



TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA EM VERSOS DE CORDEL E ARTE DOS
QUADRINHOS, ENSINADOS À LUZ DE UMA UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA.

Samuel dos Santos Feitosa

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Regional do Cariri – URCA no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Dr. Francisco Augusto Silva Nobre

Juazeiro do Norte
Março de 2019

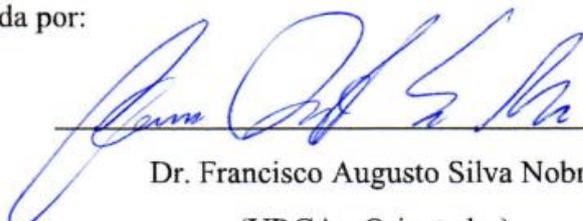
TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA, EM VERSOS DE CORDEL E ARTE DOS
QUADRINHOS, ENSINADOS À LUZ DE UMA UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA.

Samuel dos Santos Feitosa

Orientador:
Dr. Francisco Augusto Silva Nobre

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

Aprovada por:



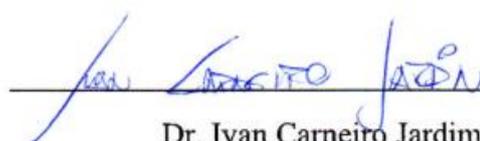
Dr. Francisco Augusto Silva Nobre
(URCA - Orientador)



Dr. Marcelo Souza da Silva
(IF Sertão Pernambucano - Examinador externo)



Dr. Francisca Pereira dos Santos
(UFCA - Examinadora externa)



Dr. Ivan Carneiro Jardim
(Examinador interno - URCA)

Juazeiro do Norte
Março de 2019

FICHA CATALOGRÁFICA

Catálogo na fonte Cícero Antônio Gomes Silva – CRB-3 n° /1385

F311t

Feitosa, Samuel dos Santos.

Tópicos de Física Quânticas em Versos de Cordel e Arte dos Quadrinhos, Ensinado à Luz de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa./ Samuel dos Santos Feitosa – Juazeiro do Norte-Ce, 2019.

202 f.: il.;30cm.

Dissertação (mestrado) Universidade Regional do Cariri– URCA / Departamento de Física / Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - 2019.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Augusto Silva Nobre

1. Física quântica 2. Cordel 3. Quadrinhos. I. Título

CDD:530

DEDICATÓRIA

Dedico:

Ao meu adorável e carinhoso filho Matheus, por quem guardo os sentimentos mais puros, profundos e verdadeiros;

À Jacyara, minha amada esposa, a realidade que quero viver, a companhia que anseio compartilhar os melhores momentos desta vida e dividir os méritos de cada triunfo;

Aos meus pais, Oceildo e Terezinha, a minha fonte de inspiração para o amor, honestidade e respeito. São eles os precursores das conquistas e dos melhores sentimentos habitam em mim;

Aos meus irmãos e melhores amigos: Maurício, Sara e Séfora. Pessoas que cultivam os ensinamentos de amor e união transmitidos por nossos pais;

Aos meus avós, Geraldo e Antônia, (in memoriam) que no reino da simplicidade deixaram um legado alicerçado no autêntico amor familiar e despido de qualquer vaidade.

Aqui mora tudo que preciso, reina a minha paz. Vivo apenas para abraçá-los.

AGRADECIMENTOS

À Deus, por ser um guia diante dos mistérios da existência. Admirar essência da sua divindade, permeando os caóticos eventos do Universo, me faculta despertar insólitos lampejos de sabedoria para contemplar a simplicidade de um sorriso e compartilhar experiências sublimes. Sua entidade cosmológica reduz-me a poeira das estrelas, avivando sentimentos de humildade. É um suporte para as incertezas da desordem, revelando refúgios em meio à horda.

Ao Professor Francisco Augusto da Silva Nobre, pela orientação. Sua capacidade intelectual, bagagem de conhecimentos, além da motivante e incansável dedicação, foram essenciais para ao desenvolvimento deste trabalho. Sou grato pelo ensinamentos, pelo diálogo proposto e pela paciência.

À Khennya Araujo, aluna de graduação do Curso de Licenciatura Plena em Física na URCA, pela contribuição na construção das ilustrações da história em quadrinhos: produto gerado nesta experiência. A sua brilhante criatividade e imensa dedicação tornaram possível a realização deste trabalho.

Universidade Regional do Cariri (URCA), à Sociedade Brasileira de Física (SBF), ao Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela contribuição na minha formação enquanto professor de Física.

À coordenação do Pólo 31 do MNPEF e todos os profissionais envolvidos no programa, pelo comprometimento com os alunos e pelo compartilhamento de conhecimentos.

Aos amigos e colegas da Coordenação de Física do IF Sertão-PE, campus Salgueiro, pelo apoio e incentivo no trabalho e nos estudos. Tenho profunda gratidão por terem me ajudado a superar as dificuldades ao longo desses últimos anos.

Aos colegas da turma de 2017 do mestrado, pela amizade construída. Graças ao sentimento de coletividade conseguimos superar os obstáculos intelectuais, emocionais e financeiros que surgiram no percurso.

Aos amigos e irmãos de graduação Célio, Michael, Josenildo e Jean, pelo incentivo e companheirismo de longa data. Nasceram ao lado de vocês os pilares deste trabalho. Serei eternamente grato pela amizade sincera que construímos.

Em especial quero agradecer a compreensão, o suporte emocional e financeiro da minha família. Vocês não mediram esforços para suprir minha ausência durante semanas inteiras, com viagens para se dedicar ao trabalho e aos estudos. Meu filho (Matheus), esposa (Jacyara), pais (Oceildo e Terezinha), irmãos (Maurício, Sara e Séfora) obrigado por me fazerem acreditar na pureza do amor, na união da família e me proporcionarem esperança para enfrentar e suportar os desafios da caminhada.

Sumário

CAPÍTULO: 1 INTRODUÇÃO.....	13
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	19
2.1 A Literatura de Cordel e sua aplicação no ensino de Física.....	19
2.2 A arte dos Quadrinhos e sua aplicação no ensino de Física	26
2.3 A teoria da aprendizagem significativa.....	33
2.4 A Unidade De Ensino Potencialmente Significativa - UEPS	40
CAPÍTULO 3: O ÁTOMO E O QUANTUM – ESTUDOS DA ESTRUTURA DA MATÉRIA NA FÍSICA CLÁSSICA E QUÂNTICA.....	42
3.1 Eventos e fenômenos envolvendo a estrutura da matéria na teoria clássica.....	42
3.2 A estrutura da matéria e o desenvolvimento da teoria quântica do átomo.....	47
CAPÍTULO 4: METODOLOGIA.....	59
4.1 A natureza da experiência	59
4.2 O público e o local da experiência.....	63
4.3 Instrumentos de coleta de dados	63
4.4 A sequência de ensino	65
CAPÍTULO 5: INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA E ANALISE DOS RESULTADOS	69
5.1 O primeiro encontro.....	69
5.2 O segundo encontro.....	75
5.3 O terceiro encontro	90
5.4 O quarto encontro	93
5.5 O quinto e sexto encontro	106
CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	116
APÊNDICE.....	121
MATERIAL INSTRUCIONAL / PRODUTO EDUCACIONAL.....	121

Resumo

O ensino de Física nas escolas públicas brasileiras não tem conseguido atingir os objetivos estabelecidos na legislação vigente. Não é justo e coerente apontar a formação dos professores e sua respectiva atuação em sala de aula como únicos responsáveis pelos baixos índices de aprendizados nessa área da ciência. Porém cabe ao profissional que atua em sala de aula desenvolver ferramentas didáticas e metodologias de ensino que tentem superar parte da problemática que aflige o processo de construção do conhecimento dos alunos. Na perspectiva de propor uma alternativa para auxiliar no estudo de tópicos de Mecânica Quântica nas escolas, este trabalho apresenta resultados de uma experiência realizada pela aplicação de uma História em Quadrinhos, escrita em versos de cordel, junto a uma turma do 3º ano do ensino médio de uma instituição de ensino pública do município de Salgueiro-PE. Tal ferramenta didática foi construída buscando facilitar a compreensão de conceitos e fenômenos que envolvem o estudo da estrutura da matéria. Entende-se que ela pode ser considerada como uma ferramenta de ensino potencialmente significativa, por levar em consideração o processo de assimilação e retenção de significados: apresentando uma construção histórica de eventos, contextualizando conceitos e repetindo informações ao longo do enredo. A aplicação da história em quadrinhos, intitulada “*Os moídos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico*”, aconteceu por meio de uma sequência de ensino inspirada nos aspectos sequenciais da - Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), levando em consideração princípios da teoria cognitiva da aprendizagem significativa. Os resultados da experiência, analisados em uma abordagem quali-quantitativa, indicam satisfatório avanço no desenvolvimento dos estudantes: melhorando a postura investigativa, demonstrando envolvimento com o material didático, comprometimento com o trabalho em equipe e, principalmente, compreensão dos conceitos e fenômenos estudados. A contextualização do conteúdo em versos de cordel e ilustrações dos quadrinhos, através da aproximação entre Arte e Ciências, propiciou aos estudantes um pensar e estudar Física sob a ótica da criatividade, dando mais liberdade para o estímulo do desenvolvimento da capacidade imaginativa.

Palavras-chave: Física Quântica, Cordel, História em Quadrinhos, UEPS.

Abstract

The Physics teaching of Physics in Brazilian public schools has not been able to achieve the objectives established in the current legislation. It is not fair, coherent to point out the teacher training and their respective performance in the classroom as the only ones responsible for the low rates of learning in this area of science. However, it is up to the professional who works in the classroom to develop didactic tools and teaching methodologies that try to overcome part of the problem that afflicts the process of building students knowledge. In the perspective of proposing an alternative to help in the study Quantum Mechanics topics of in schools, this work presents results of an experiment carried out by the application of a Comic History, written in verses of cordél, in a 3rd year high school class of a public educacional institution in the city of Salgueiro-PE. This didactic tool was built to facilitate the understanding of concepts and phenomena that involve the study the structure of matter. It is understood that it can be considered as a potentially significant teaching tool, taking into account the process of assimilation and retention of meanings: presenting a historical construction of events, contextualizing concepts and repeating information throughout the plot. The application of the Comic History, entitled "*Os moidos e pelepas desde o átomo clássico até o átomo quântico*", happened through a teaching sequence inspired by the sequential aspects of the Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), taking into account principles of learning theory. The results of the experiment, analyzed in a qualitative and quantitative approach, indicate a satisfactory advance in the students resourcefulness: improving the investigative posture, demonstrating involvement with didactic material, commitment to teamwork and, above all, understanding of the concepts and phenomena studied. The contextualization of the content in cordél verses and illustrations of comics, through the approximation between Art and Sciences, allowed students to think and study Physics from the perspective of creativity, giving more freedom to stimulate the development of the imaginative capacity.

Keywords: Quantum Physics, Cordél, Comic History, UEPS.

Lista de siglas

URCA - Universidade Regional do Cariri

MNPEF - Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física

UEPS - Unidade de Ensino Potencialmente Significativa

HQ – História em Quadrinho

HQs – Histórias em Quadrinhos

PNLD – Programa Nacional do Livro Didático

LDB – Lei de Diretrizes e Bases

BNCC - Base Nacional Comum Curricular

CNE - Conselho Nacional de Educação

PCNs – Parâmetros Curriculares Nacional

Lista de figuras

Figura 1 – A trajetória do elétron sob ação de um campo elétrico \vec{E} e magnético \vec{B} no tubo de Crookes.

Figura 2 – A força elétrica \vec{F}_e e magnética \vec{F}_m atuando no elétron com velocidade v_0 .

Figura 3 - O átomo de Thomson.

Figura 4 - Experimento da folha de ouro.

Figura 5 - O átomo de Rutherford.

Figura 6 - O colapso da matéria.

Figura 7 - Espectro contínuo de um sólido incandescente.

Figura 8 - O espectro discreto de uma lâmpada de hidrogênio.

Figura 9 - Espectro de absorção de uma amostra de gás hidrogênio.

Figura 10 - Corpo negro.

Figura 11 - Intensidade da radiação em função do comprimento de onda.

Figura 12 - Catástrofe do ultravioleta.

Figura 13 - Salto quântico.

Figura 14 – Onda do elétron.

Figura 15 - Níveis de energia de de Broglie.

Figura 16 - Amplitude da onda de probabilidade.

Figura 17 - Tirinha desenvolvida pela equipe 1 para explicar o espectro.

Figura 18 - Tirinha desenvolvida pela equipe 2 para explicar a ideia de quantização da teoria de Planck.

Figura 19 - Tirinha desenvolvida pela equipe 3 para explicar os saltos quânticos.

Figura 20 - Tirinha desenvolvida pela equipe 4 para explicar a ideia da amplitude de probabilidade de Schrödinger para a localização do elétron.

Figura 21 - Tirinha desenvolvida pela equipe 5 para explicar aspectos da teoria de de Broglie e Schrödinger.

Lista de gráficos

Gráfico 1 - Classificação das soluções para a 1º situação-problema.

Gráfico 2 - Classificação das soluções para a 2º situação-problema.

Gráfico 3 - Classificação das soluções para a 3º situação-problema.

Gráfico 4 - Classificação das soluções para a 4º situação-problema.

Gráfico 5 - Classificação das soluções para a 5º situação-problema.

Gráfico 6 - Classificação das soluções para a 6º situação-problema.

Gráfico 7 - Classificação das soluções para a 7º situação-problema.

Gráfico 8 - Classificação das soluções para a 8º situação-problema.

Gráfico 9 - Classificação das soluções para a 9º situação-problema.

Gráfico 10 - Classificação das soluções para a 10º situação-problema.

Lista de quadros

Quadro 1 - Sequência de ensino.

Quadro 2 - Primeiro esquema conceitual.

Quadro 3 – Primeira situação-problema.

Quadro 4 – Segunda situação-problema.

Quadro 5 – Terceira situação-problema.

Quadro 6 – Quarta situação-problema.

Quadro 7 – Quinta situação-problema.

Quadro 8 – Segundo esquema conceitual.

Quadro 9 – Sexta situação-problema.

Quadro 10 – Sétima situação-problema.

Quadro 11 – Oitava situação-problema.

Quadro 12 – Nona situação-problema.

Quadro 13 – Décima situação-problema.

CAPÍTULO: 1 INTRODUÇÃO

A Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB/1996)¹ passou a tratar o Ensino Médio como a etapa final da Educação Básica, sendo este o encerramento de um ciclo no qual o aluno formado deveria estar apto a desempenhar o papel de cidadão crítico na sociedade e capacitado para atuar profissionalmente no mercado de trabalho. Dessa forma, o Ensino Médio deva ser apenas uma preparação para a universidade.

Já os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNs)² destacam a importância da realização de atividades interdisciplinares e contextualizadas capazes de construir o aprendizado amplo das disciplinas, de forma que os conhecimentos matemáticos e científico-tecnológicos contribuam para a formação cidadã. Nesse sentido o aprendizado do aluno, nesse nível escolar, precisa estar associado ao desenvolvimento de habilidades e competências que lhes permitam refletir, se posicionar e interagir de forma crítica na sociedade, proporcionando uma formação de sentido universal e não somente de sentido profissional. Em Brasil (2002, p.8) percebe-se que

O novo ensino médio, nos termos da lei, de sua regulamentação e encaminhamento, deixa de ser, portanto, simplesmente preparatório para o ensino superior ou estritamente profissionalizante, para assumir necessariamente a responsabilidade de completar a educação básica. Em qualquer de suas modalidades, isso significa preparar para a vida, qualificar para a cidadania e capacitar para o aprendizado permanente, em eventual prosseguimento dos estudos ou diretamente no mundo do trabalho.

A Lei nº 13.415/2017³, aprovada no governo Temer, alterou a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional e estabeleceu uma mudança na estrutura do ensino médio. Mesmo diante de tópicos polêmicos, a nova orientação curricular que contempla a Base Nacional Comum Curricular (BNCC)⁴ e a escolha de itinerários formativos por parte

¹ Lei que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, disciplinando a educação escolar para o mundo do trabalho e a prática social por meio do ensino em instituições próprias.

² Apresenta diretrizes para orientar e auxiliar os educadores na execução do trabalho em cada disciplina, objetivando fornecer aos estudantes o domínio de conhecimentos que os tornem cidadãos conscientes da importância do exercício da cidadania.

³ Lei que regulamenta a reforma do ensino médio, alterando as diretrizes e bases da educação nacional, o fundo de manutenção e desenvolvimento da educação básica e a valorização dos profissionais da educação.

⁴ Documento que norteia o currículo da educação básica, regulamentando o que é essencial no desenvolvimento da aprendizagem do aluno de escolas públicas e particulares.

dos estudantes, aprovada pelo Conselho Nacional de Educação (CNE)⁵, não exige a formação do estudante na educação básica do aprendizado de conhecimentos voltados para o desenvolvimento de habilidades e competências relacionados aos conteúdos de Física.

Diante do exposto acima fica evidente que o ensino de Física, nessa etapa da educação, deve estar voltado para o desenvolvimento da capacidade dos estudantes em aprender conceitos, grandezas e fenômenos científicos, relacionando-os com os acontecimentos do cotidiano. Além disso, esses estudantes devem estar aptos a fazer uso do conhecimento científico para o desenvolvimento do trabalho, analisar as implicações das transformações tecnológicas na sociedade e transformar a realidade.

O real cenário das atividades de ensino de Física, desenvolvidas nas salas de aulas da maioria das escolas de ensino médio do Brasil, contempla as habilidades e competências discriminadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais? O ensino oferecido está sendo suficiente para que os alunos desenvolvam autonomia intelectual e compreendam fenômenos naturais, princípios, leis, modelos e fundamentos científicos e tecnológicos relacionados à Física? O excesso de aulas tradicionais, nas quais o professor atua apenas repassando as informações, fórmulas e algoritmos trazidos nos livros didáticos que geralmente são memorizadas através de exercícios repetitivos, são suficientes para atender as exigências de um ensino de Física de qualidade? As questões colocadas acima estão relacionadas a conjuntura de um ensino “conteudista” que pressiona o professor a ter o dever de cumprir com cargas excessivas de conteúdos preestabelecidos por programas de processos seletivos que possibilitam o acesso dos discentes as universidades. É importante relatar que o desempenho de muitas escolas é também avaliado por notas e aprovações dos seus alunos no ENEM e em processos seletivos de acesso ao ensino superior que exigem o domínio de vultosos conteúdos, deixando professores e alunos reféns dessa exigência. Em Brasil (2002a, p.8) é possível perceber que:

As modalidades exclusivamente pré-universitárias e exclusivamente profissionalizantes do Ensino Médio precisam ser superadas, de forma a garantir a pretendida universalidade desse nível de ensino, que igualmente contemple quem encerre no Ensino Médio sua formação escolar e quem se dirija a outras etapas de escolarização. Para o Ensino Médio meramente propedêutico atual, disciplinas científicas, como a Física, têm omitido os desenvolvimentos realizados durante o século XX e tratam de maneira enciclopédica e excessivamente dedutiva os conteúdos tradicionais. Para uma

⁵ Órgão que tem a responsabilidade de normatizar a política nacional de educação.

educação com o sentido que se deseja imprimir, só uma permanente revisão do que será tratado nas disciplinas garantirá atualização com o avanço do conhecimento científico e, em parte, com sua incorporação tecnológica.

A reestruturação desse cenário tão prejudicial ao aprendizado e ao envolvimento dos estudantes nas atividades de sala de aula passa por um processo de transformação da escola. Torná-la um lugar mais atraente, democrático e menos seletivo, mesmo diante de tantas dificuldades, é um grande desafio. Aos professores de Física cabe pesquisar, desenvolver e aplicar ferramentas e técnicas de ensino inovadoras em sala de aula, estimulando atividades coletivas com troca de ideias entre estudantes. Promover atividades interdisciplinares de Física com outras áreas da Ciência, com a arte, a tecnologia e com a valorização do saber popular pode provocar nos estudantes um maior interesse pelo aprendizado dos conteúdos. Nesse sentido, se faz necessário a investigação de novas metodologias de ensino, através de materiais didáticos que valorizem as interações sócias cognitivas no processo de ensino-aprendizagem.

Entender a escola pública como parte integrante de um contexto sociocultural amplo, que abrange costumes e tradições daqueles que a compõem, é fundamental para dar significado ao aprendizado do aluno. Promover projetos e atividades que relacionem ciências, arte e cultura, parece ser um caminho alternativo para ser trilhado na expectativa de estreitamento das relações entre escola e a sociedade. Alinhar o conteúdo de sala de aula a conceitos, fenômenos, manifestações e materiais da vivência do público escolar além da fronteira física das instituições é essencial para a motivação dos alunos.

Em Freire (1996) e Moreira (1998) percebe-se a proposta de exploração das concepções prévias, oriundas das experiências do cotidiano dos alunos, como ponto de partida para o processo de ensino-aprendizado nas escolas, facilitando e dando significado aos conteúdos de natureza científica. Esses autores, defendem o ensino de Ciências contextualizado a partir da valorização da sua vivência no cotidiano, nas quais estão inclusas as suas relações multicontextuais e a interação com as manifestações sociais, artística e culturais. Alves (2005) entende o conhecimento científico como um refinamento de potencialidades comum a todas as pessoas, segundo ele *“a aprendizagem de ciências é um processo de desenvolvimento progressivo do senso*

comum. Só podemos ensinar e aprender partindo do senso comum de que o aprendiz dispõe.” (Alves, 2005, p. 12).

