Stefan.

O trabalho de Planck foi fundamental para o desenvolvimento de um novo campo da Física: a Mecânica Quântica.

6.1 A Lei de Stefan-Boltzmann e a Lei de Wien aplicada a Astrofísica

Como já visto anteriormente, um corpo negro é um corpo ideal, hipotético que se encontra em corpo em equilíbrio térmico. Na natureza não existem corpos negros perfeitos, mas um bom exemplo para representa-lo é uma estrela. A radiação emitida por uma estrela não depende da sua composição química, apenas da sua temperatura.

Diante disso, pode-se determinar a intensidade de radiação emitida, o comprimento de onda máximo ou mesmo a temperatura superficial de uma estrela se utilizar as leis de Stefan-Boltzmann e a Lei de Wien.

No caso das estrelas a intensidade da radiação costuma ser chamada de luminosidade. A luminosidade de uma de uma estrela esférica de raio R pode ser calculada por:

$$L = I \cdot 4\pi R^2$$

onde L é a luminosidade medida em W, I é a intensidade da radiação dada em W/m² e R é o raio da estrela em metros.

Dessa forma ao se utilizar a Lei de Stefan-Boltzmann ($I = \sigma \cdot T^4$) na equação da luminosidade têm-se:

$$L = 4\pi \sigma R^2 T^4$$

Com essa equação é possível perceber que a luminosidade de uma estrela é diretamente a sua temperatura e raio. A equação evidencia ainda que a relação com a temperatura é ainda mais forte que o raio, já que a temperatura está elevada à quarta potência e o raio à segunda potência.

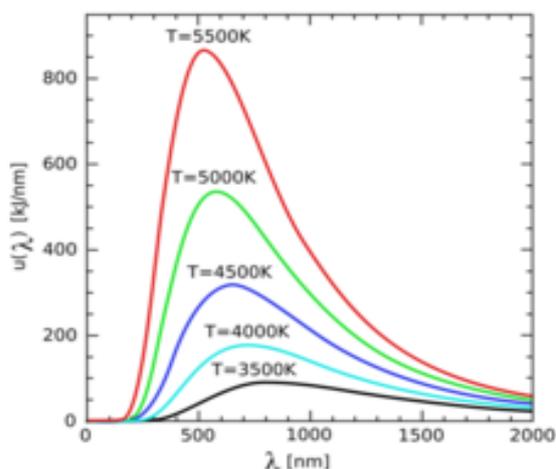
A partir da Lei Wien é possível determinar a relação entre cor e a temperatura de uma estrela, conhecendo comprimento de onda de intensidade máxima. Como as estrelas são semelhantes a corpos negros, percebe-se que como o aumento da temperatura o pico máximo do comprimento de onda se encontra deslocado para a região do ultravioleta

Por fim, ao analisar as relações propostas pela Lei de Wien e baseados na Lei de Stefan-Boltzmann, pode-se concluir que estrelas azuis são maiores, mais luminosas e mais quentes que as outras estrelas.

ATIVIDADE E AVALIAÇÃO

Atividade 4 – Aprofundamento 1

1) O gráfico a seguir apresenta os resultados experimentais da radiação eletromagnética emitida por um corpo negro quando aquecido a diferentes temperaturas. Com base no gráfico responda as seguintes questões:



a) Utilizando a lei de Wien, determine o comprimento de onda associado a cada curva.

- curva vermelha:
- curva verde:
- curva azul escura:
- curva azul clara:
- curva preta:

b) Observe os comprimentos de onda obtidos e compare com os valores de comprimento de onda da luz visível apresentados no quadro ³² da página 29 do material. Quais curvas tem seus comprimentos de onda localizados no visível? Que cores elas apresentam?

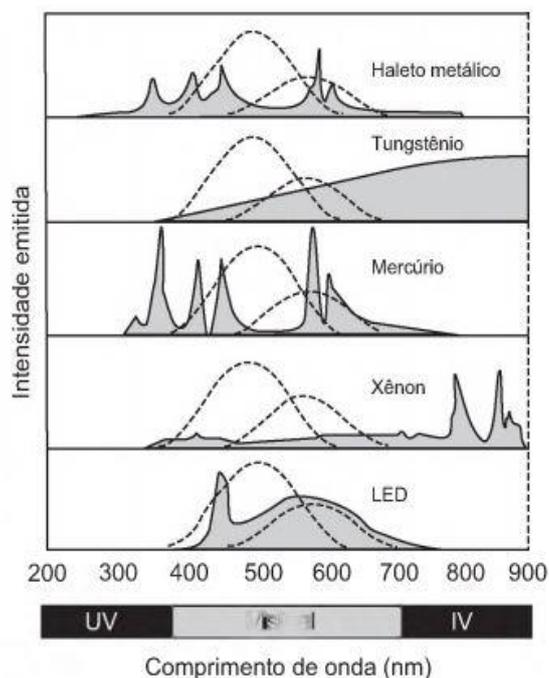
Cor	Comprimento de onda (nm)	Frequência (10^{14}Hz)
Violeta	400 – 460	7,5 – 6,5
Índigo	460 – 475	6,5 – 6,3
Azul	475 – 490	6,3 – 6,1
Verde	490 – 565	6,1 – 5,3
Amarelo	565 – 575	5,3 – 5,2
Laranja	575 – 600	5,2 – 5,0
Vermelho	600 – 700	5,0 – 4,3

³²O quadro foi transcrito do texto para a questão

c) Ainda observando os resultados da alternativa a, qual a relação entre comprimento de onda e temperatura?

2) Por que estrelas azuis são as mais quentes, enquanto estrelas vermelhas ou amarelas, como nosso Sol, são mais frias?

3) ENEM 2017 (Segunda aplicação) A figura mostra como é a emissão de radiação eletromagnética para cinco tipos de lâmpada: haleto metálico, tungstênio, mercúrio, xênon e LED (diodo emissor de luz). As áreas marcadas em cinza são proporcionais à intensidade da energia liberada pela lâmpada. As linhas pontilhadas mostram a sensibilidade do olho humano aos diferentes comprimentos de onda. UV e IV são as regiões do ultravioleta e do infravermelho, respectivamente. Um arquiteto deseja iluminar uma sala usando uma lâmpada que produza boa iluminação, mas que não aqueça o ambiente. Qual tipo de lâmpada melhor atende ao desejo do arquiteto?



a) Haleto metálico.
d) Xênon.

b) Tungstênio.
e) LED

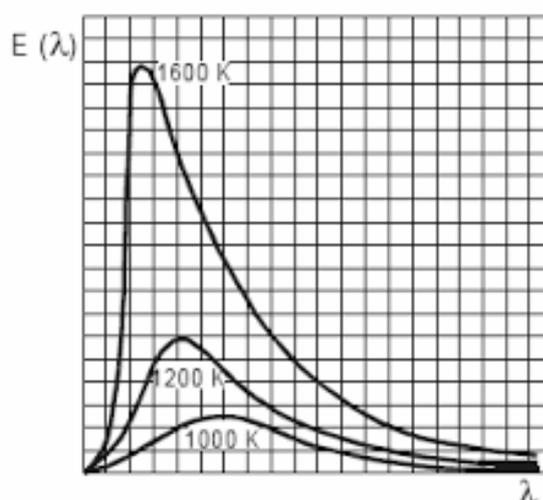
c) Mercúrio.

4) (MEC) Em 1900, Max Planck apresenta à Sociedade Alemã de Física um estudo, onde, entre outras coisas, surge a ideia de quantização. Em 1920, ao

receber o prêmio Nobel, no final do seu discurso, referindo-se às ideias contidas naquele estudo, comentou: "O fracasso de todas as tentativas de lançar uma ponte sobre o abismo me colocou frente a um dilema: ou o quantum de ação era uma grandezamente fictícia e, portanto, seria falsa toda a dedução da lei da radiação, puro jogo de fórmulas, ou na base dessa dedução havia um conceito físico verdadeiro. A admitir-se este último, o quantum tenderia a desempenhar, na física, um papel fundamental...destinado a transformar por completo nossos conceitos físicos que, desde que Leibnitz e Newton estabeleceram o cálculo infinitesimal, permaneceram baseados no pressuposto da continuidade das cadeias causais dos eventos. A experiência se mostrou a favor da segunda alternativa." (Adaptado de Moulton, F.R. e Schiffers, J.J. Autobiografia de la ciencia. Trad. Francisco A. Delfiane. 2 ed. México: Fondo de Cultura Económica, 1986. p. 510). O referido estudo foi realizado para explicar:

- a) a confirmação da distribuição de Maxwell-Boltzmann, de velocidades e de trajetórias das moléculas de um gás.
- b) a experiência de Rutherford de espalhamento de partículas alfa, que levou à formulação de um novo modelo atômico.
- c) o calor irradiante dos corpos celestes, cuja teoria havia sido proposta por Lord Kelvin e já havia dados experimentais.
- d) as emissões radioativas do isótopo Rádio-226, descoberto por Pierre e Marie Curie, a partir do minério chamado "pechblenda".
- e) o espectro de emissão do corpo negro, cujos dados experimentais não estavam de acordo com leis empíricas até então formuladas.

5) (MEC) No gráfico ao lado estão representadas três curvas que mostram como varia a energia emitida por um corpo negro para cada comprimento de onda, $E(\lambda)$, em função do comprimento de onda λ , para três temperaturas absolutas diferentes: 1000 K, 1200 K e 1600 K.



Com relação à energia total emitida pelo corpo negro e ao máximo de energia em função do comprimento de onda, pode-se afirmar que a energia total é:

- a) proporcional à quarta potência da temperatura e quanto maior a temperatura, menor o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.
- b) proporcional ao quadrado da temperatura e quanto maior a temperatura, maior o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.
- c) proporcional à temperatura e quanto maior a temperatura, menor o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.
- d) inversamente proporcional à temperatura e quanto maior a temperatura, maior o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre.
- e) inversamente proporcional ao quadrado da temperatura e quanto maior a temperatura, maior o comprimento de onda para o qual o máximo de energia ocorre

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA- APROFUNDAMENTO 2

7. ESTRELAS E A CLASSIFICAÇÃO ESPECTRAL

Desde a antiguidade, as estrelas têm despertado o interesse da humanidade. Conhecer o que são, do que são formadas, sua temperatura, cor e como produzem sua energia foram o foco de estudo de muitos astrônomos.

Uma das primeiras coisas que se aprende sobre as estrelas é que elas são corpos celestes que possuem luz própria. Está afirmação pode despertar a curiosidade e a partir dela perguntar, mas de onde vem o brilho das estrelas? Será que todas as estrelas são iguais? Qual a fonte de energia de uma estrela?

As estrelas são consideradas esferas de plasma autogravitantes, ou seja, formadas de gás ionizado com altas temperaturas. Sua fonte de energia é transmutação de elementos através de reações nucleares, isto é, da fusão nuclear de hidrogênio em hélio e posteriormente em elementos mais pesados. (OLIVEIRA ; SARAIVA, 2003).

Ao observar o céu noturno, é possível perceber uma variedade de estrelas, que diferem-se uma das outras por seu tamanhos e cores, mas essas diferenças vão além análise visual. As estrelas possuem diferenças em suas propriedades fundamentais como luminosidade, massa, temperatura e composição química.

Essas características peculiares levaram os astrônomos a classificá-las primeiro por sua massa, porém, essa característica não era suficiente para explicar a diversidade delas e perceberam que era preciso classificá-las de uma forma menos generalizada.

Então, os astrônomos perceberam que os espectros de absorção das estrelas apontavam as semelhanças e diferenças entre elas. Observaram que algumas estrelas possuíam linhas de absorção de hidrogênio bem marcadas, enquanto outras não as apresentavam, porém mostravam linhas fortes indicando a presença de outros elementos.

Esta forma de classificação é conhecida como a análise espectral. Antes dos equipamentos modernos que existem hoje, o registro dos espectros

estelares era realizado visualmente e demandava muito esforço e trabalhos dos astrônomos. Hoje para obter o espectro de uma estrela, a sua radiação que chega no telescópio em forma de luz deve ser dispersada em comprimento de onda através de um espectrógrafo (da mesma forma que a luz branca é decomposta em várias cores ao passar por um prisma), essa luz dispersada é então registrada, fotograficamente ou de forma eletrônica.

A análise espectral é realizada a partir da comparação entre a posição das linhas espectrais da estrela observada e as linhas de um espectro de laboratório (lâmpada de calibração), pode-se identificar seus comprimentos de onda e quais elementos propiciaram a formação das linhas.

Dessa forma a primeira classificação espectral foi baseada na intensidade das linhas de hidrogênio, no espectro de absorção das estrelas. Esta classificação foi desenvolvida pelo Observatório de Harvard e adotava a sequência A,B,C...P, para a nomenclatura das classes espectrais, onde estrelas tipo A apontavam linhas mais forte de hidrogênio, sendo que a intensidade dessas linhas diminuíam até chegar no tipo P.

A partir do melhor entendimento dos subníveis da estrutura atômica, ocorrido no início do século XX, foi possível estabelecer um novo esquema para a classificação espectral levando em conta temperatura superficial da estrela.

Com isso uma nova forma de classificação foi criada e a responsável por essa nova sequência foi Annie Jump Cannon (figura 32), que em 1901 publicou seu primeiro catálogo estelar.

Figura 29 - Foto de Annie J. Cannon observando os espectros estelares.



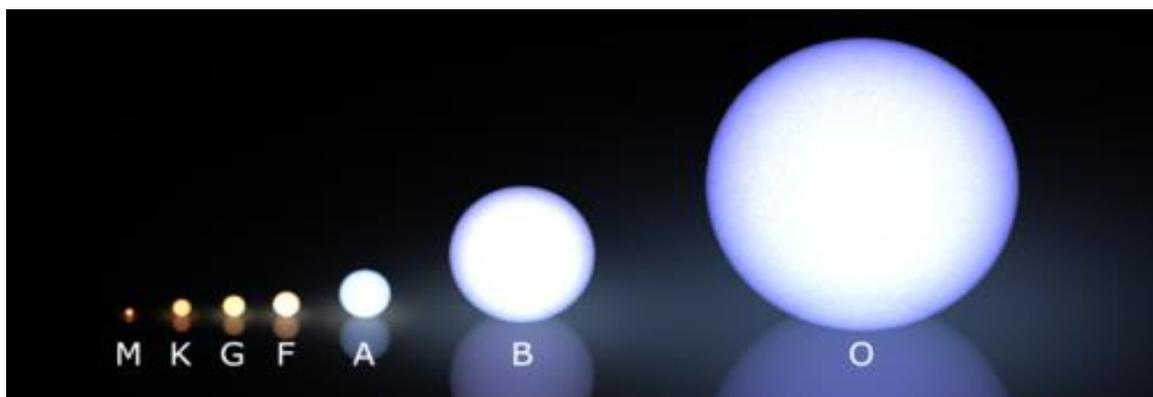
Fonte: SATO (2018) ³³

³³SATO, E.A. Cecilia Payne e as computadoradoras de Harvard: As mulheres que desvendaram o segredo das estrelas (V.4, N.3). **Blog de Ciência**, 2018. Disponível em:

Cannon fazia era uma excelente astrônoma fazia parte de um grupo de mulheres que ficou conhecido como “As Calculadoras de Harvard”. Elas trabalhavam para o professor Edward Charles Pickering, diretor do observatório de Harvard e inventor do primeiro catálogo estelar.

Com a nova forma de classificação proposta por Cannon, algumas letras foram suprimidas e a ordem alterada, resultando em O,B,A,F,G,K,M. Essa sequencia internacionalmente conhecida recebe o nome de Classificação de Harvard, que através das linhas do espectro de absorção do hidrogênio classifica as estrelas de acordo com a luminosidade e a temperatura superficial. A classificação de Havard classifica as estrelas do tipo O como quentes e as do tipo M com as mais frias. A figura 33, mostra uma representação do tamanho relativo das estrelas e das cores a olho nu.

Figura 30 - Representação do tamanho relativo das estrelas e das cores a olho nu.