Para Anjos, Sahelices, Moreira (2017) o Ensino de Física, pautado principalmente na explicação e desenvolvimento de equações matemáticas, dificultam a compreensão de muitos alunos e, conseqüentemente, contribuem para falta de interesse dos mesmos por essa Ciência. Segundo os autores os excessos do formalismo matemático na exposição didática dos conteúdos nos livros didáticos recomendados pelo Programa Nacional do Livro Didático (PNLD)⁶ podem dificultar o processo de aprendizagem dos estudantes. Eles ainda relatam que relacionar a matéria estudada com o cotidiano do sujeito-aprendiz pode contribuir para facilitar o entendimento da Física.

Este trabalho descreve uma experiência com a utilização dos versos populares da literatura de cordel⁷ e a arte das ilustrações de histórias em quadrinhos (HQs)⁸, como uma forma alternativa complementar para se trabalhar no ensino de Física. Acredita-se que a abordagem de temas de natureza científica em versos de cordel e histórias em quadrinhos, abordando o conteúdo dentro de uma temática diferente dos livros didáticos, pode auxiliar no processo de ensino-aprendizagem. Os versos de cordel podem possibilitar a contextualização dos conceitos e fenômenos a serem ensinados, facilitando a compreensão dos estudantes. Para Nobre (2015) uma característica popular da literatura de cordel mora no fato dela abordar em sua poesia, temas contextualizados com o mundo. Segundo o autor essa natureza popular dos folhetos contribui para o seu potencial pedagógico, pois o cordel explora o que o leitor já ouviu falar.

Quando se leva em consideração aspectos da teoria cognitiva da aprendizagem significativa de Ausubel (2000), a proposta deste trabalho ganha ainda mais relevância, pois o material didático utilizado se adequa ao que o autor denomina de ferramenta de ensino potencialmente significativa: indispensável para promover a aquisição do conhecimento no processo de ensino-aprendizagem.

A ideia da produção da história em quadrinhos (HQ) surgiu na tentativa de enriquecer o conteúdo apresentado nos versos dos folhetos de cordel, apresentando

⁶ Programa de aquisição, avaliação e distribuição de livros e materiais didáticos de apoio à prática educativa.

⁷ Gênero literário entendido como uma manifestação artística cultural popular, escrito em folhetos, com versos rimados, que abordam assuntos do cotidiano.

⁸ Arte que uni texto e imagem para apresentar histórias narradas. Também é bastante utilizada como meio de comunicação em massa.

ilustrações que podem facilitar o entendimento dos conceitos e fenômenos estudados. Ou seja, ela veio para complementar o uso dos versos populares no ensino de Física com imagens de eventos, fenômenos e experimentos científicos. Para Pereira, Olenka e Oliveira (2016, p. 898)

As Tirinhas e Histórias em Quadrinhos são apontadas, na literatura pesquisada, como materiais interessantes e, portanto, devem ser capazes de atrair a atenção dos alunos, além de incentivar o envolvimento deles nas atividades, facilitando a reflexão e a apreensão de novos conceitos.

Neste sentido a HQ *“Os moídos e as pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico”*⁹, descrita em versos de cordel, foi elaborada na perspectiva de contextualizar conceitos físicos, eventos, experiências e fenômenos científicos que contribuíram para construção de modelos atômicos, segundo a teoria clássica e a teoria quântica do átomo. Essa ferramenta pedagógica teve como texto base o capítulo 32 do livro Física Conceitual de Hewitt (2002). No entanto, devido à necessidade de abordar conceitos e fenômenos através de uma abordagem histórica, também foi utilizado o Volume 3 da Coleção Física em Contextos, que tem como autor principal Pietrocola (2010).

Na perspectiva de investigar a aplicação dessa ferramenta em sala de aula, este trabalho apresenta uma discussão sobre a utilização da literatura de cordel e de HQs no ensino de Física. Além disso, apresenta aspectos relevantes da teoria da aprendizagem significativa e do desenvolvimento de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)¹⁰, buscando entender como se dá o processo de ensino-aprendizagem para planejar uma sequência de ensino e realizar uma intervenção pedagógica aplicando a HQ, *“Os moídos e as pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico”*, em aulas de Física.

Nos aspectos metodológicos são apresentados a natureza da pesquisa e o processo de coleta de dados. Apresenta também o planejamento de uma sequência de ensino com etapas que serão realizadas durante o processo de intervenção, com atividades inspirada nos fundamentos teóricos e nos aspectos sequenciais de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS).

⁹ Produto desenvolvido no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

¹⁰ Sequência de ensino desenvolvida por Moreira (2011), baseando-se em teorias cognitivas de aprendizagem, com objetivo de organizar o ensino em etapas estratégicas para facilitar a aprendizagem significativa.

A intervenção e os resultados do trabalho apresentam detalhes da experiência de aplicação da HQ junto à turma do 3º ano do ensino médio de uma instituição pública localizada no município de Salgueiro-PE¹¹. Todo o processo de intervenção ocorreu ao longo de 3 semanas, que envolveram 9 aulas de 45 minutos, distribuídas em 6 encontros. As atividades desenvolveram-se na perspectiva de colocar os discentes como protagonistas das ações do processo de construção do conhecimento, atuando como sujeitos ativos do processo de ensino-aprendizagem. Além de dinâmicas de resolução de situações-problemas, os discentes dedicaram-se a produção de versos de cordel e tirinhas dentro do contexto dos principais tópicos estudados. Vale ressaltar que os resultados do processo de intervenção indicam a compreensão e assimilação dos conceitos estudados, além de um potencial estímulo da criatividade e capacidade imaginativa dos discentes na aprendizagem de ciências.

¹¹ Município pertence à Mesorregião do Sertão Pernambucano.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados argumentos relacionados à utilização da literatura de cordel e da história em quadrinhos em sala de aula. De início, ambas as artes enfrentaram preconceitos para serem aceitas no meio educacional, até se consolidarem como recursos didáticos pedagógicos para o trabalho de sala de aula.

Na perspectiva de planejar, entender e aperfeiçoar o processo de ensino-aprendizagem, as seções finais do capítulo descrevem aspectos relevantes da teoria da aprendizagem significativa, além dos fundamentos teóricos e aspectos sequenciais para o desenvolvimento de uma UEPS.

2.1 A Literatura de Cordel e sua aplicação no ensino de Física

Dentre os pesquisadores que investigam a literatura de cordel, conhecido como gênero literário escrito em versos rimados, há ponto de vista difusos quanto a sua definição e origem. Após estudar por vários anos a origem da literatura de cordel nordestina, Abreu (1999) rechaça a hipótese de que ela tenha se originado da literatura de cordel europeia. Com a consolidação da literatura de livretos no Brasil, ocorrida no final do século XIX e primeiras décadas do século seguinte, ficaram evidentes diferenças entre as duas literaturas, quanto à vida dos seus autores, público, forma de compor, temas retratados nas obras e comercialização. Ainda de acordo com a autora, o ponto principal de distanciamento entre o cordel vindo de Portugal e os folhetos nordestinos mora na escrita, afirmando que:

Aqui, haviam autores que viviam de compor e vender versos; lá, existiam adaptadores de textos de sucesso. Aqui, os autores e parcela significativa do público pertenciam às camadas populares; lá, os textos dirigiam-se ao conjunto da sociedade. Aqui, os folhetos guardavam fortes vínculos com a tradição oral, no interior da qual criaram sua maneira de fazer versos; lá, as matrizes das quais se extraíam os cordéis pertenciam, de longa data, à cultura escrita. Aqui, boa parte dos folhetos tematizavam o cotidiano nordestino; lá, interessavam mais as vidas de nobres e cavaleiros. Aqui, os poetas eram proprietários de sua obra, podendo vende-la a editores, que por sua vez também eram autores de folhetos; lá, os editores trabalhavam fundamentalmente com obras de domínio público.

Mesmo havendo significativas diferenças entre o cordel português e os folhetos nordestinos no que tange ao modo de produção, circulação e público, o ponto central de divergência entre as duas produções diz respeito ao texto. Os folhetos nordestinos possuem características próprias que permitem a definição clara do que seja esta forma literária. (Abreu, 1999, p. 104 e 105).

Segundo Lemaire (2013), desde as primeiras décadas do século XIX, quando ainda não se tinha registro do folheto de cordel autenticamente nordestino, era comum encontrar na região nordeste poetas nômades divulgando poesias, textos diversos e

peças teatrais escritos em cadernos e folhas soltas. Além dessa rica tradição, também era comum encontrar a literatura impressa dos folhetos portugueses. Sobre a época do surgimento e consolidação da literatura de cordel no Nordeste, a autora afirma:

Resumindo, podemos concluir que, por volta do ano 1900 existiam no Nordeste dois tipos de folhetos-cadernos:

1. os velhos “*cordéis*” da tradição portuguesa, de diversos formatos, geralmente em prosa, que divulgavam no Brasil obras/histórias da última fase da arte dos poetas ambulantes europeus: a fase literária com temas tradicionalmente europeus. Esse cordel teve os seus pontos de venda – as livrarias de cordel – e é literatura de cordel no sentido ibérico da palavra.
2. o novo *folheto da feira*, em verso, formato único, inventado pelos poetas regionais ambulantes, cantado/declamado e vendido por eles próprios; produto de sua transição da oralidade para o mundo da tipografia (Lemaire, 2013, p. 23 e 24).

Segundo Lemaire (2013) a literatura de cordel nordestina teve seus primeiros folhetos impressos no Brasil dentro de um contexto de transição da oralidade para a escrita. Esse processo pode ser entendida como um fenômeno universal que aconteceu em diferentes culturas e civilizações em momento distintos da história, causando forte influencias no modo de vida das pessoas. Ao mesmo tempo, essa transição apresenta-se como um fenômeno particular da realidade nordestina vivida na época, causando forte influência na escrita dos cordéis produzidos no Brasil. Isso reforça a ideia de que a literatura de folhetos nordestina não tem as mesmas raízes da literatura de cordel lusitana. Lemaire (2013, p. 24 e 25) entende que abordagem histórica

Permite tornar consciente o fato de que a tese convencional das origens portuguesas do folheto nordestino faz parte de um discurso científico, acadêmico ainda, baseado na velha dicotomia colonizado-colonizador e no pressuposto da dependência e inferioridade do colonizado em relação ao colonizador.

Abreu (1999) destaca que o folheto nordestino foi iniciado no espaço da oralidade das cantorias dos desafios, também conhecidas como pelejas: prática relevante do Nordeste brasileiro vários anos antes de ser possível a impressão dos primeiros folhetos. A este respeito a autora afirma que:

Não restaram registros dessa prática nos primeiros séculos da história do Brasil, mas alguma notícia sobre cantorias oitocentistas foram conservadas. São informações e trechos de poemas guardados na memória de antigos poetas entrevistados por folcloristas ou reconstituições feitas em folhetos recordando velhas pelejas. Se não são registros inteiramente confiáveis, sujeitos aos deslizos da memória, carregam consigo uma marca fundamental: o caráter fortemente oral dessa produção, tanto no que tange à composição quanto à transmissão. (Abreu, 1999, p. 74)

De acordo com Abreu (1999) a tradição dos desafios tem como fundador Agostinho Nunes da Costa, que viveu de 1797 até 1858, mesmo admitindo forte possibilidade de haver cantadores mais antigos. Já o pioneirismo na impressão dos folhetos é atribuído a Leandro Gomes de Barros e Francisco das Chagas Batista. Segundo a autora não se sabe ao certo quem foi o primeiro autor a imprimir seus versos, porém reconhece Leandro Gomes de Barros foi o primeiro a fazer publicações de forma sistemática.

Sobre as primeiras edições de cordéis escritos que se tem registro no Brasil, Lemaire (2013, p. 21) afirma que

Infelizmente, não dispomos de dados suficientes para provar a existência, desde 1888, do novo tipo de folheto de cordel – autenticamente brasileiro – que, segundo a história oficial, foi publicado em 1893 – cinco anos mais tarde – por Leandro Gomes de Barros. Nasce com Leandro uma intensa atividade editorial que abrange grande parte do que se chama atualmente de Nordeste, com ramificações para os grandes centros econômicos do Brasil, atividade que até hoje em dia continua viva, ativa, intensa e já muito bem adaptada ao ritmo alucinante e possibilidades ofertas pela novas tecnologias.

Depois do auge nas primeira décadas do século XX, sendo uma das principais ferramentas de divulgação e comunicação do cotidiano do povo nordestino, com o passar dos anos o cordel foi perdendo espaço na sociedade. Isso tem relação com o surgimento de outros meios de comunicação como jornal impresso em prosa, rádio e televisão. No entanto, de acordo com Medeiros e Agra (2010), os folhetos se reinventaram e passaram a abordar uma diversidade maior de temas, atingindo novos público. Então, uma nova geração de poetas cordelistas também começou a escrever mais sobre conteúdos de natureza científica: temas que geralmente eram tratados apenas em escolas e espaços acadêmicos. Os “novos cordéis” passaram a divulgar para a população questões relacionadas ao meio ambiente, fenômenos astronômicos e outros eventos científicos.

Com o tempo surgiram às pretensões de utilizar a literatura de cordel como uma ferramenta pedagógica no contexto de sala de aula. Atualmente algumas pesquisas em ensino de Física propõem a descrição de conteúdos através dos versos poéticos dos folhetos. Segundo Silva (2012) o cordel apresenta-se como uma das mais ricas manifestações da cultura popular nordestina e, aliado ao livro didático e outros recursos didáticos, pode tornar-se uma importante ferramenta na transmissão do conhecimento.

Neste sentido a abordagem de temas de natureza científica em versos de cordel, numa temática diferente e complementar aos livros didáticos, pode despertar nos

estudantes uma maior motivação para estudar temas dessa natureza. Já existem alguns trabalhos que propõem o cordel no ensino de ciências, na perspectiva de contribuir com o processo de ensino-aprendizagem na escola básica, defendendo que os versos de cordel podem possibilitar a contextualização dos conceitos e fenômenos a serem ensinados, facilitando a compreensão dos estudantes.

Lima (2013) destacou a linguagem simples e atrativa da literatura de cordel, enfatizando o seu potencial para o ensino e a comunicação da ciência. No seu trabalho foi realizada uma catalogação e análise dos cordéis científicos no acervo de literatura de cordel na biblioteca *Átila Almeida* da Universidade Estadual da Paraíba. O autor ainda descreve atividades de sucesso realizadas com alunos de escolas públicas no Estado da Paraíba, nas quais foram apresentados conteúdos de Física na linguagem poética da literatura de cordel. No entanto, Lima (2013) deixa claro que o trabalho com cordel não substitui a linguagem formal dos livros didáticos e que o mesmo pode ser utilizado como ferramenta auxiliar para o ensino de Física.

Nobre (2017) apresenta um catálogo com alguns cordéis que podem ser utilizados no ensino de ciências, em áreas como Física, Matemática e Química. Ele destaca os aspectos positivos do emprego do cordel científico como ferramenta didática. Além disso, o autor propõe uma sequência de ensino para o uso dos versos em sala de aula, exemplificando os objetivos de cada etapa e sua respectiva contribuição para o processo de ensino-aprendizagem. Neste sentido o autor defende que:

os folhetos de cordel não devam ser preservados somente como relíquias da tradição nordestina, ou como Literatura, ou algo pitoresco e visto muitas vezes de forma preconceituosa. Queremos usá-los como disseminadores das ciências, mas também em sala de aula como mais uma ferramenta didática, num processo de ensino-aprendizagem que seja interativo, dialogado e contextualizado, e, ao mesmo tempo, pretendemos incentivar uma maior produção dos chamados *folhetos* científicos. (Nobre, 2017, p. 47)

Silva, Rafael, Nobre e Araújo (2017) trabalharam a obra *Física Conceitual em Folhetos de Cordel: Transferência de Calor*, de autoria do poeta Ênio José Gondim Guimarães, em uma escola pública da cidade de Juazeiro do Norte – CE. Em outra experiência Rafael, Silva, Nobre e Vieira (2018), aplicaram a obra *Folheto de Cordel: Física conceitual: Calor, Temperatura e Dilatação*, também de autoria do poeta Ênio José Gondim Guimarães, em uma escola pública da cidade de Crato – CE. Em ambos os trabalhos foram desenvolvidas etapas de uma sequência de ensino para investigar o potencial didático-pedagógico do cordel no ensino de Física. Tais experiências

apresentaram resultados que indicaram relevante contribuição para a o envolvimento dos alunos nas atividades desenvolvidas.

Mesmo reconhecendo e valorizando os argumentos e aspectos positivos relatados nas experiências citadas acima, este trabalho suscita o surgimento de novos elementos relevantes para a utilização dos versos poéticos da literatura de cordel no ensino de Física. Aqui se busca analisar também o potencial de desenvolvimento do pensamento criativo e da capacidade imaginativa dos estudantes através da aplicação do cordel no ensino de Física, estimulando os alunos a construírem versos de cordel sobre os conteúdos trabalhados em sala de aula. Outro aspecto inovador são as ilustrações dos conceitos e fenômenos descritos nos versos poéticos do cordel para facilitar a interpretação do conteúdo e estimular os discentes para produzirem materiais criativos sobre o conteúdo estudado.

Enquanto forma de expressão humana, Ciência e Poesia pertencem a campos diferentes do conhecimento. Elas apresentam distinção quanto ao método de produção e, geralmente, seus modos de produção são expressados de formas antagônicas quando o ser reflete e interage com as experiências e fenômenos. A poesia surge de uma expressão subjetiva do sentimento individual, enquanto a construção do conhecimento na ciência, geralmente, é fruto de ações coletivas, das quais emergem ideias e teorias objetivas que descrevem experiências e fenômenos através de um conhecimento anterior já disseminado. No entanto, poesia e ciência tem berço na criatividade humana e derivam da sua capacidade imaginativa. Para Moreira (2002, p. 17) *“Ciência e poesia pertencem à mesma busca imaginativa humana, embora ligadas a domínios diferentes de conhecimento e valor”*.

Os grandes adventos científicos e o desenvolvimento tecnológico trouxeram transformações para a humanidade, provocando mudanças na forma como as pessoas enxergam, pensam, interagem e se expressam no mundo. Esse processo de influências é perceptível em obras de filósofos, pensadores, autores, pintores, poetas e artistas das mais diversos campos das expressões do pensamento humano.

As produções artísticas e científicas, por estarem dentro do universo de criação e divulgação humana, acabam se influenciando mutuamente. Exemplos dessa interação pode ser verificado no trabalho de Andrade, Nascimento e Germano (2007), no qual se percebe a influência que elementos e ideias da Teoria da Relatividade e da Mecânica Quântica causaram em parte da obra do pintor espanhol Salvador Dali.

O trabalho de Nobre (2017) reforça a entendimento de que poesia e ciência se relacionam e caminham junto com a necessidade de expressão do pensamento humano ao longo dos séculos, pois na coletânea de cordéis presente em seu catálogo aparecem obras de vários poetas que escreveram sobre temas científicos em diferentes épocas. A primeira versão desse catálogo, em constante construção, traz *folhetos* que abordam a Física, a Astronomia, a Química e a Matemática e os grandes vultos das ciências e filosofia.

Almeida, Massarani e Moreira (2016) também catalogaram e fizeram uma análise de 50 cordéis, os quais apresentam em seus versos temas científicos relacionados à biografia de cientistas e questões relacionadas ao meio ambiente. Além disso, através do livro “*Cordel e ciência – a ciência em versos populares*”, os autores apresentam uma coletânea de 22 folhetos que retratam descobertas científicas, temas da área de saúde, eventos astronômicos, meio ambiente e episódios da vida de cientistas.

Já Moreira (2002) analisa diversos temas da Física presentes em vários poemas de autores influentes da literatura portuguesa e brasileira. No referido trabalho também é possível encontrar poemas de grandes pesquisadores do Brasil que expressavam sua arte poética pela influência de temas da Física. De acordo com Moreira (2002, p. 17)

As aproximações entre Ciência e poesia revelam-se, no entanto, muito ricas, se olhadas dentro de um mesmo sentimento do mundo. A criatividade e a imaginação são o húmus comum de que se nutrem. Na origem desses dois movimentos, as incertezas de uma realidade complexa que demanda várias faces que podem transformar-se em versos, em *gedankensou* ser representados por formas matemáticas.

É possível que, o tratamento reducionista e isolado de temas relacionados ao ensino de Ciências nas escolas, trabalhados de forma completamente dissociada de outros processos de criação e expressão humana, desconstrua alguns aspectos encantadores que surgem no ato de estudar Física. Neste sentido, acredita-se ser possível desenvolver, através da literatura de cordel, materiais didáticos que diante da realidade dos alunos se coloque como uma ferramenta potencialmente significativa para o ensino de Física, tendo em vista que suas rimas podem proporcionar uma relação da ciência com a poesia na perspectiva de estimular o desenvolvimento da criatividade dos estudantes e professores para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem. Em relação a isso Moreira (2002, p. 17) afirma que “*existem relações profundas entre Ciência, cultura e arte no processo de criação humana. No entanto, a discussão integrada dessas dimensões raramente se realiza nas salas de aula*”.

Ao analisar alguns versos poéticos de cordéis que abordam o tema astronomia, Medeiros e Agra (2010) detectam a necessidade do rigor conceitual descritos nas poesias para que o mesmo seja utilizado em sala de aula. Os autores destacam aportes que essa ferramenta pode trazer ao ensino de ciências, mas também falam sobre as limitações que o cordel pode apresentar quando utilizado com viés pedagógico e alertam para a necessária análise da precisão conceitual presente nos versos poéticos. O cuidado com a informação correta, sendo fiel a descrição de conceitos e fenômenos, é um critério exigido em textos pedagógicos.

Medeiros e Agra (2010) defendem que o emprego da literatura de cordel no ensino de Ciências pode enriquecer e trazer novas possibilidades ao tratamento de conceitos durante a descrição dos conteúdos, com possibilidade ainda de se aprofundar em temas complexos, desde que seja aplicada seguindo planejamento criterioso e comprometimento com a descrição correta das informações. Os autores citados acima, ao se depararem com uma estrofe que trata da necessária reflexão sobre os limites da Ciência em comprometimento com a ética, presente na obra “*Trigésimo Aniversário da Conquista da Lua*” de autoria do renomado cordelista Gonçalo Ferreira da Silva, afirmaram que “*a beleza da veia poética do cordelista se sobressai por vezes ao rigor conceitual científico, mas que consegue paradoxalmente repousar por vezes em terrenos até mesmo mais complexos...*” (Medeiros e Agra, 2010, p. 8).

Os ainda destacam que o potencial pedagógico dos folhetos pode colaborar para despertar a curiosidade do aluno em relação à determinado conteúdo; também podem facilitar a compreensão de conceitos e fenômenos nas aulas de ciências. De acordo com Medeiros e Agra (2010, p. 5)

Certo é, contudo, que o cordel tem o seu espaço garantido enquanto legítima forma de expressão e de valorização da cultura popular. A tensão entre poesia e ciência, entre livre criação artística com ênfase na estética e o esforço para articular argumentos em textos científicos, aparece, portanto, como um elemento vital a ser encarado na definição das potencialidades e das limitações do papel pedagógico do cordel.

Silva e Ribeiro (2012) refletem sobre a possibilidade da utilização da literatura de cordel como material didático auxiliar em aulas de ciências. Argumentam que a literatura popular apresenta estreita relação com a comunicação e divulgação de acontecimentos históricos da região Nordeste do Brasil. Tal peculiaridade possibilita o desenvolvimento de trabalhos interdisciplinares que aproximem a ciência da realidade local, contextualizando conceitos e fenômenos científicos dentro de uma conjuntura que

pode tornar o ensino de ciências mais compreensível. De acordo com os autores, o distanciamento do conhecimento produzido pelas ciências naturais de outros saberes e manifestações humanas, como arte e a cultura, acaba por contribuir com a dificuldade de aproximar o ensino de Física do cotidiano do aluno.

Para Silva e Ribeiro (2012) a aproximação entre arte e ciência ainda pode auxiliar no estímulo ao desenvolvimento da criatividade dos estudantes, afirmando que:

A Física ainda é erroneamente considerada por muitos como um campo exclusivo da razão, e para muitos ela ainda se apresenta de forma determinista, evidenciando um rigor descritivo e uma precisão exata. Características essas que talvez ocupem o espaço da sensibilidade e da liberdade de criação que são mais comumente associados à arte. Essa aparente ausência de aspectos próprios de atividades humanísticas, seguramente acaba por tornar a ciência, aos olhos dos estudantes, algo distante da cultura, conseqüentemente, de seu cotidiano. Portanto, utilizar obras artísticas nas aulas de Física, pode favorecer a visualização de aspectos relacionados à estética da Física, pode também possibilitar um reconhecimento do papel da criatividade no fazer científico. (Silva e Ribeiro, 2012, p. 235).

É preciso entender que ciência, tecnologia, arte, religião, cultura e outras formas de saberes e expressões da criação humana, estão presentes na diversidade da sociedade brasileira. Todos esses aspectos são inerentes ao convívio social e convergem dentro do ambiente escolar através das concepções prévias dos alunos e professores. Tentar contextualizar conteúdos científicos dentro de uma perspectiva mais holística do processo de produção do conhecimento, relacionando poesia, arte e ciência, pode tornar o ensino de Física mais lúdico, interessante, motivador para os estudantes. Então é possível que o uso da Literatura de Cordel no ensino de Física auxilie no processo de ensino-aprendizagem voltado para a promoção da criatividade e do desenvolvimento da capacidade imaginativa. Para Moreira (2002, p. 17) “o professor, com imaginação, dedicação e tempo, poderá com certeza construir seu próprio conjunto de belos e instigantes poemas, todos eles associados a temas científicos.”

2.2 A arte dos Quadrinhos e sua aplicação no ensino de Física

De certa forma, a arte gráfica das histórias em quadrinhos apresenta estreita relação com a necessidade humana de se comunicar e expressar sua relação com o mundo. Desde muito cedo o ser humano desenvolveu a habilidade de ilustrar paisagens, animais, fenômenos e experiências das suas vivências. Geralmente as ilustrações representam imagens ou ideias do campo da imaginação, transmitindo mensagens não

verbais que muitas vezes não conseguem ser descritas pela escrita das palavras. Com essa característica particular a arte gráfica pode ser um forte aliado na facilitação e/ou enriquecimento da comunicação; transmitindo costumes, tradições, emoções e informações da interação do homem com mundo. Neste sentido, não é exagero afirmar que a linguagem não verbal das ilustrações é inerente ao desenvolvimento da humanidade e apresentou importante papel para a interpretação e comunicação da sua história. Segundo Souza e Vianna (2014, p. 606)

As HQs já foram historicamente utilizadas para informar e como forma de comunicação. Para Eisner (1999a), as primeiras artes sequenciais (histórias em quadrinhos ou narrativas gráficas) vêm dos homens das cavernas, que usavam imagens primitivas como forma de linguagem. Os contadores de histórias das tribos de civilizações antigas eram os professores que, preservando o conhecimento, o passavam de geração para geração.

As pinturas em cavernas e em quadros artísticas das mais variadas épocas; a construção de mapas; a evolução do rádio para a TV, em uma nova forma de implementar as imagens na comunicação; demonstram, de certa forma, a tendência do homem buscar descrever sua relação com o mundo através das ilustrações. Na visão de Vergueiro (2016, p. 8)

De certa forma, pode-se dizer que as histórias em quadrinhos vão ao encontro da necessidade do ser humano, na medida em que utilizam fartamente um elemento de comunicação que esteve presente na história da humanidade desde os primórdios: a imagem gráfica. O homem primitivo, por exemplo, transformou a parede das cavernas em um grande mural, em que registrava elementos de comunicação para seus contemporâneos: o relato de uma caça bem sucedida, informação da existência de animais selvagens em uma região específica, a indicação de seu paradeiro etc.

As crianças, ainda nos primeiros anos de vida, vão tendo experiências com imagens, ilustrações, cores, objetos. Quando interagem com lápis, canetas, tintas e pinceis, elas buscam expressar seus pensamentos, sentimentos e emoções de forma não verbal, riscando papeis, paredes e pisos. Então a necessidade de se expressar através de imagens parece um recurso inerente ao desenvolvimento do próprio indivíduo. Neste sentido Vergueiro (2016, p. 9) afirma que

Ainda hoje, as crianças começam muito cedo a transmitir suas impressões do mundo por meio de desenhos, representando seus pais, seus irmãos, e seus amigos com rabiscos que nem sempre lembram as pessoas ou objetos retratados, mas que, mesmo assim, cumprem o objetivo de comunicar uma mensagem.

Segundo Vergueiro (2016), as histórias em quadrinhos (HQs), em suas primeiras versões, eram produzidas para o público no intuito de oferecer entretenimento,

conquistando, ainda na primeira metade do século XX, certa popularidade entre os leitores mais jovens de vários países do mundo. Contudo, apenas nas últimas décadas daquele século as HQs passaram a ser utilizadas no ambiente escolar, graças ao desenvolvimento das ciências da comunicação e dos estudos culturais.

Segundo o autor, o desenvolvimento de práticas pedagógicas, com o uso da história em quadrinhos em sala de aula, ocorreu tardiamente devido ao preconceito e as críticas de parte da dita “elite pensante” da época em relação a este recurso. Eles acreditaram, durante muitos anos, que a leitura das histórias em quadrinhos influenciava negativamente o desenvolvimento intelectual dos seus jovens. Alguns representantes do mundo cultural, científico e educativo defendiam que algumas HQs afastavam os jovens da leitura de temas e assuntos mais “importantes” e mais “sérios”.

Apenas com o desenvolvimento das ciências da comunicação e dos estudos culturais, as HQs adquiriram o status de arte, passando a conquistar novos espaços até conquistar os ambientes formais de ensino. Foi credenciado a ela efetivo potencial de comunicação, principalmente por sua linguagem narrativa. Vergueiro (2016) descreve que as histórias em quadrinhos, mesmo distante das salas de aula durante grande parte do século XX, já era utilizada com viés informativo e educacional fora dos ambientes escolares desde a primeira metade do século. Segundo o autor

Por outro lado, a percepção de que as histórias em quadrinhos podiam ser utilizadas de forma eficiente para a transmissão de conhecimentos específicos, ou seja, desempenhando uma função utilitária e não apenas de entretenimento, já era corrente no meio “quadrinhístico” desde muito antes de seu “descobrimento” pelos estudos da comunicação. As primeiras revistas de quadrinhos de caráter educacional publicadas nos Estados Unidos, tais como *True Comics*, *Real Life Comics* e *Real Fact Comics*, editadas durante a década de 1940, traziam antologias de histórias em quadrinhos sobre personagens famosos da história, figuras literárias e eventos históricos (Vergueiro, 2016, p. 17).

Ainda de acordo com Vergueiro (2016) foi no cenário cultural europeu que ocorreu a “redescoberta” dos quadrinhos pelas ciências da comunicação. A partir daí as revistas em quadrinhos passam a ser entendidas como uma manifestação artística de características próprias. Lentamente ela foi vencendo preconceitos e resistências, até ganhar espaço no ambiente escolar.

Nos trabalhos de Caruso, Carvalho, Silveira (2002), utilizando tirinhas e HQs no ensino de Física, há um destaque do potencial dessa ferramenta para o estímulo ao pensamento criativo dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem. Os autores entendem a produção de quadrinho como uma manifestação artística de características

particulares e enxergam que a relação arte/educação pode promover o desenvolvimento do pensamento criativo, além de causar um maior estímulo dos discentes em aulas de Física.

Para os autores, a abordagem de temas da Física através da arte dos quadrinhos pode integrar uma metodologia de ensino junto à produção artística. Na concepção deles, ferramentas dessa natureza ultrapassam a ideia de ser apenas mais um instrumento didático para transmitir informações. Ela desponta como uma produção autêntica, inserida dentro de um universo artístico que pode estimular a criatividade dos alunos e promover desenvolvimento do pensamento científico dos mesmos.

A ciência e a arte são manifestações do pensamento humano, fruto da sua capacidade inventiva. Nesse sentido, abordar temas da Física, através da arte dos quadrinhos, pode ser um método eficiente para auxiliar professores dentro do complexo contexto que envolve os processos de ensino-aprendizagem.

Criar, escrever, comunicar, interpretar, ilustrar, ensinar e aprender são ações correlacionadas e inerentes ao desenvolvimento do pensamento científico e artístico, além de envolverem a dinâmica de professores e alunos dentro do universo educacional. Nesse contexto, é importante desenvolver ferramentas de ensino que busquem motivar o estudante a ler mais e melhorar seu potencial interpretativo. Na criatividade também mora o campo do imaginário, muitas vezes explorado para o desenvolvimento de teorias científicas. Então estimular o desenvolvimento do potencial de abstração dos estudantes, quando o concreto não é o caminho mais plausível, é fundamental para o aprendizado. Para Caruso e Silveira (2009, p. 233)

Os quadrinhos e as tirinhas podem ser importante instrumento capaz de motivar o aluno para a leitura e para os estudos. Eles ensinam o aluno a construir uma narrativa, imaginando e criando o que está subentendido entre um quadrinho e outro na sequência da história. Contribuem, portanto, para o desenvolvimento da própria linguagem, do poder de síntese, da criatividade e de conceitos importantes.

Diante disso, utilizar a HQ como ferramenta de ensino vai além da mera função de transmitir informações ou apresentar a descrição de determinado conteúdo. Ela pode ser trabalhada em um sentido amplo, no qual ciência e arte se completam no processo de estímulo a criatividade, interpretação e produção do conhecimento. Através da relação entre Arte e Ciência, utilizando-se quadrinhos no ensino de Física, busca-se estimular o desenvolvimento do pensamento criativo. A esse respeito Caruso, Carvalho, Silveira (2005, p. 33) afirmam

Embora as artes se cristalizem no plano sensível, e as ciências no plano do pensamento formal, é preciso não perder de vista que ambas advêm de um pensador criativo que desconstrói a natureza para construir e estudar, respectivamente, fenômenos formalizados na instância cognitiva ou expressos no mundo da experiência estética.

É importante ressaltar que a retenção e aquisição de significados relacionados ao conhecimento científico não está dissociado das manifestações criativas da arte, religião, cultura popular e outras formas de saberes e conhecimentos. É importante que os estudantes vivenciem um ensino de ciências no qual o aprendizado não se limite a uma mera transmissão de informações, conceitos, experiências, fenômenos e métodos aparentemente isolados e dissociados de outras manifestações que são fruto da atividade do pensamento criativo humano.

A produção do conhecimento é inerente ao pensamento criativo e está inserido dentro de uma sociedade dinâmica, que mantém tradições e costumes, enquanto produz novas tendências, necessidades e conhecimentos através da ciência, da arte e da tecnologia. Então, através da percepção de um ensino de ciências dentro de um contexto holístico e multidisciplinar será possível desenvolver inovadoras ferramentas de ensino que permitam a contextualização do ensino de Física.

No entanto, produzir alternativas de ensino capazes de provocar um interesse dos estudantes pelo mundo científico é um exercício inquietante para o professor de Física. O profissional da educação, na vivência do trabalho, percebe a necessidade de planejar metodologias de ensino que resultem em um satisfatório processo de ensino-aprendizagem. Geralmente, o trabalho pautado apenas em massivos cálculos matemáticos que envolvem os fenômenos físicos e a descrição dos mesmos, sem que haja uma contextualização mais conceitual relacionada aos eventos do cotidiano, dificultam o interesse de parte dos alunos por essa Ciência. Então, o profissional que conseguir inserir o contexto científico dentro de uma temática mais conceitual e lúdica pode construir um caminho alternativo para estimular o interesse do aluno pela Física. As múltiplas conexões da arte com a ciência através de HQs surge para auxiliar na dinâmica de sala de aula. Nesse sentido Caruso e Feitas (2009, p. 364) afirmam que

As tirinhas, por seu caráter lúdico, podem ser utilizadas pelo professor como instrumento de apoio em suas aulas capaz de “prender a atenção” dos alunos. Elas têm a vantagem de permitir que qualquer assunto de Física ou de Ciências possa ser abordado sem recorrer, num primeiro momento, à matematização do fenômeno. Levando-se em conta que muitas vezes é a deficiência em Matemática que desestimula o jovem a estudar ciências, recorrer aos quadrinhos pode ser uma decisão efetiva no sentido de motivar o estudante.

A contextualização do conteúdo que aparece na linguagem não verbal das imagens dos quadrinhos tem o potencial de provocar a reflexão do aluno para interpretar conceitos e fenômenos. Os conteúdos descritos nos quadrinhos, através de uma abordagem mais conceitual, lúdica e rica em ilustrações, tendem a colocar o leitor diante de uma narrativa que prende a sua atenção. Dessa forma, o discente não estará na posição de mero receptor de informações que devem ser memorizadas e repetidas através de exercícios.

É fato que o abuso de atividades pautadas na repetição e reprodução de informações e exercícios do livro didático, comuns em metodologias de ensino tradicional, geralmente não consegue conquistar a atenção do aluno e atender a realidade da sala de aula das escolas brasileiras do século XXI. Então, através da HQ e de outras ferramentas lúdicas, é possível desenvolver práticas pedagógicas para dinamizar o ensino. Medidas dessa natureza, que priorizam o estímulo à criatividade, podem motivar o aluno a assumir o papel de protagonista da construção do conhecimento. Para Caruso e Feitas (2009, p. 359)

O que torna interessante o uso das Histórias em Quadrinhos como fonte de motivação para os alunos em seus estudos é justamente a sua forma e a sua linguagem características, que misturam elementos específicos e resultam em uma perfeita interação entre palavras e imagens. Em uma sociedade que passa por mudanças cada vez mais velozes e na qual a imagem se impõe de forma marcante, a rápida decodificação dos quadrinhos é um elemento facilitador do aprendizado, pois é fácil notar a diminuição do poder de concentração dos jovens em uma atividade específica, principalmente se ela diz respeito aos estudos.

Dentro do ambiente escolar, os quadrinhos são mais frequentemente encontrados nos materiais didáticos da educação infantil e nas séries iniciais do ensino fundamental, geralmente abordando temas educativos relacionado ao meio ambiente, ética, respeito e coletividade. Esse tipo de ferramenta, também no formato de tirinhas, costuma aparecer em propagandas de produtos ou na educação informal, buscando instruir, conscientizar ou informar crianças, jovens e adultos sobre determinados temas. Testoni (2004) classifica ferramentas dessa natureza, com enredos mais bem elaborados, por HQs de caráter explicativo. O autor afirma que

A História em Quadrinhos de, com cunho explicativo, é muito utilizada em campanhas publicitárias que almejam a conscientização de grandes massas em um curto intervalo de tempo. Como exemplo pode-se citar as edições que buscam informar a população (principalmente crianças e adolescentes) sobre temas vitais, tais como efeito estufa, economia de energia

elétrica, a destruição da camada de ozônio, combate à dengue, entre outros. (Testoni, 2004, p. 25)

Segundo Testoni (2004), quadrinhos ou tirinhas que aparecem nos livros didáticos de Física buscam ilustrar fenômenos, motivar o aluno a pesquisar sobre determinado tema e/ou instigar o discente a pensar e refletir a respeito de determinado assunto. No entanto, HQs elaboradas no sentido de explicar conteúdos de Física raramente aparecem nos livros ou são trabalhados em sala de aula. Para Testoni (2004, p. 25)

A função explicativa busca representar um conjunto de Histórias em Quadrinhos que, através de um enredo, tentam explicar um fenômeno físico, abordando-o na forma de Quadrinho. Por tentar chegar a uma explicação didática a respeito do assunto, este tipo de HQ ocupa um espaço bem maior que as tiras e Quadrinhos pedagógicos tradicionais, o que faz com que seja pouco encontrada em livros-texto de Física.

A utilização de HQs em sala de aula se coloca como uma linguagem complementar ao livro didático, tentando facilitar a compreensão dos conteúdos. Ela pode contribuir para ressignificar a compreensão dos alunos que geralmente buscam apenas memorizar as informações e conceitos apresentados nos livros textos.

O aspecto lúdico dos quadrinhos pode proporcionar qualidades relevantes para o contexto educacional, pois suas características linguísticas e imagens suscitam condições didático-pedagógicas relevantes para o processo de ensino-aprendizagem.

A HQ desenvolvida durante esta pesquisa contém um enredo que descreve experiências relevantes desenvolvidas por cientistas, fazendo uso de analogias e metáforas para descrever fenômenos. Para representar graficamente sua narrativa foram desenvolvidas ilustrações criativas que transmitem informações através de uma linguagem não-verbal.

Escrita em versos poéticos de cordel, pressupondo o emprego de uma linguagem mais simples, a HQ apresenta analogias e metáforas diante de um enredo com tons humorísticos. Além disso, se coloca como um material de fácil interpretação, tendo em vista sua riqueza de imagens na descrição de um conteúdo, assim tenta se distanciar dos processos de memorização mecânica. Neste sentido, há uma expectativa de que ela provoque no estudante uma maior disponibilidade para vivenciar o aprender-ensinar. Segundo Caruso, Carvalho, Silveira (2002, p. 5) *“o quadrinho é construído na perspectiva de ser um material lúdico, motivador, passível de releituras e estimulador de novas criações para os alunos e professores.”*

2.3 A teoria da aprendizagem significativa

A teoria cognitiva da aprendizagem significativa de David Ausubel descreve como se dá o processo de assimilação e retenção do conhecimento, levando em consideração o contexto educacional de sala de aula. Segundo Moreira (1999) a teoria de Ausubel dá ênfase a aprendizagem cognitiva: que trata do *“armazenamento organizado de informações na mente do ser que aprende, e esse complexo organizado é conhecido como estrutura cognitiva. (Moreira, 1999, p. 152).*

O termo aprendizagem significativa no meio educacional se aplica ao processo cognitivo no qual uma determinada informação lógica, ao interagir com conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva¹² do indivíduo, ganha um significado psicológico. Naturalmente, o caminho mais comum para a aquisição de um novo conhecimento, passa pela necessidade de se ensinar a partir do que o aluno já sabe. Moreira (2016, p. 47) afirma que:

Aprendizagem significativa é o processo através do qual uma nova informação (um novo conhecimento) se relaciona de maneira não arbitrária e substantiva (não-literal) à estrutura cognitiva do aprendiz. É no curso da aprendizagem significativa que o significado lógico do material de aprendizagem se transforma em significado psicológico para o sujeito.