Fonte: MEDEIROS (2012)³⁴

Além da classificação alfabética, as classes espectrais são subdivididas em 10 grupos, numerados de 0 a 9. Estes subtipos indicam a temperatura superficial da estrelas do mesmo grupo, o zero é utilizado para classificar estrelas as mais quentes e nove para classificar as mais frias.

<https://www.blogs.unicamp.br/tortaprimordial/2018/03/12/cecilia-payne-e-as-computadoras-de-harvard-as-mulheres-que-desvendaram-o-segredo-das-estrelas/>. Acesso em: 01 de jul. 2021.

³⁴ MEDEIROS, M.F. Classificação das Estrelas. *Astronomia Galactica e estelar*, 2012. Disponível em <http://galactica-estelar.blogspot.com/2012/05/classificacao-das-estrelas.html>. Acesso em 01 de out. 2021

O trabalho de Annie Cannon e da sua equipe possibilitou a catalogação de mais de 395 mil estrelas. Este catálogo é conhecido como Catálogo HD (*Henry Draper Catalogue*) e a classificação nele utilizada, formam a base da espectroscopia estelar e são usados até os dias de hoje.

O quadro 4 exhibe os critérios para a Classificação Espectral de Harvard:

Quadro 4: Classificação Espectral de Harvard

Tipo de Estrela	Cor	Comprimento de Onda Máximo (nm)	Temperatura (K)	Características Espectrais	Exemplo
O	Azul	72,5	> 30.000	Apresentam linhas de HeII (hélio uma vez ionizado), ultravioleta forte e linhas do H I fracas.	Mintaka
B	Branco azulado	145	10.000 – 30.000	Apresentam linhas de HeI e as linhas do H I visíveis.	Ringel
A	Branca	290	7.500 – 10.000	Apresentam linhas de H I muito fortes.	Vega
F	Branco amarelada	387	6.000 – 7.500	As linhas do H I ficam mais fracas, mas ainda são bem visíveis. As linhas do Ca II ficam fortes.	Procyon
G	Amarela	527	5.000 – 6.000	Apresentam linhas de metais fortes e H I fraco. CaII (H e K) dominantes.	Sol
K	Laranja	725	3.500 – 5.000	Apresentam linhas metálicas dominantes. A banda G é muito forte e linhas de H fracas	Adebaran
M	Vermelha	966	< 3.500	Apresentam bandas fortes de moléculas (TiO); linhas fortes de metais neutros; linhas de H muito fracas	Betelgeuse

Fonte: adaptado de Napoleão (2018)

A critério de conhecimento, cabe informar que três categorias adicionais, representadas pelas letras R, N e S foram elaboradas para classificar estrelas ricas em metais pesados.

8. DIAGRAMA H-R

As linhas espectrais de uma estrela também podem nos fornecer informações importantes sobre o brilho das mesmas.

Em 1905, de forma independente, o astrônomo Ejar Hertzsprung e Henry Russel analisando os espectros estelares, perceberam que a temperatura e brilho estelar estavam relacionados ao tamanho da estrela. Ao comparar estrelas de mesma classe espectral, que possuíam temperaturas semelhantes, Hertzsprung percebeu que estrelas mais brilhantes possuíam linhas espectrais estreitas enquanto as estrelas menos brilhantes possuíam as linhas espectrais mais largas. Eles constataram que a luminosidade de uma estrela diminuía de acordo com a classe espectral de O para M.

Lembre-se que a luminosidade de uma estrela, ou seja o seu brilho, depende da temperatura e do seu raio. Assim se comparar estrelas de uma mesma classe espectral com temperaturas semelhantes percebe-se que a diferença das linhas espectrais devia ser provocada pelo raio da estrela.

Por meio dessas relações é possível construir gráficos que podem organizar as estrelas em categorias e também compreender a ciclo de vida de uma estrela. Esses gráficos são conhecidos como Diagrama Hertzsprung-Russel ou Diagrama H-R.

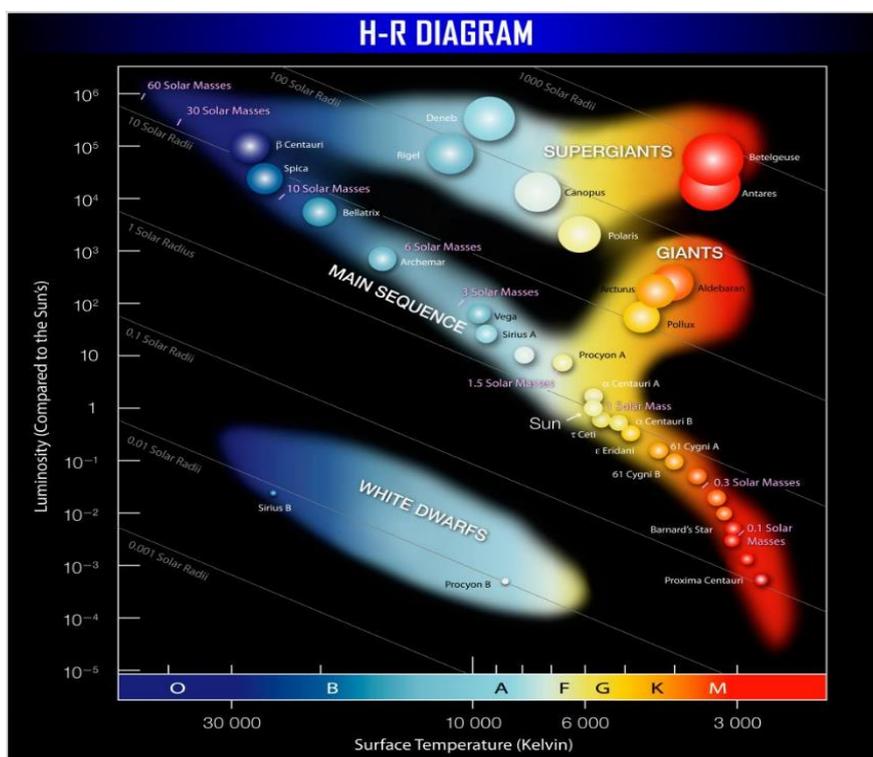
O diagrama H-R, representado na figura 34, relaciona luminosidade de estrelas próximas ao Sol. No eixo das ordenadas (eixo y), com a classe espectral e a temperatura aumentando para a esquerda no eixo das abcissas (eixo x). O diagrama mostra ainda que as estrelas não se encontram espalhadas mas concentradas em determinadas faixas. A maioria delas está localizada em uma faixa central, formando uma faixa diagonal. Esta faixa vai do canto superior esquerdo, onde encontram-se estrelas mais massivas, mais luminosas e mais quentes, ao canto inferior direito, onde se localizam as estrelas menos massivas, mais frias e menos luminosas se comparadas ao Sol.

Essa faixa diagonal é chamada de sequência principal e representa a fase evolutiva em que a estrela se encontra. As estrelas que fazem parte dessa sequência são chamadas de anãs e o que determina a presença dessas estrelas na faixa principal é a massa.

O diagrama mostra ainda outras regiões: supergigantes, gigantes e anãs brancas. Essas regiões também indicam a fase estelar em que a estrela se encontra.

As estrelas classificadas como supergigantes, são estrelas mais luminosas e localizam-se na parte de cima da sequência principal. Já as estrelas mais luminosas e mais frias são chamadas de gigante vermelhas e encontram-se na parte direita e acima da sequência principal. E na parte inferior esquerda da sequência principal encontram-se as anãs brancas que são estrelas pouco luminosas e relativamente quentes.

Figura 31- Diagrama H-R para estrelas próximas ao Sol



Fonte: REIS (2011) ³⁵

³⁵ REIS, N. Estrelas. **Astronomia, Astronáutica e Ciências Espaciais na Escola**, 2011.

Disponível em: <https://educacaoespacial.wordpress.com/2011/11/09/estrelas/>. Acesso em: 21 de out. 2021.

Como já citado, o diagrama H-R coopera para que se determine a fase de evolutiva em que a estrela se encontra. No momento de formação inicial de uma estrela ela já possui uma posição definida na sequência principal do Diagrama H-R, devido as reações nucleares que ocorrem em seu interior transformando hidrogênio em hélio. No decorrer de sua evolução as estrelas migram da sequência principal para as outras regiões (supergigantes, gigantes e anãs brancas) devido a suas massas.

8.1 – Classes de Luminosidade

A classificação espectral de Harvard divide as estrelas em sete classes espectrais e em 10 subclasses de acordo com características presentes nos espectros de absorção de cada uma delas. Entretanto ele não descreve uma maneira de distinguir estrelas de mesma temperatura mas com luminosidades diferentes. Logo há uma certa dificuldade em distinguir estrelas que se encontram na sequência principal de estrelas localizadas nas outras regiões do Diagrama H-R.

Para solucionar esse problema os astrônomos William Morgan e Philip Keenane do Observatório Yerkes desenvolveram uma classificação relacionada à luminosidade. Essa classificação ficou conhecida como Classificação Espectral de Yerkes ou Classificação MK.

Para diferenciar o tamanho das estrelas de mesma classe espectral, eles observaram que existia uma relação entre a densidade da atmosfera das estrelas e sua luminosidade. As estrelas classificadas como anãs possuem atmosferas mais densas se comparadas às estrelas classificadas como gigantes e bem menos densas quando comparadas as estrelas consideradas anãs brancas.

Com isso os astrônomos elaboram um esquema relacionando temperatura e luminosidade. A ideia desse esquema é complementar a classificação de Harvard, para isso um numeral romano (I a IV) foi adicionado às classes espectrais já estabelecidas a fim de indicar a classe de luminosidade da estrela. O quadro 5 apresenta como as classes foram nomeadas:

Quadro 5 - Classes de Luminosidade

Classe	Características
Ia	Supergigantes mais luminosas
Ib	Supergigantes
II	Gigantes luminosas
III	Gigantes normais
IV	Subgigantes
V	Estrelas da sequência principal (anãs)

Fonte: Napoleão (2018)

9. COMBUSTÍVEL DAS ESTRELAS:

No fim do século XIX os astrônomos começaram a se perguntar que forma de energia estava sendo convertida em calor no Sol. Pensaram sobre a hipótese do Sol ser movido a combustíveis tradicionais, como carvão, petróleo ou mesmo hidrogênio puro, mas os cálculos mostravam que um Sol movido a combustível normal não poderia durar mais do que a história humana escrita e também não seria possível emitir luz visível.

Uma outra hipótese sobre a fonte de energia do Sol estava na contração gravitacional, ou seja, ao se contrair o Sol diminui seu raio e transforma energia gravitacional em calor. Essa teoria ficou conhecida como Mecanismo de Kelvin-Helmholtz.

Contudo, essa teoria mostrou-se errada quando o físico Lord Kelvin Willian Thomson realizou alguns cálculos para tentar determinar a idade do Sol. Com esses cálculos Kelvin deduziu que a luz produzida através da contração gravitacional faria o Sol brilhar um tempo estimado entre 20 e 100 milhões de anos. Com base nisso ele percebeu que a hipótese de Sol movido pela contração gravitacional era errada, já que o mesmo tem cerca de 4,6 bilhões de anos.

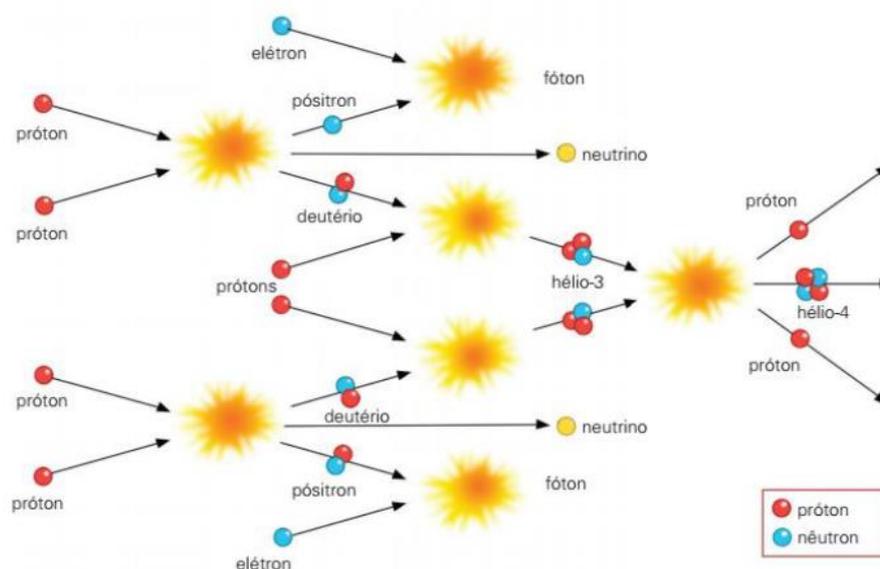
Já no início do século XX, as respostas sobre o processo de obtenção de energia nas estrelas se concentravam nas reações termonucleares. Nesse contexto os cientistas acreditavam que o Sol e as demais estrelas produziam energia a partir de um processo conhecido como fusão nuclear.

A fusão nuclear no interior do Sol desencadearia uma reação em que os átomos de Hidrogênio ao se fundir formariam átomos de Hélio, já que o principal elemento químico presente no Sol é o Hidrogênio e depois o Hélio,

mas os astrônomos e os físicos não conseguiam ainda propor uma teoria que explicasse como essa reação acontecia.

Assim em 1939, o físico Hans Bethe apresenta uma teoria para explicar as reações termonucleares. Bethe mostrou que a energia produzida no núcleo de uma estrela era o resultado da conversão de 4 (quatro) núcleos de hidrogênio em 1 (um) núcleo de hélio, liberando grandes quantidades de energia. O processo descrito é chamado de ciclo próton-próton, representado pela figura 35.

Figura 32 - Representação da fusão do hidrogênio em hélio



Fonte: Pietrocola; *et al*; (2016, p.225)³⁶

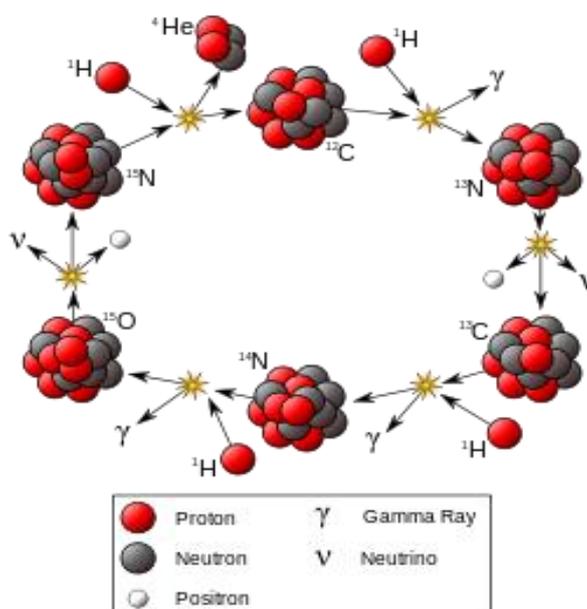
A figura 35 mostra que as reações de fusão nuclear ocorrem em cinco etapas. Primeiramente os hidrogênios ou prótons, colidem e se fundem formando, o átomo de deutério, um pósitron e um neutrino que escapa rapidamente do núcleo estelar. Os positrons se aniquilam ao colidirem com o elétron e liberam energia na forma de raios de gama. A radiação gama é a responsável pelo aumento de temperatura de uma estrela. Os núcleos de deutérios formados colidem com um próton, gerando um núcleo leve de Hélio-3 (trítio) e mais radiação gama de alta energia. No último estágio dois núcleos

³⁶ PIETROCOLA, P. C.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em contextos** Volume 3. 1ª Edição. São Paulo. Editora do Brasil. 2016.

de Hélio-3 interagem formando finalmente um núcleo de Hélio e mais dois hidrogênios, que estarão livres para recomençar o ciclo. Este processo ocorre predominantemente em estrelas com núcleos em que a temperatura chega a 15 milhões kelvins.