É importante diferenciar o processo de aquisição e retenção de significados de outros processos que envolvem a memorização de informações desenvolvida através de métodos de instrução e de aprendizagem mecânica. A aprendizagem significativa engloba um conjunto de conceitos e assuntos organizados que vão se estruturando hierarquicamente no cognitivo do aprendiz, de forma a promover a produção e construção do conhecimento pela interação de novas informações com os significados existentes na sua estrutura cognitiva. No entanto, a aprendizagem mecânica implica na absorção de informações passivas e não críticas, adquiridas por um processo de memorização. Ausubel (2000, p. 3) afirma que:

É importante reconhecer-se que a aprendizagem significativa não implica que as novas informações formem um tipo de ligação simples com os elementos preexistentes na estrutura cognitiva. Pelo contrário, só na aprendizagem por memorização ocorre uma ligação simples, arbitrária e não integradora com a estrutura cognitiva preexistente. Na aprendizagem significativa, o mesmo processo de aquisição de informações resulta numa alteração quer das informações recentemente adquiridas, quer do aspecto especificamente relevante da estrutura cognitiva, à qual estão ligadas as

¹² Conjunto de conhecimentos armazenados no cérebro do indivíduo, cujo desenvolvimento, assimilação, retenção e organização de ideias são fruto de suas experiências.

novas informações. Na maioria dos casos, as novas informações estão ligadas a um conceito ou proposição específicos e relevantes.

Em Moreira (2016) entende-se que a relação não-arbitrária de informações na assimilação e retenção de significados, ocorre quando a novo conhecimento a ser apreendido interage com informações relevantes existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, através de um processo organizado, no qual a nova informação promove novos significados ao conjunto de informações prévias já existentes no cognitivo do indivíduo. Moreira (2012a, p. 2) afirma que:

Assim, a *aprendizagem significativa* ocorre quando novos conceitos, ideias, proposições interagem com outros conhecimentos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura cognitiva, sendo por eles assimilados, contribuindo para sua diferenciação, elaboração e estabilidade.

Para Ausubel (2000) a aprendizagem mecânica geralmente ocorre através de fragmentos de informações triviais que se relacionam de forma arbitrária e superficial com a estrutura cognitiva do aprendiz. Geralmente este tipo de aprendizagem possui utilidade limitada e não contribui para o aumento do conhecimento. Já na aprendizagem significativa há condições específicas que a diferencia dos processos de memorização, através de variáveis de motivação, desenvolvimento e prontidão que levam a recepção e retenção de significados que vão enriquecer com a estrutura cognitiva do aprendiz.

Ainda de acordo com o autor existem condições, mesmo em aulas expositivas, que corroboram no processo de aprendizagem e retenção de significados no contexto da sala de aula. Para essas condições o autor destaca a necessidade de conhecer a estrutura cognitiva do estudante, pois nela existem os conhecimentos prévios, ou seja, aquilo que o aprendiz já sabe. Sobre esse aspecto Ausubel (2000, p. 5) descreve:

Também contrariamente a convicções expressas em muitos âmbitos educacionais, a aprendizagem por recepção verbal não é necessariamente memorizada ou passiva (tal como o é frequentemente na prática educacional corrente), desde que se utilizem métodos de ensino expositivos baseados na natureza, condições e considerações de desenvolvimento que caracterizam a aprendizagem por recepção significativa.

São os conhecimentos prévios a variável principal para a aquisição e retenção de novos conhecimentos. Para Ausubel (2000) os conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, chamados de “subsunçores”, funcionam como “âncoras” que vão relacionar uma nova informação com um conceito já existente no cognitivo do indivíduo, contribuindo para a aquisição e produção de novos conhecimentos. Para Moreira (2016, p. 47)

O conhecimento prévio serve de matriz ideacional e organizacional para a incorporação, compreensão e fixação de novos conhecimentos quando estes “se ancoram” em conhecimentos especificamente relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva. Novas ideias, conceitos, proposições, podem ser aprendidos significativamente (e retidos) na medida em que outras ideias, conceitos, proposições, especificamente relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do sujeito e funcionem como pontos de “ancoragem” aos primeiros.

Segundo Ausubel (2000), mesmo na aprendizagem mecânica há uma interação das informações com a estrutura cognitiva do aprendiz, mas esse processo não gera a aquisição de novos significados e ocorre apenas diante de tarefas simples que envolvem um processo de memorização. Neste sentido a interação da aprendizagem mecânica com a estrutura cognitiva do aprendiz ocorre de forma arbitrária e literal, ficando retida no cognitivo por um curto período de tempo. A esse respeito Moreira (2016, p. 48) escreve que *“a diferença básica entre aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica está na relacionabilidade à estrutura cognitiva: não arbitrária e substantiva versus arbitrária e literal (ibid.). Não se trata, pois, de uma dicotomia, mas de um contínuo no qual elas ocupam os extremos.”*

Quando não há subsunçores ou quando os mesmos não estão sendo mais usados na estrutura cognitiva do aprendiz a aprendizagem significativa pode ocorrer pela utilização de organizadores prévios. Segundo Moreira (2012a, p.2) eles atuaram como *“ancoradouros provisórios para a nova aprendizagem e levem ao desenvolvimento de conceitos, ideias e proposições relevantes que facilitem a aprendizagem subsequente.”* Eles serão facilitadores da aprendizagem significativa, utilizados estrategicamente de forma introdutória, antes da apresentação do conhecimento a ser apreendido, destacando certos aspectos do conteúdo. Neste sentido Moreira (2016, p. 63) afirma que

Provavelmente, o maior potencial didático dos organizadores está na sua função de estabelecer, em um nível mais alto de generalidade, inclusividade e abstração, relações explícitas entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio do aluno já adequado para dar significado aos novos materiais de aprendizagem. Isto porque mesmo tendo os subsunçores adequados muitas vezes o aprendiz não percebe sua relacionabilidade com o novo conhecimento.

Quando a nova informação não encontra subsunçores na estrutura cognitiva do indivíduo o organizador prévio utilizado é definido como expositivo. Caso o organizador prévio apresenta alguma relação com o que o aprendiz dispõe no cognitivo será denominado de organizador comparativo. Segundo Moreira (2012a, p. 2 e 3):

No caso de material totalmente não familiar, um organizador “expositivo”, formulado em termos daquilo que o aprendiz já sabe em outras áreas de

conhecimento, deve ser usado para suprir a falta de conceitos, ideias ou proposições relevantes à aprendizagem desse material e servir de “ponto de ancoragem inicial”. No caso da aprendizagem de material relativamente familiar, um organizador “comparativo” deve ser usado para integrar e discriminar as novas informações e conceitos, ideias ou proposições, basicamente similares, já existentes na estrutura cognitiva.

Ausubel (2000) ainda ressalta a importância da repetição de informações para a aquisição e retenção significativa, no entanto as ideias e conceitos devem aparecer dentro de contextos que tragam significados relevantes a estrutura cognitiva do aprendiz. A repetição de uma informação ou conceito dentro da perspectiva da aprendizagem significativa terá maior valor se for trabalhada de forma multicontextual, ou seja, evitando que a informação ocorra sempre dentro de um mesmo contexto.

Ele também fala da importância de se trabalhar com materiais de instrução apropriados, que serão chamados de ferramentas potencialmente significativas. Então o processo de aprendizagem significativa, no contexto escolar, está relacionado ao aprendizado de novos significados para o educando, a partir da utilização de materiais potencialmente significativos, elaborados de forma organizada para possibilitar a interação entre as informações do conteúdo a ser aprendido e os aspectos relevantes existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Para uma aprendizagem por recepção significativa em aulas expositivas, que é método de ensino mais comum dentro do contexto de escolas e universidades, é necessário o uso adequado dessas ferramentas no contexto de sala de aula. Ausubel (2000, p. 1) afirma que:

A aprendizagem por recepção significativa envolve, principalmente, a aquisição de novos significados a partir de material de aprendizagem apresentado. Exige quer um mecanismo de aprendizagem significativa, quer a apresentação de material *potencialmente* significativo para o aprendiz. Por sua vez, a última condição pressupõe (1) que o próprio material de aprendizagem possa estar relacionado de forma *não arbitrária* (plausível, sensível e não aleatória) e *não literal* com *qualquer* estrutura cognitiva apropriada e relevante (i.e., que possui significado ‘lógico’) e (2) que a estrutura cognitiva *particular* do aprendiz contenha ideias *ancoradas* relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material.

Mesmo diante de uma ferramenta potencialmente significativa, o processo de aquisição e retenção de significados exige um mecanismo apropriado para que o aprendiz possa aprender significativamente. Neste sentido, o processo de ensino-aprendizagem deve provocar uma interação de novos significados potenciais com as ideias ancoradas relevantes já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

Para Ausubel (2000) o reconhecimento e valorização dos conhecimentos prévios é essencial para várias práticas que envolvem o contexto da aprendizagem escolar. A apropriação de conceitos, o desenvolvimento da criatividade, o aprimoramento de habilidades para a resolução de problemas e a reflexão crítica do aprendiz diante do conteúdo estudado são práticas que envolvem a necessidade de reconhecimento de sua estrutura cognitiva. Tais práticas ganham significados por meio da relação de interação entre novos e antigos saberes, entre os conhecimentos prévios e novos conceitos ideias; através de um mecanismo que possibilite a interação de novos e antigos conceitos, por meios de materiais didáticos que se coloquem como ferramentas potencialmente significativas.

O processo de aprendizagem significativa é longo, crescente e faz emergir novos significados, aumentando a composição do conhecimento. Esse processo é fruto da interação de materiais de instrução, que carregam significados potenciais, com as ideias existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. É neste sentido que a aprendizagem significativa permite a construção e apropriação de novos significados. Então, para o contexto da realidade das salas de aula, nos quais há a predominância de aulas expositivas, se faz necessário refletir o processo de ensino-aprendizagem pelo desenvolvimento de metodologias e práticas pedagógicas que estejam relacionadas ao uso de materiais didáticos e ferramentas de ensino que se apresentem potencialmente significativas para a realidade dos discentes. Ausubel (2000, p. 6) afirma:

A natureza e as condições da aprendizagem por recepção significativa activa também exigem um tipo de ensino expositivo que reconheça os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora nos materiais de instrução e que também caracterize a aprendizagem, a retenção e a organização do conteúdo das matérias na estrutura cognitiva do aprendiz. O primeiro princípio reconhece que a maioria da aprendizagem e toda a retenção e a organização das matérias é hierárquica por natureza, procedendo de cima para baixo em termos de abstracção, generalidade e inclusão. A reconciliação integradora tem a tarefa facilitada no ensino expositivo, se o professor e/ou os materiais de instrução anteciparem e contra-atacarem, explicitamente, as semelhanças e diferenças confusas entre novas ideias e ideias relevantes existentes e já estabelecidas nas estruturas cognitivas dos aprendizes.

Moreira (2016) aponta como facilitadores do processo de ensino-aprendizagem, dentro do contexto da teoria da aprendizagem significativa, a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. A assimilação e retenção de significados serão facilitadas em termos substantivos e programáticos. Substantivamente é necessária uma análise crítica e detalhada do conteúdo, adequando suas informações mais importantes aos os

conhecimentos prévios dos estudantes. Então, em termos substantivos a facilitação da aprendizagem significativa passa pela atenção com o conteúdo, aquilo que se vai ensinar, e com a estrutura cognitiva do aprendiz.

Ainda de acordo com Moreira (2016) a facilitação programática está dividida em quatro fatores: diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, organização sequencial e consolidação. Inicialmente, conteúdo a ser ensinado deve aparecer partindo de conceitos e ideias mais gerais e inclusivas, aparecendo progressivamente os temas mais específicos e os detalhes. Este facilitador programático é denominado de diferenciação progressiva. Moreira (2016, p. 64) descreve que *“diferenciação progressiva é o princípio segundo o qual as ideias e conceitos mais gerais e inclusivos do conteúdo da matéria de ensino devem ser apresentados no início da instrução e, progressivamente, diferenciados em termos de detalhe e especificidade.”*

A reconciliação integrativa, também chamada de integração reconciliadora, consiste da necessidade de se descrever e apresentar o conteúdo de forma integrada, relacionando os conceitos, definições, experiências, fatos históricos e fenômenos. Moreira (2016, p. 64) afirma que *“a reconciliação integrativa é, então, o princípio programático segundo o qual a instrução deve também explorar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças importantes e reconciliar discrepâncias reais ou aparentes.”*

Ainda no âmbito da programação do conteúdo a ser ensinado é preciso manter a coerência na ordem sequencial das informações, conceitos, ideias, experiências, fenômenos e fatos históricos. A construção do conhecimento naturalmente passa pela organização lógica do conteúdo, chamada aqui de organização sequencial. Segundo Moreira (2016, p. 31) *“a organização sequencial é o princípio programático segundo o qual se deve tirar partido das dependências sequenciais naturais existentes na matéria de ensino.”*

O último princípio programático, denominado de consolidação, passa pela apropriação das informações apresentadas. Antes de passar para novas etapas da construção do conhecimento é necessário que o aprendiz demonstre domínio do que já foi ensinado. Segundo o autor isso está relacionado ao fato de que um novo conhecimento é aprendido a partir do que o indivíduo já sabe. Para Moreira (2016, p. 64):

O princípio da consolidação, por sua vez, é aquele segundo o qual insistindo-se no domínio (ou mestria) do que está sendo estudado, antes que novos materiais sejam introduzidos, assegura-se contínua prontidão na matéria de

ensino e alta probabilidade de êxito na aprendizagem sequencialmente organizada. O fato de Ausubel chamar atenção para a consolidação é coerente com sua premissa básica de que o fator isolado mais importante influenciando a aprendizagem é o que o aprendiz já sabe.

Percebe-se que a produção de um material potencialmente significativo deve ser pensada substantivamente e programaticamente, dentro do contexto da aprendizagem significativa. Então, estudar bem o conteúdo para adequá-lo à realidade do aluno e apresentá-lo dentro de uma organização sequencial lógica de ensino, levando em consideração a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, são condições determinantes para facilitar a aquisição, retenção e organização do conhecimento na estrutura cognitiva do aprendiz. Dentro do contexto da aprendizagem significativa esses fatores devem estar bem definidos e estabelecidos no processo de ensino-aprendizagem, cujas etapas só podem ser concluídas respeitando a consolidação do que foi ensinado. Segundo Ausubel (2000, p. 6)

A aprendizagem por recepção significativa é, por inerência, um processo activo, pois exige, no mínimo: (1) o tipo de análise cognitiva necessária para se averiguarem quais são os aspectos da estrutura cognitiva existente mais relevantes para o novo material potencialmente significativo; (2) algum grau de reconciliação com as ideias existentes na estrutura cognitiva – ou seja, apreensão de semelhanças e de diferenças e resolução de contradições reais ou aparentes entre conceitos e proposições novos e já enraizados; e (3) reformulação do material de aprendizagem em termos dos antecedentes intelectuais idiossincráticos e do vocabulário do aprendiz em particular.

Outro aspecto relevante para que ocorra a aprendizagem significativa de determinado conteúdo é a repetição de informações dentro de contextos diferentes, com a retomada de conceitos e fenômenos relevantes para a organização dos significados na estrutura cognitiva do aprendiz. Para Ausubel (2000) um material potencialmente significativo deve ser produzido levando em consideração a retomada de informação, relacionando os conceitos mais gerais do conteúdo com os mais específicos.

A motivação também é um fator determinante para a aprendizagem significativa, pois o aluno só aprende quando está pré-disposto a aprender. Então é necessário que as ferramentas de ensino utilizadas para apresentar o conteúdo disponham de aspectos lúdicos que provoquem a curiosidade dos discentes e apresentem condições que levem o indivíduo a se motivar para aprender. Deve estar associado ao recurso didático uma metodologia de ensino que instigue a participação do estudante no desenvolvimento de atividades, pois os discentes devem ser protagonistas no processo de construção do seu conhecimento.

2.4 A Unidade De Ensino Potencialmente Significativa - UEPS

Tendo como marco teórico teorias cognitivas de aprendizagem e partindo do pressuposto filosófico de que só há ensino se houver aprendizagem significativa, Moreira (2011) desenvolveu a sequência didática denominada de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Segundo o autor as práticas clássicas de ensino, na qual o professor apresenta o conteúdo através de narrativas e os alunos copiam e repetem as informações mecanicamente, são comuns nas instituições de ensino, sendo um modelo a ser superado, tendo em vista que os conceitos e fenômenos trabalhados não interagem significativamente com a estrutura cognitiva do aprendiz. Neste sentido a UEPS apresenta passos na tentativa de modificar as práticas clássicas predominantes.

Para Moreira (2011) o desenvolvimento da aprendizagem significativa passa pela utilização de materiais que se coloquem como potencialmente significativos diante da realidade dos alunos e que os passos da UEPS, definidos por ele de aspectos sequenciais, facilitam o processo de construção do conhecimento: sejam eles declarativos e/ou procedimentais.

Existem alguns princípios que norteiam os passos de desenvolvimento de uma UEPS, sendo o planejamento das aulas uma atividade de responsabilidade do professor. Então cabe a este profissional respeitar tais princípios quando for trabalhar o conteúdo em sala de aula.

Ainda de acordo com Moreira (2011), a construção da aprendizagem em uma sequência didática dessa natureza também passa pela predisposição do aluno em aprender, cabendo ao professor articular métodos de apresentação do conteúdo que permitam a interação das novas informações com os conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Dessa forma, as atividades de ensino em uma UEPS buscam facilitar a aprendizagem através de ferramentas e estratégias de ensino potencialmente significativas.

Os aspectos substantivos e programáticos, facilitadores da assimilação e retenção significativa, aparecem como princípios da UEPS e devem ocorrer em atividades que contemplem a reconciliação integradora, a diferenciação progressiva e a organização sequencial de matérias, sempre respeitando a consolidação da aprendizagem. Desenvolver dinâmicas de interação social, trabalhos em equipes, tendo o professor como mediador das ações e organizador do conteúdo, são princípios inerentes ao

contexto da UEPS. Além das questões descritas acima, Moreira (2011) destaca a importância de se trabalhar situações-problemas que possibilitem os alunos desenvolverem modelos e estratégias de solução.

Tratando-se da ordem cronológica dos aspectos sequenciais da UEPS, Moreira (2011) sugere que se inicie a sequência didática com a definição da estratégia procedimental e que no segundo momento se realize uma atividade que permita aos discentes externalizar os conhecimentos prévios. Dando andamento, o autor define no terceiro passo, a necessidade de se trabalhar situações-problemas que funcionem como organizadores prévios e possibilitem a introdução do conteúdo a ser estudado. Apenas no quarto passo da UEPS é que se deve apresentar de forma organizada, dando destaque aos tópicos mais aprofundados do conteúdo: conhecimento central do processo de ensino-aprendizagem.

O autor propõe que após a apresentação do conteúdo seja desenvolvida alguma dinâmica de atividade colaborativa, retomando partes importantes do conteúdo trabalhado para que os discentes troquem informações que complementem o aprendizado. Esta seria a segunda apresentação do conteúdo. Para a sexta etapa o autor sugere trabalhar novas situações-problemas de forma coletiva, exigindo maior grau de compreensão dos estudantes. Nos dois últimos passos da UEPS, Moreira (2016) prever a avaliação do conhecimento aprendido pelos discentes e a validação da sequência, que será exitosa caso demonstre indícios de assimilação e retenção de significados por parte do público envolvido. Quando necessário, o autor destaca a importância de se fazer reformulação de atividades para a UEPS desenvolvida.

Moreira (2011) chama de aspectos transversais a necessidade de se trabalhar materiais e estratégias diversificadas de ensino durante os passos da UEPS, sempre estimulando questionamentos e provocações aos discentes para que construam soluções ao invés de se buscarem respostas prontas para as perguntas. Também é importante propor aos discentes que desenvolvam situações-problemas relativos ao conteúdo estudado. Por fim, mesmo privilegiando a avaliação progressiva e coletiva é importante analisar o processo de construção da aprendizagem de forma individual.

CAPÍTULO 3: O ÁTOMO E O QUANTUM – ESTUDOS DA ESTRUTURA DA MATÉRIA NA FÍSICA CLÁSSICA E QUÂNTICA

Aqui, busca-se realizar uma abordagem dos tópicos de Física Quântica, relacionados ao desenvolvimento do estudo da estrutura da matéria, que foram trabalhados no conteúdo que aparece na HQ “*Os moídos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico*”. Neste capítulo são apresentados eventos históricos e experiências científicas que marcaram a contribuição da Física clássica e da mecânica quântica para a compreensão de fenômenos atômicos.