Já em estrelas com temperaturas nucleares acima de 20 milhões de kelvins a energia nuclear é obtida através de reações nucleares que envolvem a fusão de quatro núcleos de hidrogênio para formar um núcleo de hélio, partindo de um núcleo de carbono. Esse mecanismo, representado pela figura 35, é chamado de ciclo do carbono ou ciclo CNO.

Figura 33 - Representação da fusão nuclear no ciclo CNO



Fonte: SATO (2021)³⁷

O ciclo CNO é mais complexo que próton-próton, pois durante processo de fusão nuclear pode-se reconhecer seis etapas e a presença dos catalisadores (carbono e o nitrogênio). Os dois ciclos apresentam um ponto em comum, tanto no ciclo próton-próton como no CNO o combustível para a reação é o hidrogênio e o produto dessa reação é o hélio.

Neste ciclo apresentado em sentido horário, um núcleo de carbono 12 colide com um próton formando nitrogênio 13 e radiação gama. O átomo de

³⁷ SATO, E. Importante reação nuclear foi detectada pela primeira vez no Sol. **Instituto Principia**. 2021. Disponível em: <https://www.institutoprincipia.org/post/importante-rea%C3%A7%C3%A3o-nuclear-foi-detectada-pela-primeira-vez-no-sol>. Acesso em: 21 de out. 2021

nitrogênio 13 é muito instável, sofre decaimento liberando um positron e um neutrino, formando carbono 13. O carbono 13 colide com um próton formando um núcleo de nitrogênio 14 e liberando radiação gama. Esse núcleo de nitrogênio formado colide com outro próton originando um oxigênio 15 e radiação gama. O núcleo de oxigênio formado é um isótopo instável que também sofre decaimento formando nitrogênio 15, pósitron e um neutrino. Por fim esse isótopo de nitrogênio colide com o hidrogênio formando carbono 12 e hélio. E o ciclo se reinicia.

ATIVIDADES E AVALIAÇÃO

Atividade 5 – Aprofundamento 2

1) Sobre os conteúdos trabalhados, julgue os itens em verdadeiro e falso:

- () As estrelas são todas iguais.
- () A primeira classificação espectral foi realizada com base em espectros de emissão do hidrogênio.
- () A classificação espectral proposta por Annie J. Cannon levava em consideração a temperatura das estrelas.
- () Estrelas da Classe G, como o Sol, apresentam temperaturas superficiais entre 5000 e 6000 K, possuem comprimento de onda máximo próximos a 527 nm e tem cor amarela.
- () De acordo com a Classificação Espectral de Harvard estrelas de cor azul como Mintaka são consideradas frias e estrelas vermelhas como Betelgeuse são consideradas quentes.

2) Como as estrelas produzem sua energia?

- a) Queima de combustível fóssil
- b) Queima do hidrogênio
- c) Reações termonucleares
- d) Contração Gravitacional

3) O principal combustível de uma estrela é:

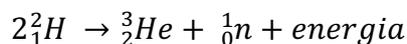
- a) Hélio
- b) Hidrogênio
- c) Carbono
- d) Nitrogênio
- e) Carvão ou Petróleo

4) Tanto das reações do ciclo proton-proton como no ciclo CNO, o principal produto formado é o:

- a) Hélio
- b) Hidrogênio
- c) Carbono
- d) Nitrogênio
- e) Oxigênio.

5) Pesquise em *sites* ou livros, que irá acontecer com uma estrela pouco massiva e com uma estrela muito massiva, caso o todo o seu hidrogênio seja convertido em hélio.

6) (UFG-GO) O sol fornece energia ao nosso planeta devido à fusão nuclear – a união de átomos de hidrogênio para formar hélio. Um exemplo de reação de fusão é a união de dois núcleos de deutério para dar um núcleo de hélio, um nêutron e energia, que pode ser representada como:



Sobre esse processo, é correto afirmar:

- 01. É uma reação química onde os reagentes são átomos de hidrogênio e os produtos são nêutrons, átomos de hélio e energia.
- 02. O deutério é um dos isótopos conhecidos do hidrogênio.
- 04. O hélio produzido é isóbaro do trítio, outro isótopo conhecido do hidrogênio.
- 08. O hidrogênio, o deutério e o trítio apresentam cargas nucleares diferentes.
- 16. Gases nobres podem ser produzidos por processos naturais.
- 32. Os números sobrescritos e subscritos correspondem, respectivamente, ao número de massa e ao número atômico.

7) (UFRS) - O Sol é a grande fonte de energia para toda a vida na Terra. Durante muito tempo, a origem da energia irradiada pelo Sol foi um mistério para a humanidade. Hoje, as modernas teorias de evolução das estrelas nos dizem que a energia irradiada pelo Sol provém de que ocorrem no seu interior, envolvendo núcleos de elementos leves.

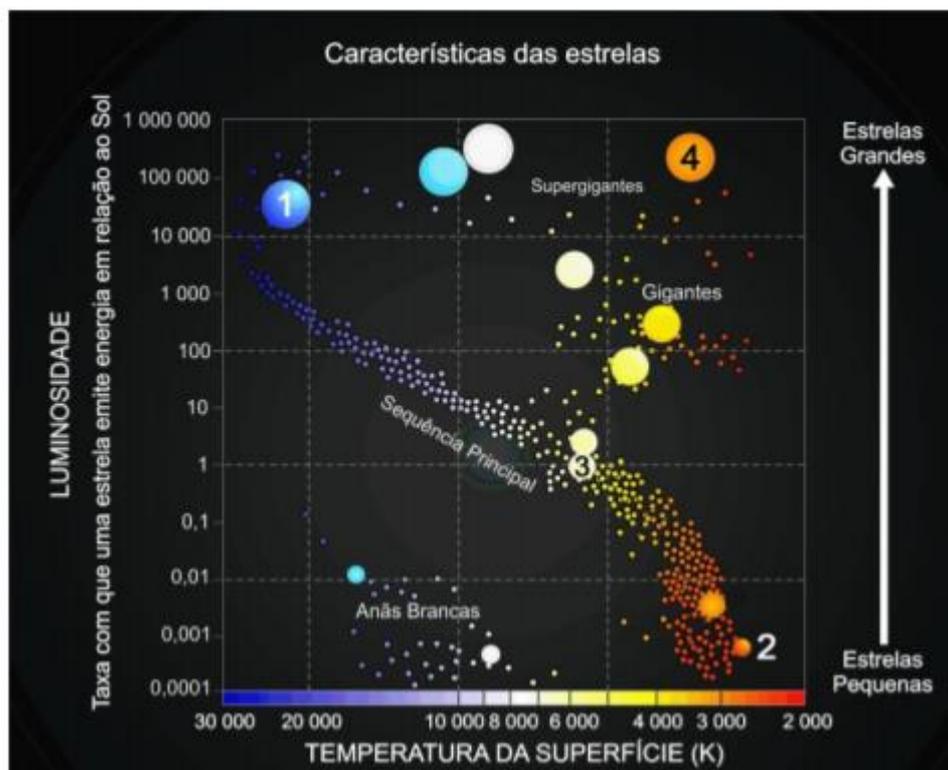
- a) espalhamento
- b) fusão nuclear
- c) fissão nuclear
- d) fotossíntese
- e) combustão

8) (FGV) - Fissão nuclear e fusão nuclear:

- a) Os termos são sinônimos
- b) A fusão nuclear é responsável pela produção de luz e calor no Sol e em outras estrelas
- c) Apenas a fissão nuclear enfrenta o problema de como dispor o lixo radioativo de forma segura
- d) A fusão nuclear é atualmente utilizada para produzir energia comercialmente em muitos países
- e) Ambos os métodos ainda estão em fase de pesquisa e não são usados comercialmente.

9) (P1 Online 2019) O Diagrama de Hertzsprung-Russell conhecido como diagrama HR, foi publicado independentemente pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967), em 1911, e pelo americano Henry Norris Russell (1877-1957), em 1913, como uma relação existente entre a luminosidade de uma

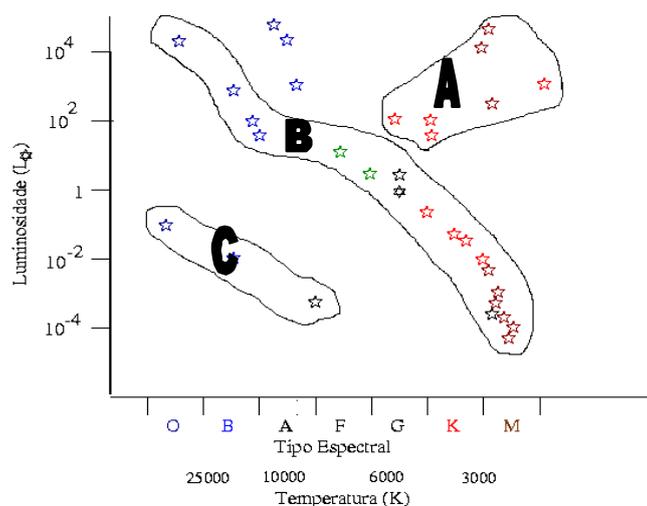
estrela e sua temperatura efetiva. Na figura a seguir foram marcadas a posição de quatro (4) estrelas bem conhecidas no diagrama HR.



Indique a opção que traz, respectivamente, o nome destas estrelas.

- a) Spica, Próxima Centauri, Sol e Betelgeuse
- b) Spica, Próxima Centauri, Alpha Centauri e Betelgeuse
- c) Polaris, Pollux, Sol e Aldebaran
- d) Polaris, Alph Centauri, Sol e Aldebaran

10) (III OBA - 2000) - O Diagrama de Hertzsprung-Russell, conhecido como diagrama HR, foi descoberto independentemente pelo dinamarquês Ejnar Hertzsprung (1873-1967), em 1911, e pelo americano Henry Norris Russell (1877-1957), em 1913. Russel representou algumas estrelas estudadas em um diagrama Luminosidade x Temperatura superficial. A partir do estudo desse diagrama, podemos determinar propriedades das estrelas. Uma das aplicações mais importantes do diagrama HR é a determinação de distâncias estelares. O fator que determina onde uma estrela se localiza na seqüência principal é a sua massa: estrelas mais massivas são mais quentes e mais luminosas.



Observação: A luminosidade 1 é a luminosidade do Sol.

- a) De acordo com a figura associe os nomes das áreas assinaladas como A, B e C aos grupos de estrelas conhecidos como gigantes vermelhas, anãs brancas e seqüência principal

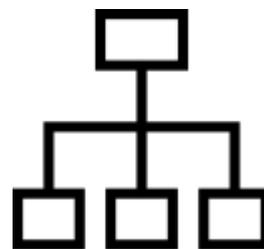
- b) Determine em qual faixa espectral se localiza o Sol e a que região (A, B ou C) ele atualmente pertence, sabendo que sua temperatura superficial é algo em torno de 6000 K.

- c) Em sua evolução o Sol passará pelos três estágios definidos pelos grupos A, B e C. Determine esta seqüência e diga em qual região do gráfico ele permanecerá por menos tempo.

MAPA CONCEITUAL FINAL

Atividade 6: Mapa Conceitual final³⁸

ASTROFÍSICA



³⁸ Figura do banco de dados o Oficce 365.

4º MÓDULO

ETAPAS DA UEPS NESSE MÓDULO	6ª Etapa: Reconciliação integradora 7ª Etapa: Avaliação 8ª Etapa: Efetividade
MODALIDADE	Assíncrona e Síncrona
OBJETIVOS:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Realizar a montagem de um espectroscópio que utiliza a câmera do celular para a visualização do espectro; ➤ Buscar a reconciliação integrativa através de um experimento; ➤ Visualizar espectros de diferentes fontes luminosas; ➤ Verificar o processo de aprendizagem significativa e também a efetividade da UEPS.
CONTEÚDOS ESPECÍFICO:	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Espectroscópio
MATERIAIS– SUPLEMENTO 4	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Atividade 7: Montagem do Espectroscópio; ➤ Atividade 8: Situação problema final.
ENCAMINHAMENTOS	

O 4º Módulo da UEPS é a reconciliação integradora, de forma assíncrona, o professor solicitará ao estudantes a montagem de espectroscópio e a visualização de espectros formados por fontes luminosas diferentes.

O professor disponibilizará por meio plataforma *Google* sala de aula a Atividade 7. Ela é uma atividade prática, composta por um vídeo (tutorial) elaborado pelo Prof. Dr. Ricardo Francisco Pereira do Departamento de Física (DFI) da Universidade Estadual de Maringá (UEM) e pelo molde de um espectroscópio adaptado para as câmeras de *smartphones*. O vídeo para a montagem do equipamento pode ser acessado pelo link: <https://www.youtube.com/watch?v=ley6vG27Yqo>. O molde do espectroscópio pode ser encontrado na descrição do vídeo.

Após a montagem do espectroscópio os estudantes deverão observar fontes luminosas como lâmpadas incandescentes, lâmpadas fluorescentes, as lâmpadas do poste de iluminação pública, lanternas de automóveis, entre outros e fotografar os espectros obtidos.

Em momento síncrono, na aula *online*, professor e estudantes vão comparar e discutir os resultados obtidos. Por fim o professor apresentará questões com um maior nível de complexidade: Como determinar o que tem dentro de uma estrela? Como ela produz sua energia? Por que as estrelas podem ser consideradas fábricas de elementos químicos?

Ao fim da aula o professor solicitará aos estudantes que registrem a resposta da questão trabalhada em um Formulário *Google*, indicada como Atividade 8 no *Google Sala de aula*. Esta atividade assim como os exercícios realizados ao longo da UEPS correspondem à Avaliação.

Além das questões acima citadas a atividade 8 será composta por questões auto avaliativas, que tem por finalidade verificar a aprendizagem e a Efetividade da UEPS.

SUPLEMENTO 4:

O Suplemento 4 reúne os materiais e recursos necessários a aplicação do módulo 4.

- Fundamentação teórica;
- Montagem do espectroscópio;
- Molde do espectroscópio
- Atividades e Avaliação.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Espectrocópio Solar:

Texto de Carlos Eduardo Quintanilha Vaz de Oliveira, com base nos trabalhos publicados por Maria Cristina P. Stella de Azevedo, Webster Spinguel Cassiano e João Batista Canalle (UERJ) – Extraído do livro: Coleção Explorando o Ensino de Astronomia. Fronteira Espacial – Parte 1 – Volume 11.

Apresentação

Ao lermos um livro de astronomia, várias vezes encontramos neste a composição química dos corpos celestes. Vemos que no Sol ela é, basicamente, constituída de hidrogênio, hélio e alguns outros elementos em pequena quantidade.

Uma pergunta nos vem à mente: como os astrônomos sabem do que são constituídas as estrelas, se não têm como analisar uma amostra retirada delas, já que estão tão longe e ao mesmo tempo são tão quentes?

A resposta é a seguinte: analisamos a luz que chega até nós, destes corpos, através de um aparelho chamado espectroscópio. Nesta análise, comparamos com resultados experimentais de elementos químicos que existem em nosso planeta e determinamos qual a composição química do objeto celeste que estamos observando.

Luz como fonte de observação astronômica

Quando fazemos passar a luz de uma lâmpada comum através de um prisma, ou até mesmo através de uma caneta esferográfica, verificamos que ela se decompõe em diversas cores. Estas cores vão do vermelho, passando pelo alaranjado, amarelo, verde, azul e violeta (as cores do arco-íris). A este conjunto de cores, obtido da decomposição da luz da lâmpada, denominamos espectro de luz.

Em especial, o espectro de luz de uma lâmpada comum, ou lâmpada de filamento, é denominado de espectro contínuo, ou seja, o espectro não apresenta nenhuma falha ou quebra quando é decomposto.

Já ao se analisar a luz de uma lâmpada fluorescente, verificamos que a luz se decompõe com as mesmas cores da lâmpada comum, mas seu

espectro é diferente, apresenta algumas linhas bem definidas além do contínuo.