Vale ressaltar que o conteúdo presente neste capítulo é destinado principalmente ao professor que busca compreender de forma mais detalhada as teorias e conceitos que contribuíram para o melhor entendimento dos fenômenos que envolvem o comportamento da estrutura da matéria.

3.1 Eventos e fenômenos envolvendo a estrutura da matéria na teoria clássica

Não existe consenso entre os historiadores da Ciência de quais foram as primeiras ideias que tratam o átomo, como partícula fundamental constituinte da matéria. Uma das versões conta que as reflexões iniciais sobre a existência do átomo surgiu na Grécia Antiga, dentro de uma corrente de filósofos denominados de atomistas.

Para Caruso e Oguri (2006) os atomistas acreditavam que o átomo seria o elemento primeiro, indivisível, que constituía a matéria. Eles defendiam a ideia de que a matéria era constituída de corpos sólidos que não poderiam ser criados ou destruídos. Além disso, a filosofia atomística acreditava que o universo era permeado por um vazio infinitamente extenso. Leucipo, Demócrito e Epicuro são os principais filósofos atomistas. Segundo Caruso e Oguroi (2006, p. 9)

A indivisibilidade atribuída ao átomo era defendida de maneira diferente por cada um dos atomistas: Leucipo sustentava que essa propriedade é decorrente de sua pequenez, enquanto, para Demócrito, decorria do fato de ele não conter vazio intrínseco e, para Epicuro, relacionava-se com sua dureza.

Segundo Peduzzi (2008), após as ideias da filosofia atomística na Grécia Antiga, as discussões sobre a existência dos átomos ganharam novos capítulos, de forma mais intensa, ao longo dos séculos XVII e XVIII. Porém, somente no início do século XIX esse tema passou a adquirir o status de teoria científica, através do trabalho de Dalton sobre as leis das proporções múltiplas. Para o autor, em termos de continuidade histórica, vale ressaltar que o átomo grego não é um precursor das ideias que dão

origem ao modelo atômico de Dalton. A ideia de um átomo como a menor parte da matéria, discutida por Leucipo, Demócrito e Epicuro, no século V a.C., apresenta caráter intuitivo, especulativo e teórico. Já o atomismo de Dalton surge de evidências experimentais, com bases conceituais e epistemológicas típicas de uma teoria científica.

Vale ressaltar que no final do século XVIII e início do século XIX surgem experiências que dão indícios a fenômenos elétricos relacionados ao átomo. Segundo Caruso e Oguri (2006) em 1800 foi publicado o trabalho da pilha de Volta e os experimentos sobre eletrólise dos cientistas ingleses William Nicholson e Anthony Carlisle. Já em 1807 o químico inglês Humphrey consegue isolar elementos químicos através de experimentos, um marco para os fenômenos eletroquímicos. O autor ainda destaca que os resultados dos trabalhos desenvolvidos por Faraday, entre 1831 e 1834, sobre os fenômenos da eletrólise estabeleceram relações estreitas entre a constituição da matéria, as ligações químicas e a eletricidade. Segundo CARUSO E OGURI (2006, p. 224) *“os experimentos de Faraday de 1833 sobre o efeito da corrente elétrica em soluções, a eletrólise, deram lugar às primeiras evidências quantitativas em favor da existência de constituintes eletricamente carregados no interior da matéria, os chamados átomos de eletricidade.”* Dessa forma o autor entende que a ideia de carga elementar tem profunda relação com os trabalhos desenvolvidos por Faraday. Peruzzo, Pottker e Prado (2014, p. 103) afirmam que:

Nos estudos experimentais relacionados à eletrólise, Michel Faraday fez passar uma corrente elétrica por soluções pouco condutoras. Observando a decomposição dos componentes da solução nos eletrodos, Faraday constatou que a carga elétrica era formada por partículas com uma certa carga mínima.

Segundo Peduzzi (2008) desde 1833, após os trabalhos de Michael Faraday (1791-1867), já se sabia que os fenômenos de incandescência eram identificados por descargas elétricas em gases a baixa pressão presos em recipientes de vidro.

Porém, para Caruso e Oguri (2006) foi a partir de 1857, com o aperfeiçoamento dos experimentos com tubo de vidro fechado e máquina de fazer vácuo, realizados pelo alemão Johann Heinrich Geissler, que foi possível utilizar esses aparatos para realizar investigações tentando compreender a estrutura da matéria. Caruso e Oguri (2006, p. 242) afirmam que:

A possibilidade de produzir descargas elétrica em gases rarefeitos havia sido descoberta pelo alemão Gottfried Heinrich Grummert e pelo inglês William Watson. Este último, utilizando uma garrafa de Leyden como bateria, pôde fazer passar uma corrente por um tubo de vidro de 90 cm de

comprimento por 8 cm de diâmetro, no interior do qual havia sido feito vácuo.

Em 1859, Gleissler juntamente com o matemático e físico alemão Julius Plücker descobriram os raios conhecidos hoje como raios catódicos, termo introduzido, em 1876, pelo físico alemão Eugene Goldstein.

Segundo Peduzzi (2008), em 1858 Julius Plücker (1801-1868) tinha relatado que as descargas elétricas em tubos de vidro sofriam desvios na presença do campo magnético de um ímã. Ainda no século XIX, no ano de 1869, Johann Hittorf (1824 – 1914) colocou um anteparo em frente ao cátodo dentro de tubo de vidro que continha gás rarefeito. Ao aplicar uma descarga elétrica no sistema ele percebeu a projeção de uma sombra na parede do sistema e concluiu que os raios de luz fosforescentes eram emitidos do cátodo (eletrodo de carga negativa).

Sobre a natureza dos raios de luz que surgiam pela aplicação de descargas elétrica em tubos de vidro fechados que continha gás rarefeito Peduzzi (2008, p. 29 *apud* ANDERSON, 1968, p. 28) descreve que “*em função dos desvios desses raios sujeitos a campos magnéticos, Cromwell Varley (1828-1883) sugere, em 1871, que talvez eles fossem constituídos por fragmentos de matéria, carregada negativamente*”.

Porém o século XIX chega ao fim com a constatação de que átomo não é o último limite de divisão da matéria. Contudo William Crookes (1832-1919) realizou uma série de experimentos e constatou que o feixe luminoso era proveniente do cátodo e se propagavam em linha reta na ausência de ações externas. Segundo Peduzzi (2008) ele colocou uma cruz de malta e percebeu sua sombra em uma das paredes do tubo, evidenciando os resultados de Hittorf. Para Caruso e Oguri (2006) o cientista William Crookes já acreditava que os raios de luz tinham natureza corpuscular e que a luz emitida por eles era consequência da excitação das partículas que constituíam o gás, provocado pelo choque com as partículas provenientes do cátodo. Sobre as discussões acerca da natureza dos raios catódicos Peduzzi (2008, p. 109) afirma que:

Até a última década do século XIX, sabia-se que os raios catódicos emanavam perpendicularmente do cátodo de um tubo exaurido de ar, provocavam luminosidade na parede oposta do vidro, viajavam aparentemente em linhas retas, eram desviados por campos magnéticos, transportavam momento e energia. Contudo, não havia consenso sobre a natureza desses raios. Para físicos como William Crookes, eram partículas; para Heinrich Hertz (1857-1894) e outros, era um fenômeno ondulatório, associado a algum tipo de vibração no éter, o suposto meio de propagação das ondas eletromagnéticas.

Segundo Caruso e Oguri (2006), após colocar um coletor no interior do tubo de vidro e direcionar os raios catódicos em direção ao mesmo, Perrin afirma em 1895 que os raios seriam constituídos de partículas negativas. Para Peduzzi (2008, p. 110)

Além de ressaltar a causa da eletrificação do coletor, esses estudos corroboravam um outro resultado já bastante difundido entre os cientistas, de que a deflexão sofrida pelos raios catódicos a partir de um campo magnético era própria do comportamento de partículas eletrificadas negativamente.

No entanto a descoberta do elétron é atribuída ao físico britânico Joseph John Thomson (1856-1940). Fazendo investigações com descargas elétricas em tubos de raios catódicos, após realizar algumas mudanças no experimento de William Crookes, ele conseguiu determinar uma relação entre a carga e a massa dos raios catódicos. Então Thomson concluiu que se tratava de partículas carregadas negativamente.

Thomson ainda verificou que esses corpúsculos carregados eletricamente eram exatamente os mesmos, quaisquer que fossem os elementos do cátodo, do ânodo e do gás dentro do tubo. Então ele demonstrou empiricamente, que os raios catódicos seriam formados por constituintes universais de matéria, ou seja, mostrou que o átomo não é indivisível, tendo partículas menores.

Para medir a relação carga massa (e/m) do elétron Thomson realizou um experimento no qual os raios cruzavam uma região onde existia a atuação de um campo elétrico \vec{E} e um campo magnético \vec{B} . Na figura 1, exibida a seguir, temos a carga negativa chegando a essa região com determinada velocidade. Ao passar por essa região o elétron sofre um desvio total θ em relação ao eixo x, adquirindo uma velocidade v_x na direção x e uma velocidade v_y na direção y.

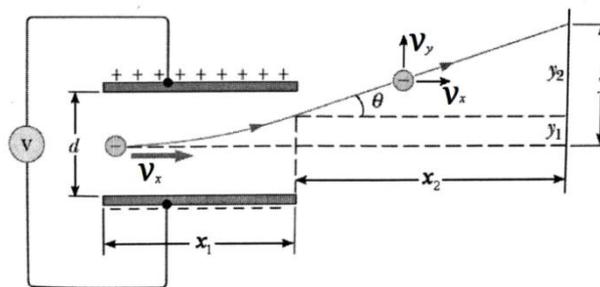


Figura 1 – A trajetória do elétron sob ação de um campo elétrico \vec{E} e magnético \vec{B} no tubo de Crookes

Veja na figura 2 que o campo elétrico \vec{E} terá direção vertical e sentido de cima para baixo. Já o campo magnético \vec{B} está entrando no plano na direção perpendicular a ele. Ao passar por essa região, no sentido da esquerda para a direita, atuará no elétron uma força elétrica \vec{F}_e para cima e uma força magnética \vec{F}_m para baixo.

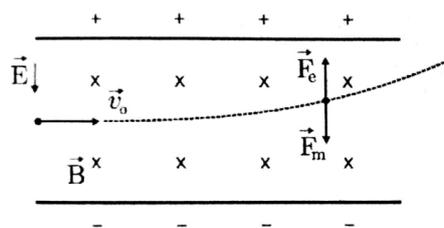


Figura 2 – A força elétrica \vec{F}_e e magnética \vec{F}_m atuando no elétron com velocidade v_0

Através do experimento próximo ao descrito acima constatou uma relação carga massa do elétron. Para as variáveis descritas acima é possível identificar que

$$\frac{e}{m} = \frac{2yE}{B^2(x_1^2 + 2x_1x_2)} \quad (1)$$

Diante da descoberta do elétron, Thomson propôs um modelo no qual o átomo seria um volume contínuo com carga positiva e teria elétrons encrustados por toda a sua estrutura, representado na figura 3. Devido às cargas negativas, Thomson afirmava que os elétrons estariam distribuídos uniformemente por toda a

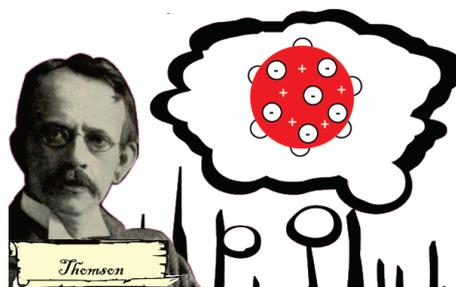


Figura 3 - o átomo de Thomson

esfera. De acordo com Peruzzo, Pottker e Prado (2014) ele também tentou explicar e emissão de ondas eletromagnéticas pelos átomos devido ao movimento dos elétrons. Porém seu modelo não conseguia explicar a emissão de partícula alfa α pelo átomo.

Em 1911 ocorreu outro marco para as pesquisas sobre a estrutura da matéria, através do conhecido experimento da folha de ouro, ilustrado na figura 4. Com esse trabalho Rutherford deu uma grande contribuição para a Física de Partículas Experimental. Ele fez incidir um feixe de partículas α (alfa), carregadas positivamente sobre uma lâmina de metal no

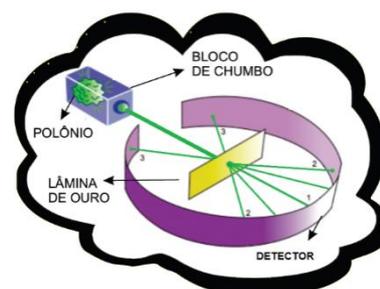


Figura 4 - Experimento da folha de ouro

laboratório. Os resultados foram inconsistentes com aqueles previstos pelo modelo de Thomson. Nele a maioria das partículas atravessou a lâmina, indicando espaços vazios no átomo. Já outras refletiram, indicando uma região densa e massiva que ficou conhecida como núcleo atômico. Segundo Serway e Jewett (2014, p. 174)

Deflexões tão amplas não eram esperadas tendo como base o modelo de Thomson. De acordo com este modelo, uma partícula alfa positivamente

carregada nunca chegaria tão perto de uma concentração suficientemente grande de carga positiva a ponto de gerar quaisquer deflexões com ângulos grandes. Além disso, os elétrons no modelo de Thomson possuem massa muito pequena para gerar uma deflexão tão grande de partículas alfa maciças.

Os resultados da experiência levaram Rutherford a propor um novo modelo atômico. Como pode ser visto na figura 5, a carga positiva, denominada de prótons, e quase toda a massa do átomo estaria em uma região central denominada de núcleo atômico. Os elétrons estariam em uma região chamada eletrosfera, onde realizariam movimentos circulares ao redor do núcleo. Segundo Peruzzo, Pottker e Prado (2014), a velocidade dos elétrons no movimento circular imaginado por Rutherford era suficiente para que a força centrífuga devido ao movimento circular equilibrasse a força elétrica de atração exercida pelo núcleo.

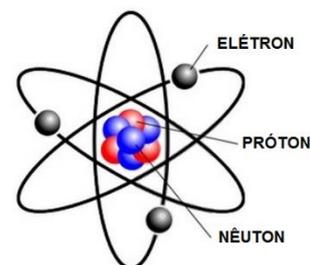


Figura 5 - O átomo de Rutherford

No entanto, mesmo após as explicações de Rutherford, não foi possível resolver o problema da estabilidade do átomo. Logo se percebeu que o modelo de Rutherford apresentava inconsistências, pois os elétrons em órbita estariam acelerados e de acordo com a teoria da Física Clássica, cargas aceleradas emitem radiação, perdendo energia. Nesse caso, os átomos deveriam emitir radiação continuamente, diminuindo o raio da sua órbita até colidir com o núcleo, como ilustrado na figura 6. Essa inconsistência ficou conhecida como colapso da matéria. Essa inconsistência do átomo de Rutherford não garantia a estabilidade da matéria. Segundo Caruso e Oguri (2006, p. 370)

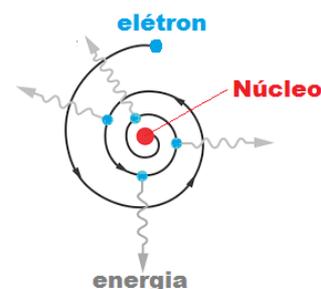


Figura 6 - O colapso da matéria

Com a confirmação da existência do núcleo, agrava-se o problema da estabilidade do átomo. Em uma visão simplificada, se os elétrons circulassem ao redor de um núcleo, seriam constantemente acelerados e, portanto, perderiam energia pela emissão de radiação eletromagnética, de tal modo que os raios de suas órbitas iriam diminuindo até que eles colidissem com o núcleo. Daí pode-se concluir que tal átomo emitiria um espectro contínuo, o que estaria em desacordo com os dados obtidos pela espectroscopia

3.2 A estrutura da matéria e o desenvolvimento da teoria quântica do átomo

No final do século XIX havia dados experimentais de fenômenos relacionados à estrutura da matéria que não eram explicados de forma satisfatória pela Física Clássica. Segundo Peduzzi (2008) o suporte teórico da Física que vigorava na época era

insuficiente para explicar a estrutura dos átomos e a interação da radiação eletromagnética com a matéria. O estudo da radiação térmica e os dados empíricos da espectroscopia apresentavam discordância entre a Física teórica e experimental. Esse problema perdurou por muitos anos e só foram amenizados quando Planck desenvolveu a equação que descrevia corretamente o espectro da radiação do corpo negro em 1900.

Ainda de acordo com Peduzzi (2008) a espectroscopia vinha se desenvolvendo bastante desde 1859 através dos estudos de Gustav R. Kirchhoff (1824-1887) e Robert Bunsen (1811-1899). Após observar os estudos de Bunsen sobre o espectro de emissão de determinados sais aquecidos com um dispositivo conhecido como Bico de Bunsen, Kirchhoff despertou seu interesse pela espectroscopia. Esses cientistas perceberam a existência de uma relação entre os elementos químicos e os espectros, ou seja, observaram que cada elemento químico tinha uma configuração particular no espectro, com específico número de linhas e comprimentos de onda (cores).

Nos estudos da espectroscopia foi descoberto que o espectro emitido por sólidos e líquidos são contínuos, resultado da agitação das partículas do material aquecido, como pode ser ilustrado na figura 7. Pietrocola (2010, p. 315) afirma que *“ao oscilarem, as cargas elétricas emitem radiação eletromagnéticas com diversos comprimentos de onda, sendo uma parte delas na região do visível.”*

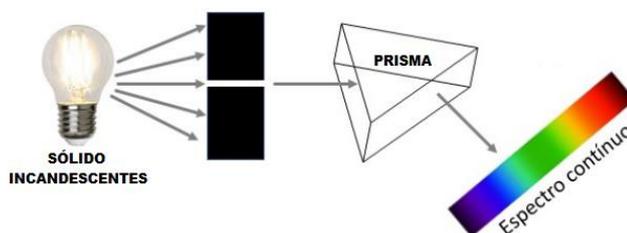


Figura 7 - Espectro contínuo de um sólido incandescente

Já em relação ao espectro discreto, ilustrado na figura 8, Peduzzi (2008 p. 102) afirma que *“os gases e vapores incandescentes emitem radiação apenas em determinados comprimentos de onda (ou frequências), produzindo espectros (de emissão) descontínuos, constituídos por linhas, ou conjunto de linhas muito próximas umas das outras, separadas por zonas escuras.”* Segundo Pietrocola (2010) a luz emitida por uma lâmpada a vapor (lâmpada de hidrogênio), que é um material pouco denso, quando sofre dispersão, forma um espectro discreto (descontínuo) com linhas coloridas e separadas, conforme ilustra a figura 8.

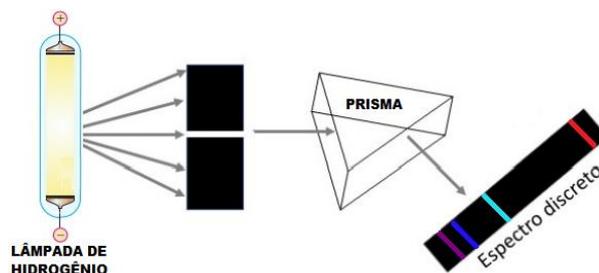


Figura 8 - O espectro de emissão discreto de uma lâmpada de hidrogênio

Peruzzo, Pottker e Prado (2014) descrevem que quando se aquece um gás de determinado elemento químico, o mesmo emitirá luz. Quando a radiação emitida por ele passa por um prisma, observa-se a formação de um espectro discreto, chamado espectro de emissão. Em outra situação, na qual a luz branca passa por uma amostra de gás frio desse mesmo elemento químico, fazendo-se a luz seguir em direção a um prisma, ocorrerá a dispersão com a formação de um espectro contínuo. Porém aparecerão linhas escuras sobrepostas ao fundo que ocuparão a mesma configuração do espectro de emissão. Então é possível concluir que o espectro que um gás aquecido emite tem o mesmo comprimento de onda que absorve de um espectro contínuo de radiação que passa por ele. Pode ser visto na figura 9 que o espectro contínuo, no qual aparece uma configuração de linhas escuras idênticas ao do espectro discretos, é chamado de espectro de absorção.

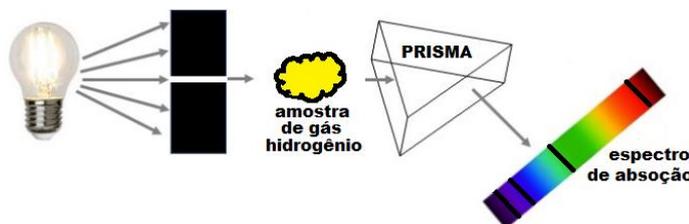


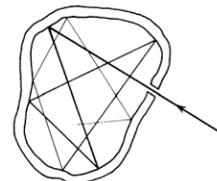
Figura 9 - Espectro de absorção de uma amostra de gás hidrogênio

Os estudos de Kirchhoff e Bunsen deram grande contribuição para o desenvolvimento da espectroscopia, que apresentava relação com os estudos da radiação térmica emitida por sólidos. Surgiu uma série de estudos que culminaram com a lei da radiação de Max Planck (1858-1947) para o corpo negro. Caruso e Oguri (2006, p. 309) define o corpo negro e as características o seu comportamento na afirmação apresentada a seguir:

Conforme mostrado por Kirchhoff, do ponto de vista experimental, qualquer cavidade com paredes totalmente refletoras no interior de um sólido que tenha uma pequena abertura se comporta como um corpo negro. De fato, toda radiação vinda do exterior que passe pelo orifício é refletida várias vezes nas paredes internas até ser totalmente absorvida por elas. Por outro lado,

quando o sólido se aquece, estas paredes emitem radiação eletromagnética, cuja maior parte permanece no interior da cavidade. Em equilíbrio térmico, através de reflexões sucessivas, a energia da radiação emitida pelas paredes é igual a absorvida. Por essa razão, a radiação no interior da cavidade e, portanto, também a pequena fração da radiação que dela emerge através da abertura devem possuir exatamente a distribuição espectral de intensidade característica da radiação do corpo negro.

Na figura 10 há a ilustração do corpo negro, constituído de uma pequena abertura, denominada cavidade, e paredes refletoras. Lembrando que ele representa a idealização de um corpo, cuja



principal característica é refletir toda a radiação que absorve.

Figura 10 - Corpo negro

Nos estudos da espectroscopia de Kirchhoff e Bunsen foi possível perceber que a absorção e emissão de um corpo radiador têm dependência com a temperatura. Uma importante lei que explicou esse fenômeno é conhecida como Lei de Stefan de 1879. Para Caruso e Oguri (2006) ela relaciona à intensidade da radiação emitida pelo corpo negro com a temperatura elevada a quarta potência:

$$I = \sigma T^4 \quad (2)$$

Sendo $\sigma = (5,67051 \pm 0,00019) \times 10^{-12} W \cdot cm^{-2} \cdot K^{-4}$ chamada de constante de Stefan-Boltzmann.

Outra importante contribuição para a descrição da radiação emitida por um corpo negro foi proposta por Wien em 1893. De acordo com Caruso e Oguri (2006) a Lei de Deslocamento de Wien prever que o comprimento de onda λ_{max} correspondente a máxima densidade espectral de energia da radiação emitida por um corpo negro diminui quanto maior for a temperatura do corpo.

$$\lambda_{max} T = 2,898 \times 10^{-3} m \cdot K \quad (3)$$

Segundo Serway e Jewett Jr. (2014) a ideia de Wien indicava que em maiores temperaturas o pico da distribuição de comprimentos de onda, onde a intensidade da radiação emitida pelo corpo negro é máxima, desloca-se para valores menores de comprimento de onda, como pode ser visto na figura 11.

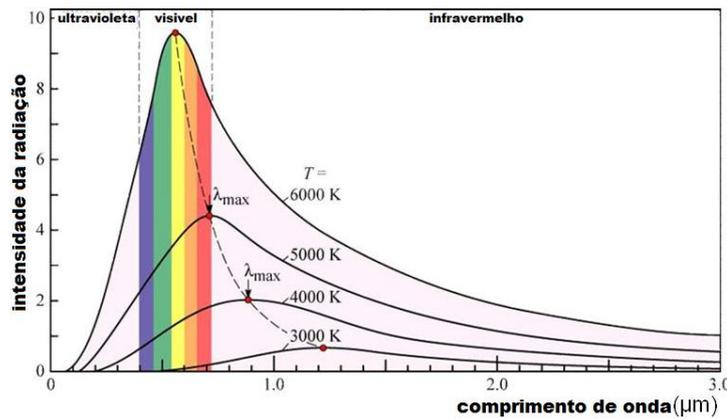


Figura 11 - Intensidade da radiação em função do comprimento de onda

Tendo por base a Teoria Clássica, os físicos Rayleigh e Jeans, desenvolveram uma teoria na tentativa de explicar o espectro de emissão do corpo negro, denominada lei de Rayleigh-Jeans. Buscava-se descrever quanto de energia está emitindo a determinada temperatura e para cada comprimento. Então a função de radiância espectral que a Física Clássica fornecia é conhecida por Lei de Rayleigh-Jeans descrita abaixo:

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

A radiância espectral $I(\lambda, T)$ é a quantidade de energia radiada por unidade de área, por unidade de tempo, por intervalo de comprimento de onda. Sendo $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ a constante de Boltzmann.

Mas essa equação não descreve bem os dados experimentais uma vez que quando o comprimento de onda $\lambda \rightarrow 0$ a radiância espectral $I(\lambda, T) \rightarrow \infty$. Veja na figura 12 que teoria clássica previa que para pequenos comprimentos de onda o corpo negro iria emitir uma quantidade infinita de energia. Essa inconsistência da teoria ficou conhecida como catástrofe do ultravioleta.

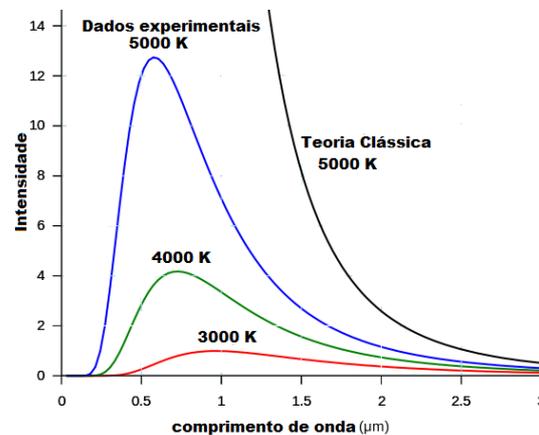


Figura 12 - Catástrofe do ultravioleta

Então a Lei de Rayleigh-Jeans só concordava com os resultados experimentais para comprimentos de ondas mais longos.

Em 1900 Max Planck, tentando resolver as inconsistências entre os dados experimentais e as previsões teóricas da Física Clássica, imaginou que a energia emitida pelos osciladores harmônicos do corpo negro era emitida em pacotes chamados

quantum. Ele desenvolveu uma equação que descrevia corretamente os resultados experimentais para a radiação emitida por um corpo negro.

$$I(\lambda, T) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5} \frac{1}{(e^{hc/kT\lambda} - 1)} \quad (5)$$

Sendo $h = 6,626 \times 10^{-34} Js$ a constante de Planck.

A teoria de Planck estabelecia concordância entre os resultados teóricos e experimentais para a radiação emitida pelo corpo negro. Segundo Serway e Jewett Jr. (2014, p. 130)

Em 1900, Max Planck desenvolveu um modelo estrutural para a radiação de corpo negro que leva a uma equação teórica para a distribuição de comprimentos de onda que está completamente de acordo com os resultados experimentais em todos os comprimentos de onda. Seu modelo representa o nascimento da Física Quântica.

Para obter a expressão Planck se viu forçado a admitir que a troca de energia entre as paredes da cavidade do corpo negro e a radiação não ocorrem de forma contínua, mas sim discretamente. Ou seja, não é qualquer valor de energia que é trocado entre as paredes e a radiação. Então os átomos da parede da cavidade não oscilam com qualquer valor de energia e não absorvem e emitem todas as frequências de radiação. As trocas de energia entre os osciladores e a radiação só pode se dá em quantidades discretas de Energia E_n , dadas por:

$$E_n = nhf, \quad (6)$$

sendo n um número inteiro positivo.

Foi tentando chegar à equação que descrevia corretamente o espectro da luz emitida por um corpo negro que Planck chega a ideia de quantização de energia.

Segundo Caruso e Oguri (2006) foram os estudos com métodos estatísticos de sistemas físicos que deram significativa contribuição para a origem da teoria quântica. Max Planck, em 1900, estudando o comportamento de osciladores elementares irradiando energia, em vez da radiação em si, deduziu a expressão para a radiação do corpo negro.

De acordo com Serway e Jewett Jr. (2014), foi observando o espectro de emissão de hidrogênio que Johann Balmer (1825-1898), sem utilizar um arcabouço teórico para seus estudos, desenvolveu uma equação na qual os comprimentos de onda das linhas espectrais, chamadas de série de Balmer, desse elemento eram descritos da seguinte forma:

$$\lambda = 364,56 \frac{n^2}{n^2 - 4}, \quad (7)$$

sendo $n = 3, 4, 5, \dots$

Alguns anos mais tarde a equação de Balmer foi reformulada por Johannes Rydberg (1854-1919), denominada Equação de Rydberg, que descrevia matematicamente o comprimento de onda das linhas espectrais do átomo de hidrogênio:

$$\frac{1}{\lambda} = R_H \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right), \quad (8)$$

sendo $n = 3, 4, 5, \dots$ R_H é a constante de Rydberg e tem valor $R_H = 1,097373 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$

A Física Clássica não conseguia descrever o espectro atômico emitido de forma discreta. Após os trabalhos de Balmer e Rydberg sobre o espectro do átomo de hidrogênio, a Teoria de Einstein sobre o efeito fotoelétrico e a Teoria de Planck para a radiação do corpo negro, o físico dinamarquês Niels Bohr (1885 – 1962) dispôs das informações necessárias para propor seu modelo atômico. Para explicar o colapso da matéria, problema do átomo de Rutherford, e o espectro discreto que surgia na radiação de alguns elementos, Bohr partiu do pressuposto que a teoria clássica da radiação não se aplicava ao mundo atômico. Dessa forma, em 1913 ele aplicou as contribuições de Planck, sobre níveis de energia quantizada dos osciladores harmônicos, aos elétrons no átomo, e superou a ideia de que o átomo perderia energia continuamente.

Utilizando a ideia da quantização da energia, Bohr desenvolveu sua teoria para o átomo, na qual afirmava que os elétrons atômicos, circulando ao redor do núcleo em órbitas circulares sob a influência de forças elétrica, estavam confinados em níveis estáveis de energia não radioativas, também denominados de estados estacionários. Em Peruzzo, Pottker e Prado (2014) a energia total do átomo de hidrogênio é dada por:

$$E = -\frac{kZe^2}{n^2}, \quad (9)$$

sendo $k = 9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ e Z o número de prótons.

O sinal negativo indica que a energia necessária para arrancar o elétron do átomo de hidrogênio é dada por $E = kZe^2/n^2$.

Para Bohr os elétrons só poderiam ocupar determinadas órbitas, com valores discretos de níveis de energia, em consequência da quantização do momento angular orbital. Os raios das orbitas de Bohr seriam dados por:

$$r_n = \frac{n^2 \hbar^2}{nkZe^2}, \quad (10)$$

sendo $\hbar = h/2\pi$.

Serway e Jewett Jr. (2014) escreve que a energia dos estados quânticos do átomo de hidrogênio será dado por:

$$E_n = \frac{13,606eV}{n^2}, \quad (11)$$

sendo $n = 1, 2, 3, \dots$

Para Bohr a radiação emitida pelos átomos seria consequência da transição de elétrons em seus níveis de energia. A passar de um estado estacionário de menor nível de energia para outro de maior valor, o elétron absorveria energia do meio externo, em quantidade estritamente suficiente para isso. Ao retornar ao estado estacionário original, ele libera de volta a energia absorvida na forma de radiação. Essas transições entre estados estacionários, que representam níveis de energia, foram chamados de saltos quânticos.

Na figura 13 há a representação ilustrativa do salto quântico realizado pelos elétrons segundo o modelo atômico de Bohr, descrevendo a emissão de

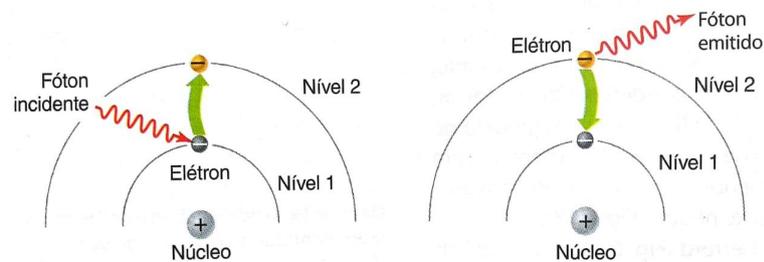


Figura 13 - Salto quântico

radiação pelos átomos. O elétron absorve a energia do fóton incidente e salta para um nível mais elevado. No outro caso o elétron emite a mesma quantidade de energia absorvida, na forma de radiação eletromagnética, retornando ao nível de origem.

Para Serway e Jewett Jr. (2014) a teoria atômica de Bohr ainda aplicou o conceito de Einstein sobre o fóton (partícula de luz) para explicar a frequência de radiação recebida ou emitida pelo átomo quando o elétron faz uma transição de um estado estacionário para outro. Quando o elétron faz uma transição do maior nível de energia para um mais baixo a frequência da radiação emitida será:

$$f = \frac{E_i - E_f}{h} = \frac{kZe^2}{2a_0h} \left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2} \right), \quad (12)$$

sendo $a_0 = \frac{\hbar^2}{mke^2} = 0,0529 \text{ nm}$ o raio do elétron quando $n=1$, chamado Raio de Bohr.

É perceptível a influência da teoria quântica de Planck e do átomo nuclear de Rutherford para o desenvolvimento do modelo atômico de Bohr. A ideia de quantização deu origem aos estados estacionários ocupados pelos elétrons, representando níveis de energia fixa para diferentes distâncias do núcleo. Os elétrons não teriam posição fixa, podendo realizar saltos quânticos quando absorvem ou emitem valores definidos de

energia. A radiação emitida pelo átomo ocorreria apenas quando os elétrons realizassem saltos quânticos: fazendo a transição de um estado estacionário de maior energia para outro de menor nível de energia.

Hewitt (2002) descreve algumas interpretações e modelos subsequentes ao modelo de Bohr, para explicar os níveis de energia quantizados para os estados estacionários ocupados pelos elétrons. Louis de Broglie propõe uma teoria para o movimento ondulatório do elétron, introduzindo o conceito de onda de matéria em 1924. Para ele o comportamento dual onda-partícula, que se aplicava a radiação, também ocorria com os elétrons, de forma que cada partícula tem uma onda de matéria associada ao seu movimento. Eisnberg e Resnick (1986, p. 87) afirmam que:

A hipótese de de Broglie era de que o comportamento dual, isto é, onda-partícula, da radiação também se aplicava à matéria. Assim como um fóton tem associada a ele uma onda luminosa que governa seu movimento, também uma partícula material (por exemplo, um elétron) tem associada a ela uma exatamente onda de matéria que governa seu movimento. Como o universo é inteiramente composto por matéria e radiação, a sugestão de de Broglie é essencialmente uma afirmação a respeito de uma grande simetria na natureza. De fato, ele propôs que os aspectos ondulatórios da matéria fossem relacionados com seus aspectos corpusculares da mesma forma quantitativa com que esses aspectos são relacionados para a radiação.

Em Peruzzo, Pottker e Prado (2014) apresentam a relação de Einstein, na qual matéria e a radiação têm energia total E relacionada a frequência f que está associada ao seu movimento. Para Einstein a os fótons, partículas não materiais, carregam valores de energia da onda eletromagnética, dada por:

$$E = hf \quad (13)$$

Para de Broglie, os objetos materiais, carregados ou não, apresentam características ondulatórias em seu movimento. Esse comportamento se evidencia quando as dimensões da partícula têm dimensões próximas ao comprimento de onda da luz. Então de Broglie atribui a partícula uma frequência associada ao seu movimento, dada por:

$$f = \frac{E}{h} \quad (14)$$

A velocidade c de propagação de uma onda com comprimento de onda λ e frequência f é dada pela relação:

$$c = \lambda f \quad (15)$$

Dessa forma a energia de um elétron seria dada por:

$$E = \frac{hc}{\lambda}, \quad (16)$$

sendo λ o comprimento de onda de de Broglie. Ele está associado ao movimento da partícula.

A energia do fóton E se relaciona com o momento p pela equação:

$$E = pc \quad (17)$$

Então a energia E e o momento p relativos a partícula estarão ligados a frequência f e comprimento de onda λ relativos a ondas através da constante de Planck h . Dessa forma o comprimento de onda de de Broglie λ de uma onda de matéria associada ao movimento de uma partícula material de momento p , é previsto pela equação chamada de relação de de Broglie, dada por:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad (18)$$

Segundo Peruzzo, Pottker e Prado (2014, p.172) “as ondas associadas aos elétrons eram estacionárias no átomo, e as órbitas compreendiam número inteiros de comprimentos de onda.” Para de Broglie a onda do movimento do elétron fecha-se sobre si mesma e devido a essa característica os níveis de energia, ou estados estacionários do átomo, teria valores discretos de energia.

A figura 14 (a) ilustra o movimento da onda estacionaria realizada pelo elétron, de forma que a camada será formada apenas quando a partícula oscila em múltiplos inteiros de comprimento de onda. Isso justifica os valores discretos de energia. Veja que em 14 (b) não há formação de camada, ou seja, a figura não representa um nível estacionário de energia, pois a oscilação do elétron não caracteriza uma onda em fase.

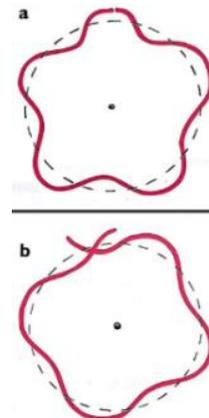


Figura 14 –
Onda do elétron

Então os raios das órbitas do átomo de Bohr dependeriam do número inteiro da oscilação do elétron. Matematicamente fica:

$$n\lambda = 2\pi r \quad (19)$$

Na figura abaixo há a ilustração dos níveis de energia do átomo, demonstrando sua relação com o número inteiro de comprimentos de onda de de Broglie associado ao movimento dos elétrons.

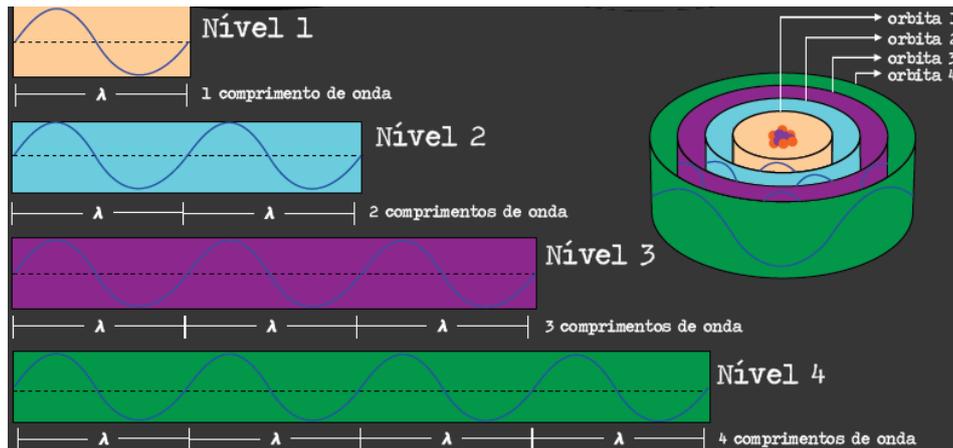


Figura 15 - Níveis de energia de de Broglie

Segundo Peruzzo, Pottker e Prado (2014, p.171) a quantização do momento angular seria dado por:

$$mvr = n\hbar \quad (20)$$

O físico austro-alemão Erwin Schrödinger conseguiu formular uma equação, na qual a função de onda vai fornecer informações sobre o que pode acontecer com o elétron. Segundo Hewitt (2002, p. 549)

Um físico pode calcular sua posição provável multiplicando a função de onda por si mesma ($|\Psi^2|$). Isso produz uma segunda entidade matemática chamada função densidade de probabilidade, que nos dá a probabilidade por unidade de volume, num determinado instante de tempo, de cada uma das possibilidades representadas por Ψ .

Hewitt (2002) explica que a mecânica ondulatória de Schrödinger prevê que o elétron pode ser encontrado em qualquer região do átomo no espaço tridimensional, movendo-se ao redor do núcleo e também dentro e fora dele. Diante de uma identificação pontual das diversas possíveis posições do elétron, imagina-se uma nuvem eletrônica que caracteriza uma ilustração para o átomo quântico. A formação dessa nuvem deve ser entendida como uma onda de probabilidade da localização do elétron no espaço.

Portanto, a equação de Schrödinger permite encontrar a probabilidade de um elétron se encontrado em uma região. Porém ela não é capaz de identificar a posição pontual do elétron em um determinado instante.

A função de onda de Schrödinger assume que o elétron é uma partícula pontual no espaço e fornece uma medida da probabilidade dele ser encontrado em alguma região do espaço. Em Peruzzo, Pottker e Prado (2014) é apresentada a equação de onda de

Schrödinger em uma dimensão, que descreve o comportamento de uma onda de matéria associada a uma partícula m , é descrita como:

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \Psi(x, t) + V(x, t) \Psi(x, t) = i\hbar \frac{\partial}{\partial t} \Psi(x, t) \quad (21)$$

A função de onda $\Psi(x, t)$ que é solução da equação de Schrödinger fornecem uma medida da probabilidade de encontrar o elétron em algum ponto do espaço. Segundo Peruzzo, Pottker e Prado (2014, p. 174-175) “a ligação entre as propriedades da função de onda $\Psi(x, t)$ e o comportamento da partícula associada é expressa em termos de densidade de probabilidade $P(x, t)$ ”:

$$P(x, t) = \psi(x, t)\Psi^*(x, t) = |\Psi(x, t)|^2, \quad (22)$$

onde $\Psi^*(x, t)$ representa o complexo conjugado de $\Psi(x, t)$.