Este espectro (chamado de espectro de linhas) é diferente, porque a lâmpada fluorescente possui em seu interior um gás, o qual é excitado pela energia elétrica que passa por ele e o faz “acender”. Em todo e qualquer gás excitado e que emite luz, encontraremos um espectro que é característico (também conhecido como impressão digital) do elemento constituinte do gás.

Ora, sabemos que as estrelas são bolas de gás incandescentes, então, se analisarmos a luz que chega delas, devemos encontrar um espectro de linhas!

Bem, as primeiras pessoas que analisaram o espectro de luz das estrelas não encontraram exatamente um espectro de linhas como os que eram observados em laboratório, mas observaram um espectro contínuo e com linhas escuras que coincidiam com linhas de elementos conhecidos em laboratório – e assim os elementos químicos das estrelas foram descobertos.

Um dos equipamentos que podemos usar para analisar a luz é o espectroscópio. Este aparelho decompõe a luz, a qual queremos analisar, em suas diversas cores (ou espectro).

Fonte: OLIVEIRA (2011)

MONTAGEM DO ESPECTROSCÓPIO

ATIVIDADE 7

Materiais:

- Molde para o espectroscópio
- CD ou DVD
- Tesoura
- Estilete
- Réguas
- Fita isolante:

Procedimentos: Para montagem dos espectroscópio assista o tutorial de montagem do Prof. Dr. Ricardo Francisco Pereira do Departamento de Física (DFI) da Universidade Estadual de Maringá (UEM). O vídeo de montagem encontra-se disponível no *link*: <https://www.youtube.com/watch?v=ley6vG27Yqo>.

Figura 34 - Print Screen da Tela Inicial do vídeo no Youtube



Fonte: PEREIRA (2016)³⁹

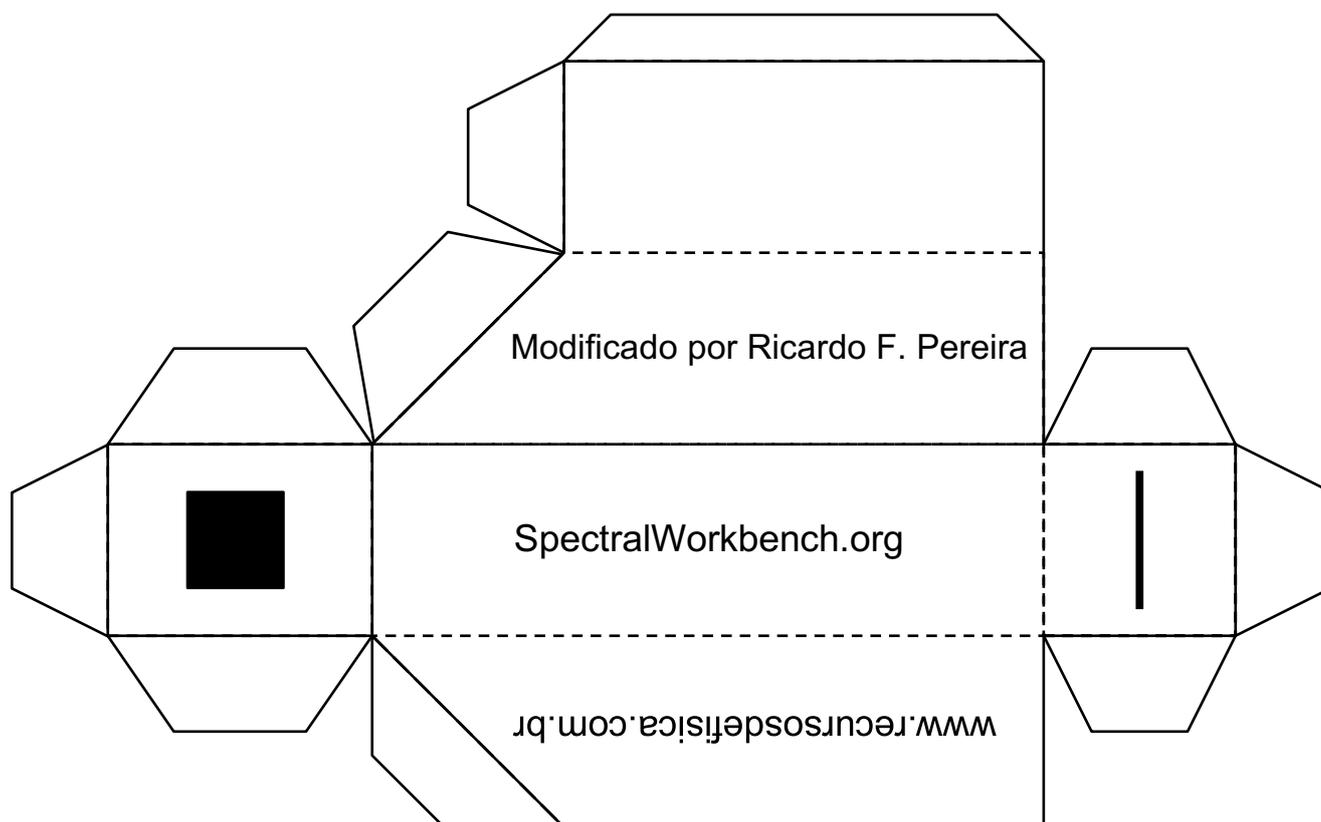
Anotando as observações:

³⁹ PEREIRA, R. F. Montagem de espectroscópio para câmera de *smartphone*. **Youtube**. 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ley6vG27Yqo>. Acesso em: 01 de jul. 2021.

- Coloque o espectróscopio montado na câmera do seu celular.
- Aponte a fenda, para uma fonte de luz. Ao passar pela fenda superior e refletir sobre o pedaço de CD ou DVD, que vai decompor a luz desta fonte nas várias cores do espectro visível. Esse espectro poderá ser visualizado na tela do seu celular.
- Fotografe e compare os vários espectros que você coletou com seu espectroscópio.

MOLDE DO ESPECTROSCÓPIO

Figura 35⁴⁰: Molde do Espectroscópio elaborado pelo professor Dr. Ricardo Francisco Pereira



Fonte: PEREIRA (2016)⁴¹

⁴⁰ O molde pode ser encontrado na descrição do vídeo.

⁴¹PEREIRA, R. F. Montagem de espectroscópio para câmera de *smartphone*. **Youtube**. 2016. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=ley6vG27Yqo>. Acesso em: 01 de jul. 2021.

ATIVIDADES E AVALIAÇÃO

Atividade 8:

1) O que tem dentro de uma estrela?

2) Como ela produz sua energia?

3) Qual é a sua cor do Sol?

4) Por que as estrelas podem ser consideradas fábricas de elementos químicos?

8. Foi possível durante as aulas perceber a relação com outros conteúdos disciplinares? Justifique.

9. Durante a aplicação do produto educacional você percebeu a relação Ciências, Tecnologia e Sociedade?

() Sim () Não

10. Dos recursos utilizados (Simulador, Formulário, Experimento e Texto), qual(is) você mais gostou? Comente.

11. Você acredita que os conteúdos trabalhados foram capazes de colaborar com seu aprendizado? Comente.

12. O que você acredita que poderia ter melhorado no decorrer das aulas? Registre sua opinião ou comentário.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta deste trabalho teve como objetivo discutir tópicos de Física Moderna, através de uma UEPS (Unidade de Ensino Potencialmente Significativa) sobre Astrofísica. A atividade foi pensada como uma alternativa ao ensino remoto e composta por aulas síncronas e assíncronas que utilizam recursos didáticos como: textos, simulador, atividade prática e exercícios com o intuito de despertar o interesse dos estudantes e promover aprendizagem significativa. Sendo que esta atividade pode ser usada ou não no ensino remoto.

Espera-se que a proposta de ensino aqui apresentada possa promover uma maior interação entre professor e estudante, além de possibilitar a construção de novos conhecimentos a partir dos conhecimentos prévios dos alunos. Espera-se também que ela seja uma ferramenta capaz de tornar as aulas de Física mais dinâmicas e atrativas, levando o estudante a se interessar cada vez pela Física, bem como gerar uma aprendizagem significativa relacionada ao seu dia a dia.