Como a partícula será encontrada em algum lugar do espaço, a soma de todas as probabilidades será igual a 1. A probabilidade de encontrar a partícula em determinada região será maior quanto maior for a amplitude da onda. Na figura 16, o elétron está diante do espelho de forma que ele fica mais visível na região que a onda tem uma maior amplitude. Essa é uma representação de que o elétron tem maior probabilidade de ser encontrado quanto maior for a amplitude da onda.

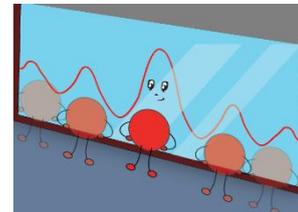


Figura 16 - Amplitude da onda de probabilidade

CAPÍTULO 4: METODOLOGIA

Neste capítulo aparecem as seções que definem a natureza da experiência, caracterizada como um pesquisa quali-quantitativa. Também será exposto o público alvo e local para realização da intervenção, além de esclarecimentos sobre os instrumentos de coleta de dados utilizados na experiência. A última seção tem a descrição do planejamento da sequência de ensino, dividindo as etapas da intervenção.

4.1 A natureza da experiência

Este trabalho apresenta uma investigação sobre o uso da história em quadrinhos *“Os moidos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico”*, escrita em versos de cordel, no ensino de tópicos de Física Quântica. A experiência se enquadra nos moldes de uma abordagem de natureza qualitativa, uma vez que busca descrever, analisar e dar significado de maneira mais fidedigna possível, aos eventos e fatos que ocorreram durante a intervenção. Severino (2007) apresenta uma breve reflexão sobre o emprego do termo “abordagem qualitativa”, em vez das expressões “pesquisa qualitativa” ou “metodologia qualitativa”, para caracterizar os processos de investigação. O autor afirma que:

Quando se fala de pesquisa quantitativa ou qualitativa, e mesmo quando se fala de metodologia quantitativa ou qualitativa, apesar da liberdade de linguagem consagrada pelo uso acadêmico, não se está referindo a uma modalidade de metodologia em particular. Daí ser preferível falar-se de abordagem quantitativa, de abordagem qualitativa, pois, com estas designações, cabe referir-se a conjuntos de metodologias, envolvendo, eventualmente, diversas referências epistemológicas. (Severino, 2007, p. 119).

As ações, a desenvoltura e o envolvimento do público participante da investigação são os norteadores para as considerações apresentadas neste trabalho. O foco central da experiência se encontra na descrição detalhada das atividades planejadas na sequência de ensino e concatenadas na intervenção. Também busca-se refletir sobre o método de ensino-aprendizagem e identificar os fenômenos e fatos que contribuíram ou limitaram o processo de construção do conhecimento. A interpretação da dinâmica comportamental dos atores inseridos na experiência ganha significado nos pormenores apresentados na análise dos resultados.

Para Carvalho (2006) as investigações que buscam estudar o processo de ensino e de aprendizagem em sala de aula se enquadram no tipo de abordagem qualitativa, uma vez que esse tipo de pesquisa procura interpretar a escrita, a fala, ações e gestos dos

alunos e professores durante o processo de intervenção. Bogdan (1994) trata os dados qualitativos como pertencentes a um universo que envolve variáveis com informação descritivas, não sendo comum uma interpretação apenas estatística de suas informações. Os elementos que emergem de uma abordagem dessa natureza ganham significado nas atuações dos envolvidos: na forma como eles se relacionam e interagem com as pessoas, com os objetos e o com ambiente da pesquisa. Para Bogdan (1994, p. 16):

Os dados recolhidos são designados por qualitativos, o que significa ricos em pormenores descritivos relativamente a pessoas, locais e conversas, e de complexo tratamento estatístico. As questões a investigar não se estabelecem mediante a operacionalização de variáveis, sendo, outrossim, formuladas com o objectivo de investigar os fenómenos em toda a sua complexidade e em contexto natural. Ainda que os indivíduos que fazem investigação qualitativa possam vir a seleccionar questões específicas à medida que recolhem os dados, a abordagem à investigação não é feita com o objectivo de responder a questões prévias ou de testar hipóteses. Privilegiam, essencialmente, a compreensão dos comportamentos a partir da perspectiva dos sujeitos da investigação.

De acordo com o autor citado acima, uma pesquisa qualitativa apresenta características peculiares, independente do instrumento utilizado para registrar e coletar os dados. Algumas questões relevantes levantadas por ele são inerentes a natureza deste trabalho, como o fato investigação ocorrer em seu ambiente natural, tendo o pesquisador como instrumento principal na coleta de dados. Sobre essa particularidade da pesquisa qualitativa (interpretativa) Moreira (2016a, p. 6 - 7) afirma que:

O interesse central dessa pesquisa está em uma interpretação dos significados pelos sujeitos a suas ações em uma realidade socialmente construída, através de observação participativa, isto é, o pesquisador fica imerso no fenômeno de interesse. Os dados obtidos por meio dessa participação ativa são de natureza qualitativa e analisados correspondentemente.

Então, caso o pesquisador não esteja inserido no ambiente da investigação, mesmo dispondo de ferramentas que possibilitem a coleta de dados, pode acontecer do mesmo não conseguir associar as palavras, os gestos e ações dos seres participantes da investigação com o contexto das atividades realizadas, deixando passar informações que podem contribuir para o significado da pesquisa. Segundo Bogdan (1994, p. 48):

Os investigadores qualitativos frequentam os locais de estudo porque se preocupam com o contexto. Entendem que as ações podem ser melhor compreendidas quando são observadas no seu ambiente habitual de ocorrência. Os locais têm de ser entendidos no contexto da história das instituições a que pertencem. Quando os dados em causa são produzidos por sujeitos, como no caso de registros oficiais, os investigadores querem saber como e em que circunstâncias é que eles foram elaborados.

Quer os dados sejam recolhidos sobre interações na sala de aula, utilizando equipamento vídeo (Florio, 1978; Mehan, 1979), sobre educação

científica, recorrendo à entrevista (Denny, 1978a), ou ainda sobre a desagregação, mediante observação participante (Metz, 1978), os investigadores qualitativos assumem que o comportamento humano é significativamente influenciado pelo contexto em que ocorre, deslocando-se, sempre que possível ao local de estudo.

Outro aspecto relevante na concepção do autor citado acima trata que “*os investigadores qualitativos interessam-se mais pelo processo do que simplesmente pelos resultados ou produtos.*” (Bogdan, 1994, p. 49). Essa ideia também é compartilhada por Lüdke e André (1986), pois as autoras entendem que as abordagens qualitativas devem ter uma preocupação maior com o processo do que com o produto. Para elas o foco principal do pesquisador deve ser o de analisar e compreender como o problema investigado se manifesta durante o desenvolvimento das atividades da pesquisa.

Entende-se que as afirmações dos autores estariam relacionadas à necessidade de critérios metodológicos que possam enfatizar a descrição da dinâmica do processo de intervenção, destacando detalhes da participação dos alunos e professores nas atividades propostas. Então, não basta apenas apresentar os indícios da aprendizagem dos alunos como um resultado final, é necessário interpretar os significados, diante das ações e da postura dos participantes da pesquisa.

Para este trabalho, estudar o processo de ensino-aprendizagem, durante atividades que envolvem fases de uma Sequência Ensino, é um aspecto primordial da experiência. No entanto, compreender e apresentar indícios da validação da sequência proposta é tão importante quanto a descrição do processo. Nesse aspecto, defende-se aqui uma concepção que se aproxima da proposta de Carvalho (2006), pois de acordo com a autora, a necessidade de entender o processo de ensino, através de uma descrição perfeita das atividades realizadas e dos métodos de coleta e análise dos dados, não exige uma análise do produto. Ainda em concordância com a autora, entende-se que é importante a descrição de indícios da aprendizagem dos conteúdos pelos alunos, pois só há ensino se existir aprendizagem. Logo, este trabalho trata todas as fases da experiência com igual cuidado, verificando as ações dos envolvidos nas atividades, analisando o potencial didático-pedagógico das ferramentas utilizadas em sala de aula e avaliando a sequência didática desenvolvida no processo de intervenção.

Greca (2002) analisa e compara dados dos trabalhos aceitos no I e no III ENPEC (Encontro Nacional de Pesquisas em Educação em Ciências), constatando que “*a maioria dos trabalhos se enquadram dentro do que se pode denominar de pesquisa qualitativa e que inclui estudos históricos, pesquisa etnográfica, estudo de caso,*

pesquisa-ação, histórias de vida, análise de conteúdos, entre outros.” (Greca, 2002, p. 74). No comparativo entre os trabalhos aceitos nos dois eventos, a autora chama a atenção para a crescente tendência de trabalhos que se dedicam exclusivamente a métodos qualitativos em pesquisas educacionais. Então, ela passa a alertar sobre a importância da integração entre os dois métodos nos processos de investigação, afirmando que:

O que se está defendendo aqui é que os métodos qualitativo e quantitativo estão intimamente imbricados, que cada um permite mapear aspectos diferentes e complementares da realidade educativa e que parece muito difícil que a complexidade da pesquisa educacional possa ser captada por um único paradigma. Nos parece que a pesquisa em educação perde muito restringindo-se a uma única perspectiva e é hora de resgatar perspectivas quantitativas nos estudos educativos. Obviamente, não se trata de voltar aos velhos delineamentos experimentais, nem de "provar" que um certo tratamento é melhor do que outro em absoluto. Trata-se de incorporar em forma coerente as ideias de que não existe observação sem teoria (a distinção positivista entre fato e valor é insustentável); que os dados quantitativos pressupõem os qualitativos; e que às vezes os dados quantitativos superam os qualitativos, permitindo discriminações mais refinadas. Ou seja, trata-se de integrar, de tentar responder as questões de pesquisa desde distintas perspectivas metodológicas, gerando respostas que podem ou não convergir, que podem ou não se complementarem, mas que implicam, sobretudo abertura, flexibilidade, riqueza metodológica. (Greca, 2002, p. 81)

Diante da reflexão posta pela autora citada acima, surgiu a necessidade de classificar o nível de compreensão de conceitos e poder de argumentação das equipes diante das situações-problemas. Os resultados dessa classificação foram apresentados em gráficos, tentando descrever de forma fidedigna o processo de ensino-aprendizagem.

Neste sentido, foi possível realizar uma abordagem que integra a descrição de dados qualitativos e quantitativos na experiência, possibilitando uma maior riqueza e fidelidade as entrelinhas da investigação. A respeito da natureza das abordagens qualitativas e quantitativas Minayo (2002, p. 22) afirma que

Não existe um "continuum" entre "qualitativo-quantitativo", em que o primeiro termo seria o lugar da "intuição", da "exploração" e do "subjetivismo"; e o segundo representaria o espaço do científico, porque traduzido "objetivamente" e em "dados matemáticos".

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.

O conjunto de dados quantitativos e qualitativos, porém, não se opõem. Ao contrário, se complementam, pois a realidade abrangida por eles interage dinamicamente, excluindo qualquer dicotomia.

4.2 O público e o local da experiência

O processo de intervenção ocorreu em uma instituição pública de ensino médio localizada no município de Salgueiro - PE. A turma escolhida para a investigação teve que atender alguns critérios, como a conciliação do conteúdo abordado no quadrinho com a ementa dos conteúdos de Física. Então, observou-se que os alunos do 3º anos da instituição estariam aptos a participar da experiência.

Em seguida foi realizada uma análise do número de alunos da turma e as respectivas distribuições de aulas semanais. Os conhecimentos de tais fatores tornaram possível o melhor planejamento das etapas da sequência ensino.

Os alunos do 3º ano encontravam-se na fase final de conclusão da ementa da disciplina de Física, portanto estavam em uma etapa avançada do ensino médio. Isso também foi um fator relevante para o trabalho, pois o mesmo envolve certo grau de abstração de conceitos e experiências relacionados ao tema.

4.3 Instrumentos de coleta de dados

Na perspectiva de coletar o máximo de informações na dinâmica da intervenção e, conseqüentemente, interpretar as variáveis envolvidas na pesquisa, foi utilizado mecanismos diversificados para o registro da investigação. Nesse sentido, o trabalho de coleta de dados ocorreu diante da observação participante do professor, registrando os eventos em caderno de campo e áudios gravados por aparelhos celulares. Outros dados da experiência foram registrados a partir das descrições das soluções para as situações-problemas, realizada pelos alunos durante as atividades.

A percepção e atenção do pesquisador, anotando em diário de bordo ou notas de campo os fatos mais relevantes que ocorreram em sala de aula, foram fundamentais para descrever os fenômenos envolvidos na investigação. Para este trabalho, entende-se que o significado dos fenômenos que surgem no ambiente natural de uma investigação dessa natureza, são mais bem percebidos pela sensibilidade e atenção do professor participante da pesquisa. Então, a presença do pesquisador na sala, atuando como o professor nas aulas, inserido na experiência após ter planejado a intervenção, o credencia para perceber o significado das interações entre os alunos, entre o professor e os alunos e na dinâmica de atividades que envolve a experiência.

Lüdke e André (1986) destacam que o papel da observação nas investigações ocupa um lugar privilegiado em pesquisas educacionais, seja ela o principal método de investigação ou esteja ela associada a outras técnicas de coleta, pois possibilita ao

pesquisador um contato pessoal e estreito com o fenômeno investigado. As autoras ainda chamam a atenção para a necessidade do uso sistêmico e controlado da observação na coleta de dados em pesquisas qualitativas:

Para que se torne um instrumento válido e fidedigno de intervenção científica, a observação precisa antes de tudo ser controlada e sistemática. Isso implica a existência de um planejamento cuidadoso do trabalho e uma preparação rigorosa do observador.

Planejar a observação significa determinar com antecedência “o quê” e “o como” observar. A primeira tarefa, pois, no preparo das observações, é a delimitação do objeto de estudo. Definindo-se claramente o foco da investigação e a sua configuração espaço-temporal, ficam mais ou menos evidentes quais aspectos do problema serão cobertos pela observação e qual a melhor forma de captá-los. (Lüdke e André, 1986, p. 25).

Vale salientar que na metodologia desenvolvida, o professor desempenhou papel de observador em grande parte da sequência de ensino, atuando como estimulador e mediador do processo de ensino-aprendizagem. Esse comportamento favoreceu o método de coleta de dados durante a investigação, ocorrendo, simultaneamente, por uma via de mão dupla: através dos registros de informações realizadas pelo professor e pela escrita das soluções para as situações-problemas realizadas pelos alunos. Tal característica, que reside na natureza do processo de coleta de dados, ocorreu por dois processos que se complementam: enquanto os alunos estavam refletindo e escrevendo suas propostas de soluções para as situações-problemas, o professor atuava estimulando e mediando as ideias que surgiam, ao mesmo tempo em que anotava as observações pertinentes. A dinâmica aqui descrita foi fundamental para reforçar a validação do método da própria investigação.

Azevedo (2004), ao discutir o método de investigações em ensino de ciências, através de situações-problemas trabalhadas em sala de aula, destaca a relevância de tal método em pesquisas científicas. Para a autora a postura mais ativa dos alunos é fundamental no processo de construção do conhecimento. Ela também chama a atenção para a importância do professor conhecer bem o conteúdo a ser ensinado, elaborando questões que possibilitem o estímulo a reflexão dos alunos.

Nos últimos encontros da sequência de ensino foram analisadas as apresentações dos versos de cordel e tirinhas produzidas pelos discentes. Também foi o prazo final para a entrega das atividades pendentes de encontros anteriores. Estes instrumentos foram importantes para compreensão do processo de construção do conhecimento dos discentes, possibilitando entender como ocorreu a interiorização dos conceitos e fenômenos discutidos no processo de ensino-aprendizagem. Junto às anotações e

registro do professor, tais dados ajudaram compreender melhor como se deu a retenção e assimilação de significados na intervenção.

4.4 A sequência de ensino

O processo de intervenção ocorreu em 9 aulas de 45 minutos, distribuídas ao longo de 3 semanas. Destaca-se na metodologia de ensino aqui proposta, o relevante papel da participação ativa dos estudantes. No primeiro encontro foi esclarecido para os discentes como se daria a participação deles nas etapas da intervenção, enfatizando que na sequência de ensino ocorreriam atividades coletivas e colaborativas, com dinâmicas de ensino que colocariam os alunos como protagonistas do processo de construção do conhecimento, ou seja, as principais ações do processo de ensino-aprendizagem deveriam contar com a participação efetiva dos discentes.

Esta sequência de ensino tem inspiração em aspectos teóricos e sequenciais de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), envolvendo características relevantes da teoria da aprendizagem significativa. No entanto, em alguns momentos as atividades ocorreram de acordo com as peculiaridades da ferramenta de ensino trabalhada e em concordância com a realidade do público local.

A ferramenta pedagógica foi apresentada pela recitação típica dos cordéis. Também foi trabalhada durante a resolução das situações-problemas, quando os discentes interpretavam os textos e ilustrações dos quadrinhos em busca de soluções para as questões.

Outro fator que determinou as ações das etapas da sequência apresentadas no quadro 1 tem relação com a dinâmica dos alunos na instituição e a respectiva distribuição das aulas de Física na turma. No quadro aparecem o número de encontros, com respectivo, objetivos e etapas da sequência de ensino, além da descrição das atividades a serem realizadas ao longo do processo de intervenção.

Quadro 1- Sequência de ensino

ENCONTRO	OBJETIVO	ETAPA	DESCRIÇÃO
PRIMEIRO ENCONTRO	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar a proposta e metodologia de ensino; • Falar sobre característica dos cordéis e quadrinhos; 	1. <i>Apresentação da proposta</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar a metodologia do processo de intervenção, a métrica sextilha para escrever estrofes em versos de cordel e como produzir algumas modalidades de quadrinhos.
		2. <i>Esquema conceitual para trabalhar o</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver um esquema conceitual a partir de perguntas

	<ul style="list-style-type: none"> • Fazer um diagnóstico dos conhecimentos prévios sobre a visão clássica da estrutura da matéria; • Introduzir organizadores prévios. 	<i>conteúdo presente na parte 1 da HQ</i>	introdutórias sobre tópicos do conteúdo da estrutura da matéria no âmbito da Física clássica, no intuito de realizar um diagnóstico dos conhecimentos prévios da turma a respeito do tema.
		3. <i>Recitação da HQ parte 1 – Física Clássica</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar os conceitos iniciais e aspectos históricos com eventuais explicações da Física clássica para os fenômenos da estrutura da matéria. São questões importantes e necessárias para se ter o melhor entendimento dos conceitos de Física Quântica que serão estudados.
SEGUNDO ENCONTRO	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar os fenômenos a serem investigados; • Promover o espírito investigativo; • Negociar significados; • Definir os organizadores prévios; 	4. <i>Apresentação das situações-problemas relacionadas a parte 1 da HQ</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Destacar na apresentação das questões os conceitos e fenômenos mais relevantes que envolvem a parte inicial do quadrinho sobre o estudo da Física clássica.
		5. <i>Buscando soluções em equipe para as primeiras situações-problemas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Trabalhar situações-problemas de forma introdutória sobre as explicações da Física clássica para os conceitos, eventos e fenômenos atômicos, em consonância com o esquema conceitual inicial que envolve os conhecimentos prévios dos discentes.
		6. <i>Primeira atividade colaborativa</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilitar a negociação de significados pelo diálogo entre as equipes que buscam soluções para os problemas através do trabalho com situações-problemas, porém através de uma dinâmica coletiva de colaboração.
		7. <i>Organizando o conhecimento para os conceitos e fenômenos investigados na parte 1 da HQ.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ajudar os discentes a superar os obstáculos encontrados na compreensão de fenômenos e conceitos. Permitindo ao professor que acompanhou as ações dos alunos a possibilidade de atuar de forma objetiva para otimizar o processo de organização do conhecimento.
TERCEIRO ENCONTRO	<ul style="list-style-type: none"> • Diagnosticar os conhecimentos prévios a respeito dos fenômenos quânticos; • Introduzir os conceitos quânticos mais gerais; • Promover o caráter investigativo apontando os aspectos mais relevantes do 	8. <i>Diagnostico dos conhecimentos prévios e introdução do conteúdo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fazer um diagnóstico prévio do conteúdo a ser ensinado através da construção de um esquema conceitual, abordando os tópicos mais relevantes do conteúdo presente na parte 2 da HQ. Neste momento surgem os primeiros temas relacionados ao estudo da mecânica quântica.
		9. <i>Recitação da HQ parte 2 – Mecânica Quântica</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar os conceitos e fenômenos mais relevantes do tema estudado, através da recitação do conteúdo que envolve o estudo de tópicos de mecânica quântica.

	conteúdo.	10. <i>Apresentação das situações-problemas relacionadas a parte 2 da HQ</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Trabalhar novas situações-problemas destacando os aspectos mais relevantes do conteúdo, trabalhando os conceitos mais importantes. As questões envolvem um nível maior de complexidade em relação as trabalhadas na parte 1 da HQ e sua elaboração passa pelo objetivo de fazer os discentes investigarem os fenômenos e conceitos dos tópicos de mecânica quântica.
QUARTO ENCONTRO	<ul style="list-style-type: none"> • Investigar os fenômenos quânticos; • Negociar novos significados; • Organizar os conceitos e fenômenos estudados. 	11. <i>Buscando soluções em equipe para as segundas situações-problemas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver trabalho em equipes para a construção de soluções para as situações-problema relacionadas a parte 2 da HQ. Tais questões envolvem um nível maior de complexidade e devem ser trabalhadas pela leitura e interpretação do quadrinho. O professor acompanhará de perto todo o processo de investigação, provocando e estimulando o debate entre os membros das equipes para que possam propor alternativas para solucionar os problemas.
		12. <i>Segunda atividade colaborativa</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Estimular a capacidade de diálogo entre as equipes pela troca de trabalhos. Um grupo terá acesso ao trabalho de outros colegas para que analisem as respostas, aprendam e proponham novos caminhos para as soluções. Está deve configurar-se como uma atividade de colaboração e complementação de informações. A negociação de significados passa pelo processo de reflexão e internalização dos conceitos e fenômenos estudados.
		13. <i>Nova fase de organização do conhecimento</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Organizar o conhecimento levando em consideração o processo de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. O professor deve atuar de forma mais tradicional, trabalhando o conteúdo de forma expositiva. Ele vai centralizar as ações do processo de construção do conhecimento. Ele deve trabalhar o conteúdo partindo de conceitos mais gerais até os mais específicos para ajudar as equipes a superarem os obstáculos que dificultam o processo de assimilação e retenção significativa.
		14. <i>Planejamento para produção de estrofes com versos de cordel e tirinhas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Estimular a produção de versos de cordel e tirinhas. O professor deve dividir os tópicos principais do conteúdo, aqueles que envolvem conceitos e fenômenos quânticos na matéria de estudo, e propor que

			cada equipe faça a contextualização do conteúdo produzindo cordéis e tirinha.
QUINTO E SEXTO ENCONTRO	<ul style="list-style-type: none"> • Estimular a criatividade e capacidade imaginativa dos discentes; • Promover a capacidade de diálogo e comunicação de conceitos e fenômenos; • Avaliar a aprendizagem. 	<i>15. Apresentações dos versos de cordel e tirinhas produzidas pelas equipes</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar o processo internalização de conceitos e desenvolvimento da capacidade criativa e imaginativa dos discentes pelo processo de produção artística envolvendo a descrição de conteúdo.