REFERÊNCIAS

- ALTMANN, G. **PIXABAY**, 2015, disponível em: <https://pixabay.com/pt/users/pexels-2286921/> Acesso em: 01 de out. 2021.
- ARAUJO, J.C. Como o gás hélio foi descoberto em 1868. **Mega Curioso**. 2021. Disponível em: egacurioso.com.br/ciencia/119449-como-o-gas-helio-foi-descoberto-em-1868.htm. Acesso em 21 de out. 2021.
- BONJORNO, J R.; *et al.* **Física Eletromagnetismo** – Física Moderna, volume 3; 3ª Edição. São Paulo: FTD, 2016.
- CISCATO, C.A.M; PEREIRA, L.F; CHEMELLO, E. **Química**, Vol. 1. 1ª Edição. Editora Moderna, 2015, p. 87. Disponível em: <https://redes.moderna.com.br/2017/07/10/a-luz-da-quimica/>. Acesso em: 21 de out. 2021.
- CORREA , T. Estrelas parte III. **Harmonia do Mundo**. 2013. Disponível em: <https://harmoniadomundo.wordpress.com/2013/03/23/estrelas3/>. Acesso em 01 de jul. 2021.
- DIAS, J. RCF (Radiação Cosmológica De Fundo). **Ventos do univeros**. 2013. Disponível em: <http://ventosdouniverso.blogspot.com/2013/04/?m=0>. Acesso em: 26 de out. 2021.
- FELTRE, R., **Química** – volume 1 . 6. ed. São Paulo : Moderna, 2004.
- GASPAR, A. **Compreendendo a Física**. Volume 3. 3ª Edição. São Paulo. 2016. Editora Ática.
- GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R., CARRON, W. **Física: Eletromagnetismo** – Física. Volume 3. 2ª Edição. São Paulo. 2016. Editora Ática.
- HELERBROCK, R. Espectro eletromagnético"; **Brasil Escola**. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/espectro-eletromagnetico.htm>. Acesso em: 01 de jul de 2021.
- LEE, K. **Astronomy Education at the University of Nebraska** – Lincoln (2020), disponível em: <https://astro.unl.edu/about.html>. Acesso em 01 de set. 2020.
- LUCCA, G.F.L. A espectroscopia e a cor das estrelas e dos átomos. **Física em classe**. 2015. Disponível em: <http://fisicaemclasse.blogspot.com/2015/03/a-espectroscopia-e-cor-das-estrelas-e.html>. Acesso em: 01 de jul. 2021
- MATTHEW, B. **PIXABAY**, 2016. Disponível em: <https://pixabay.com/pt/illustrations/%C3%A1tomo-mol%C3%A9cula-hidrog%C3%AAnio-qu%C3%ADmica-2222965/>. Acesso em 01 jul. 2021

MEDEIROS, A. Radiação de corpo negro: Janelas Escuras em Edifícios. 2011. **Física e Astronomia**. Disponível em: <http://alexandremedeirosfisicaastronomia.blogspot.com/2011/10/fisica-no-dia-dia003-janelas-escuras-em.html>. Acesso em 21 de out. de 2021.

MEDEIROS, M.F. Classificação das Estrelas. *Astronomia Galactica e estelar*, 2012. Disponível em <http://galactica-estelar.blogspot.com/2012/05/classificacao-das-estrelas.html>. Acesso em 01 de out. 2021.

MONTEIRO, M. A.; NARDI, R.; BASTOS FILHO, J. B. Dificuldades dos professores em introduzir a física moderna no ensino médio: a necessidade de superação da racionalidade técnica nos processos formativos. NARDI, R. org. **Ensino de ciências e matemática**, I: temas sobre a formação de professores [online]. São Paulo: Editora UNESP; São Paulo: Cultura Acadêmica, 2009. 258 p. ISBN 978-85-7983-004-4. Disponível em: <https://books.scielo.org/id/g5q2h/pdf/nardi-9788579830044-10.pdf>. Acesso 21 de fev. de 2021.

MOREIRA, M.A.; Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS. In: SILVA, M. G. da.; MOHR, A.; ARAÚJO, M. F.F. de. (orgs). **Temas de ensino e formação de professores de ciências**. Natal: EDUFRRN, 2012. p.45-71. Disponível em: https://ppgect.ufsc.br/files/2013/05/LivroCasadinho_V2_2013.pdf. Acesso 21 de fev. de 2021.

MOREIRA, M.A. Uma análise crítica do ensino de Física. **Ensino de Ciências**. Estud. av. 32 (94) • Sep-Dec 2018. <https://doi.org/10.1590/s0103-40142018.3294.0006>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ea/a/3JTLWqQNsfWPqr6hjzyLQzs/?lang=pt#>. Acesso em 21 de fev. de 2021.

NAAP Labs - Hydrogen energy Levels (2020) – **Astronomy Education at the University of Nebraska – Lincoln** (2020), disponível em: <https://astro.unl.edu/nativeapps/> Acesso em 01 de set. 2020.

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. Disponível em: <http://www.astro.iaq.usp.br/~guia/>. Acesso em 06/10/2020.

OLIVEIRA, E.Q. V de. Espectroscópio Solar. In: NOGUERIA, J.B. (org.) **Astronomia: ensino fundamental e médio**. Brasília : MEC, SEB ; MCT ; AEB, Coleção Explorando o ensino ; v. 11. 2009.

OLIVEIRA FILHO; K.; SARAIVA, M. F. O. **Astronomia & Astrofísica**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

OLIVEIRA FILHO; K.; SARAIVA, M. F. O.; Espectroscopia. 2020. **Astronomia e Astrofísica**. Disponível em: <http://astro.if.ufrgs.br/rad/espec/espec.htm>. Acesso em 06 de out 2020.

PEREIRA, R. F. Montagem de espectroscópio para câmera de *smartphone*. **Youtube**. 2016. Disponível em:

<https://www.youtube.com/watch?v=ley6vG27Yqo>. Acesso em: 01 de jul. 2021.

PIETROCOLA, P. C.; POGIBIN, A.; ANDRADE, R.; ROMERO, T. R. **Física em contextos**. Volume 3. 1ª Edição. São Paulo. Editora do Brasil. 2016.

QUARTUCCIO, J.T. O problema da radiação de corpo negro. **Instituto de Pesquisas Científicas**. 2016. Disponível em

<https://institutodepesquisascientificas.wordpress.com/2016/04/17/o-problema-da-radiacao-de-corpo-negro-da-catastrofe-do-ultravioleta-a-teoria-quantica/>.

Acesso em: 21 de out. 2021.

REIS, N. Estrelas. **Astronomia, Astronáutica e Ciências Espaciais na Escola**, 2011. Disponível em:

<https://educacaoespacial.wordpress.com/2011/11/09/estrelas/>. Acesso em: 21 de out. 2021.

ROSA, J. Ondas Eletromagnéticas. **Educa Mais Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.educamaisbrasil.com.br/enem/fisica/ondas-eletromagneticas>.

Acesso em: 01 de jul. 2021.

SATO, E.A. Cecilia Payne e as computadoradoras de Harvard: As mulheres que desvendaram o segredo das estrelas (V.4, N.3). **Blog de Ciência**, 2018.

Disponível em: <https://www.blogs.unicamp.br/tortaprimordial/2018/03/12/cecilia-payne-e-as-computadoras-de-harvard-as-mulheres-que-desvendaram-o-segredo-das-estrelas/>. Acesso em: 01 de jul. 2021.

SATO, E. Importante reação nuclear foi detectada pela primeira vez no Sol. **Instituto Principia**. 2021. Disponível em:

<https://www.institutoprincipia.org/post/importante-rea%C3%A7%C3%A3o-nuclear-foi-detectada-pela-primeira-vez-no-sol>. Acesso em: 21 de out. 2021.

VÁLIO, A. B. M. **Ser protagonista**: física 3º ano: Ensino médio. 3ª edição. São Paulo. 2016. Editora SM.

ZEUXIS, C. A luz para a metáfora do conhecimento. **Nefelibata Boy**, 2020.

Disponível em: <http://perifocus.blogspot.com/>. Acesso em: 21 de out. 2021.