Fonte: autor.

CAPÍTULO 5: INTERVENÇÃO PEDAGÓGICA E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo está descrito o processo de intervenção, com as etapas distribuídas em seis encontros. As atividades desenvolvidas ocorreram obedecendo a distribuição das aulas semanais de Física da turma, respeitando as etapas previstas na sequência de ensino descrita no quadro 1. Durante a descrição dos eventos que surgiram na intervenção, serão apresentados os resultados e uma respectiva análise dos mesmos.

5.1 O primeiro encontro

No primeiro encontro ocorreu as 3 etapas iniciais da sequência de ensino, dentro de um tempo correspondente a uma aula de 45 minutos. Inicialmente teve a apresentação da metodologia do processo de intervenção e da produção de estrofes de cordel com versos obedecendo à métrica sextilha. Em seguida, houve a apresentação de uma mídia sobre a utilização de quadrinhos em sala de aula. Na etapa seguinte teve a construção de um esquema conceitual para explanação de tópicos do conteúdo que envolve interpretações da Física clássica sobre o estudo da estrutura da matéria.

Os conceitos trabalhados inicialmente tiveram a intenção de enriquecer o cognitivo dos alunos, organizando as informações iniciais. Ou seja, foram informações repassadas como organizadores prévios para ao longo do processo de intervenção interagirem significativamente com os novos conceitos relacionados aos tópicos de Física Quântica ligados aos estudos da estrutura da matéria.

Na dinâmica de construção do esquema conceitual os próprios alunos indicaram palavras, conceitos, fenômenos, experiências, aplicações tecnológicas, fatos históricos e do cotidiano que tinham relação com o tema. Dessa forma, buscou-se levantar e coletar dados que possibilitassem um diagnóstico dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre o estudo do átomo e ao mesmo tempo introduzir aspectos gerais da teoria clássica que seriam importantes para a compreensão dos fenômenos quânticos a serem estudados em outro momento da experiência.

Na última etapa do primeiro encontro ocorreu a recitação da parte 1 da HQ, com ênfase nas rimas e explicando os principais tópicos do conteúdo de Física Clássica, ainda considerado uma preparação para se ter uma melhor compreensão do conteúdo que envolve as interpretações da mecânica quântica dos fenômenos do comportamento da estrutura da matéria.

Apresentação da proposta

A sequência de ensino teve início com a apresentação do cronograma de atividades e da metodologia de aplicação do produto. As atividades foram desenvolvidas em 1 aula de 45 minutos. Foi no primeiro encontro que a turma tomou conhecimento do planejamento e do método de ensino com o uso da HQ “*Os moidos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico*” em sala de aula, esclarecendo-se que tal ferramenta pedagógica está escrita em versos de cordel e apresenta ilustrações típicas de quadrinhos, na perspectiva de contextualizar o conteúdo e facilitar sua compreensão. Os discentes também tiveram conhecimento que a história em quadrinho utilizada neste trabalho é produto de uma pesquisa de mestrado, desenvolvida na perspectiva de auxiliar o ensino de Tópicos de Física Quântica. Aqui falou-se um pouco como se deu a construção do quadrinho e sobre os principais assuntos que ela aborda. Dessa forma, os alunos tiveram a primeira ideia de como os eventos e conceitos seriam estudados.

Durante a apresentação da metodologia de trabalho, os discentes tiveram ciência que em determinado momento da sequência iriam produzir e apresentar tirinhas e/ou versos de cordel sobre tópicos do conteúdo estudado. Nesse sentido, foi necessário apresentar para eles algumas explicações sobre a rima e métrica presentes em versos que constituem as estrofes do cordel e também algumas características peculiares da arte dos quadrinhos.

Diante da perspectiva de pautar o trabalho na temática de estímulo ao desenvolvimento da criatividade e capacidade imaginativa dos estudantes, ensinando Física diante de um contexto artístico cultural, foi apresentado para a turma métodos de elaboração dos versos rimados de cordel na métrica sextilha.

Coincidentemente, a intervenção teve início durante a semana que comemorava o dia do nordestino. Então, diante do sentimento de identidade, foram trabalhados com os alunos versos e estrofes de cordel que retratam alguns costumes e características peculiares da região nordeste e do homem nordestino. Foram recitados os seguintes versos:

*Eu amo o nordeste
Aqui é o meu lugar
Posso até ir lá fora
Mas ligeiro irei voltar
Pra matar a saudade
Dos amores que ficar*

*Tem a cabocla e a morena
Formosuras do Sertão
Nosso rei canta o xote
E cordel tem tradição
A felicidade e poesia
Encantam o São João*

*Ser nordestino é orgulho
E jamais será defeito
Aqui tem povo honrado,
Que merece mais respeito
Falar mal do meu sotaque
É burrice, preconceito*

S. Feitosa

Um dos alunos da turma se dispôs a recitar parte dos versos elaborados em homenagem ao dia do nordestino. Surpreendentemente, a recitação foi empolgante, destacando as rimas. Empolgada com a atividade, a turma aplaudiu a recitação com bastante entusiasmo. Em seguida ocorreram as devidas explicações sobre o método de desenvolvimento de estrofes com versos de cordel na métrica sextilha.

Ao final dessa parte ainda foi reforçado para os estudantes que durante alguma etapa da sequência de ensino eles iriam elaborar versos sobre o conteúdo estudado. Motivado por tal atividade, um dos alunos da turma também perguntou sobre o cordel construído com rimas em quadra. Após a explicação sobre a rima, métrica e construção da estrofe em quadra, esta etapa da sequência de ensino foi concluída.

Para tratar da arte dos quadrinhos houve a apresentação da mídia *“Saiba a diferença entre quadrinhos, tirinhas, cartum, charge e caricatura”*. O vídeo é uma reportagem da TV Pernambuco, que data de 27/10/2016, no qual a Professora Fernanda Bérغامo explica as características dos gêneros que aparecem no título da reportagem. Ela também destaca a riqueza com que os diversos estilos aparecem no formato de quadrinhos, podendo ser trabalhados em sala de aula.

Na reportagem há a participação de Alexandre Beck, criador do personagem Armandinho, que aborda temas educacionais no contexto de tirinhas, afirmando que *“...aprender tem que ser uma coisa divertida. A nossa língua é um bocado complicada. Então quando a gente consegue juntar meios pra gente ter prazer com aquele aprendizado a coisa funciona muito melhor.”*

Explicou-se para os alunos que a proposta de ensinar temas de Física Quântica através de quadrinhos também busca tornar o ensino de Física mais divertido, tentando facilitar a compreensão do conteúdo dentro de uma estratégia que desvincule o conteúdo de Física do excesso de cálculos. Ficou claro que a ferramenta pedagógica seria o principal recurso didático nas atividades da sequência de ensino, buscando explicar os eventos e fenômenos científicos em rimas dos versos de cordel e em ilustrações da arte gráfica dos quadrinhos.

A turma também tomou conhecimento que a história em quadrinhos *“Os moídos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico”* apresentaria o conteúdo em dois momentos. Na primeira parte ela abordaria as explicações da Física Clássica sobre a natureza do átomo, o comportamento de suas partículas e as limitações dessas teorias para descrever os fenômenos. A segunda parte do quadrinho apresentaria o surgimento das primeiras ideias quânticas tentando descrever os fenômenos atômicos.

Diante da expectativa de estudar temas da Física dentro do universo da arte dos quadrinhos, uma aluna fez o seguinte comentário: “*Que bom, pois Física é uma matéria muito difícil*”. Isso evidencia a dificuldade que alguns alunos para compreender a linguagem científica tradicional presente na maioria dos livros didáticos e textos científicos, necessitando de diversidades de alternativas para ter uma melhor compreensão dessa Ciência.

Para exemplificar o uso da arte dos quadrinhos no ensino de Física ocorreu a apresentação de uma tirinha com gato Garfield. Na tirinha aparecem dois personagens dentro de um pequeno texto abordando grandezas como massa, força peso e gravidade através de um contexto irônico e engraçado. Ao final da leitura e interpretação da tirinha foi possível identificar as gargalhadas de alguns alunos, envolvidos pelo enredo da mesma.

Esquema conceitual para trabalhar o conteúdo presente na parte 1 da HQ

Após os devidos esclarecimentos sobre os objetivos da pesquisa e sobre a natureza da metodologia de desenvolvimento das aulas, teve início a construção de um esquema conceitual. Essa dinâmica possibilitou fazer um levantamento dos conhecimentos prévios dos discentes que possibilitou ter um diagnóstico do grau de conhecimento da turma a respeito do tema.

Os estudantes tiveram liberdade de expor o que sabiam sobre o conteúdo, após serem provocados por perguntas introdutórias. A participação de cada discente, para as questões, conceitos, fenômenos colocados foram escritos no quadro, introduzindo aspectos gerais do conteúdo.

Para a construção do esquema conceitual foram colocadas algumas perguntas introdutórias, que aparecem listadas abaixo junto com as respostas da turma:

Quadro 2 - Primeiro esquema conceitual

<u>PERGUNTAS</u>	<u>RESPOSTAS</u>
O que vocês entendem e imaginam quando se fala sobre o átomo?	<ul style="list-style-type: none"> • “<i>Não se divide</i>”; • <i>Menor partícula</i>; • <i>Quando falam no átomo eu sempre lembro do professor de química</i>; • <i>Eu lembro do modelo atômico que é uma bola só</i>;
O átomo é a menor parte da matéria ou com o tempo surgiram indícios de partículas menores que o constituíam?	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Tem um modelo que tem uma bola e elétrons</i>; • <i>Os elétrons surgiram depois do átomo</i>;
Qual foi a primeira partícula constituinte do átomo a ser descoberta? Qual a natureza da sua	<ul style="list-style-type: none"> • <i>O elétron</i> • <i>Os elétrons têm carga negativa</i>

carga? A partir de qual experiência os cientistas suspeitaram de sua existência?	
Como surgiram as ideias da existência de um núcleo atômico? Qual experimento trouxe indícios de sua existência?	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Surgiu um modelo que tem prótons, nêutrons e elétrons</i>

Fonte: autor.

As respostas dos alunos apresentam uma relação geral, mesmo que superficial, com o tema a ser estudado. Elas não se caracterizam como informações detalhadas e específicas do conteúdo, porém demonstram que há subsunçores na estrutura cognitiva dos estudantes que podem servir de ponte cognitiva para se construir uma assimilação e retenção de novos significados.

As afirmações por parte dos alunos não citam épocas, episódios históricos, nome de cientistas, experimentos e experiências científicas que contribuíram com o desenvolvimento da compreensão da estrutura da matéria pela evolução dos modelos atômicos. Porém algumas respostas colocadas na construção do esquema conceitual remetem a experiências e ideias científicas que contribuíram para uma melhor compreensão da natureza atômica. Esse é um fator muito relevante para o processo de ensino-aprendizagem, pois o primeiro princípio que norteia a UEPS, em Moreira (2011, p. 44), diz que “*o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa (Ausubel)*;”. Dessa forma é importante destacar que tal dinâmica conseguiu levar os alunos a externalizarem alguns dos seus conhecimentos prévios. Então, o esquema conceitual permitiu apresentar informações prévias do conteúdo que interagiram com a estrutura cognitiva dos estudantes.

Com as duas etapas descritas acima, definiu-se junto aos discentes os tópicos de estudo e a metodologia de ensino. Além disso, através do esquema conceitual, foi possível realizar uma apresentação de tópicos gerais, envolvendo aspectos históricos, conceitos e fenômenos da teoria clássica do átomo, que serão importantes para o estudo da mecânica quântica. As informações levantadas, ao interagirem com a estrutura cognitiva dos estudantes, teve o intuito de subsidiar a compreensão dos assuntos mais abstratos que serão estudados em etapas seguintes do processo de intervenção. Com essas dinâmicas descritas acima também foi possível fazer um diagnóstico preliminar do grau de conhecimento da turma a respeito do tema de estudo.

Identifica-se uma aproximação das atividades realizadas acima com o que Moreira (2011) propõe no primeiro e segundo tópico dos aspectos sequenciais da UEPS. Houve a definição do que se vai ensinar e também ocorreu o desenvolvimento de uma atividade que possibilitou os alunos externalizarem seus conhecimentos prévios. Então, traçando

um paralelo entre a Sequência de Ensino desenvolvida neste trabalho e a UEPS, é possível afirmar que tais aspectos foram perfeitamente contemplados nos métodos aqui desenvolvidos. Moreira (2011, p. 45) apresenta:

1. definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
2. criar/propor situação(ões) – discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;

Recitação da HQ parte 1 – Física Clássica

Após a construção do esquema conceitual ocorreu a recitação dos versos de cordel presentes na parte 1 do quadrinho. Ainda trabalhando os subsídios, apresentando conceitos e eventos clássicos importantes para a compreensão dos tópicos de Física Quântica, esta etapa buscou enfatizar acontecimentos históricos que deram significado ao surgimento da teoria quântica do átomo, que é o principal assunto a ser apreendido.

Cada aluno recebeu uma versão impressa do quadrinho e acompanhavam a recitação atentamente. Aspectos relevantes desta etapa do conteúdo, como o surgimento de modelos atômicos, a descoberta do elétron e do núcleo atômico, foram relacionados às respostas que os alunos tinham dado durante a construção do esquema conceitual. Assim foi possível aproximar os conceitos fundamentais, fatos históricos e experiências científicas com os conhecimentos prévios dos estudantes, provocando uma interação da nova informação com as informações prévias existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Sobre o papel da recitação Nobre (2017, p. 132) afirma que:

É importante entendermos a importância da leitura declamada em voz alta, pois a rima e a declamação eram e ainda são táticas dos poetas cantadores e cordelistas para que suas histórias, suas notícias, seus romances, etc, sejam assimiladas pelos ouvintes. O declamar em sala, como os poetas fazem, é essencial na utilização dos *folhetos* como ferramenta didática, e é parte crucial da sequência de ensino proposta, pois a alma do *folheto* é a sua **declamação** em voz alta, e não somente a leitura pura e simples.

Foi perceptível o envolvimento da turma com a recitação dos versos, identificando-se com o linguajar, pois as palavras que apareciam nos versos descrevendo os conceitos e eventos históricos eram mais próximas do linguajar cotidiano deles. Quando oportuno, após a recitação de algumas estrofes, eram explicados alguns fenômenos e conceitos, ajudando os alunos a interpretarem os versos de cordel e as ilustrações da HQ.

Ao final da recitação a turma aplaudiu a atividade. A participação e o envolvimento dos discentes, devido ao aspecto lúdico da atividade, promoveu o que Moreira (2011) chama de predisposição para aprender. De acordo com o autor, esse é um dos princípios que norteia o desenvolvimento de uma UEPS, pois “*é o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento (Ausubel; Gowin)*”. (Moreira, 2011, p. 44)

Nesse sentido, a dinâmica de construção do Cordel, a apresentação das características da arte dos quadrinhos, a participação dos estudantes na construção do esquema conceitual e a recitação dos aspectos introdutórios do conteúdo na recitação do cordel, promoveram uma maior integração dos alunos com o tema, fortalecendo a predisposição para aprender.

Finalizando o primeiro encontro foi explicado para os alunos a dinâmica de atividades que seriam desenvolvidas no encontro seguinte, através de uma dinâmica de resolução de situações-problemas relativas a interpretação do conteúdo.

5.2 O segundo encontro

O segundo encontro se desenvolveu em duas aulas de 45 minutos, no qual ocorreu uma reflexão dos principais tópicos visto na recitação da parte 1 da HQ. Aqui foram apresentados situações-problemas sobre o conteúdo e em seguida ocorreu uma dinâmica de atividade coletiva e colaborativa para resolver os problemas. Já na última fase do encontro houve a etapa de organização do conhecimento, com o processo de ensino típico de aula expositiva com os alunos recebendo as informações. Isso ocorreu na perspectiva de organizar os conceitos e informações trabalhadas ao longo da aula, após o acompanhamento de atividades centradas nas ações dos alunos.

Para o trabalho de resolução das situações-problemas em equipe, a turma de 23 alunos foi dividida em 4 grupos, nomeadas por **A**, **B**, **C** e **D**. Foram trabalhadas 5 situações-problemas abordando aspectos históricos, conceitos e experiências científicas que contribuíram para a interpretação da teoria clássica do átomo. Tais questões são uma preparação para o estudo dos tópicos da teoria quântica do átomo. A compreensão do desenvolvimento de teorias a respeito da estrutura da matéria servem de subsídios para que o aluno aprofunde o entendimento de conceitos e fenômenos mais abstratos trabalhados na Física Quântica.

A HQ foi construída de forma didática, abordando inicialmente os aspectos históricos sobre o desenvolvimento dos modelos atômicos explicados no âmbito da teoria clássica. As contribuições científicas deixadas por esse contexto histórico têm relevância contribuição para a compreensão do surgimento da Teoria Quântica do átomo. Foi estratégico iniciar o trabalho do conteúdo, através de situações-problemas, abordando os principais eventos e experiências relacionados ao desenvolvimento da teoria clássica do átomo.

O trabalho com situações-problemas teve a intenção de exigir dos alunos uma postura investigativa e reflexiva na construção do conhecimento, discutindo e desenvolvendo caminhos para as soluções. Moreira (2011, p. 44) afirma que “*são as situações-problema que dão sentido a novos conhecimentos (Vergnaud); elas devem ser criadas para despertar a intencionalidade do aluno para aprendizagem significativa.*” É importante perceber que as situações-problemas são utilizadas neste trabalho como mecanismo central para a apropriação de conceitos no processo de ensino-aprendizagem.

A primeira parte da história em quadrinho apresenta uma preparação para aquilo que se pretende ensinar. Entender os aspectos mais relevantes da teoria clássica do átomo, e suas respectivas limitações, é fundamental para se ter uma melhor compreensão do surgimento da teoria quântica. Neste sentido, as situações-problemas trabalhadas nesta fase da sequência tinham um nível introdutório de ideias e conceitos, se aproximando do aspecto sequencial 3 da UEPS proposta por Moreira (2011, p. 45), segundo a qual deve-se:

3. propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar; estas situações-problema podem envolver, desde já, o tópico em pauta, mas não para começar a ensiná-lo; tais situações-problema podem funcionar como organizador prévio; são as situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas, para isso, o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente; modelos mentais são funcionais para o aprendiz e resultam da percepção e de conhecimentos prévios (invariantes operatórios); estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc., mas sempre de modo acessível e problemático, i.e., não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo;

Apresentação das situações-problemas relacionadas à parte 1 da HQ

Diante das considerações levantadas acima, as atividades do segundo encontro começaram com uma breve apresentação das situações-problemas para a turma. Vale

salientar que a dinâmica de apresentação dessas questões não se resumiu a uma leitura dos versos poéticos. O momento permitiu ao professor provocar nos alunos o aspecto investigativo e objetivo, destacando os tópicos mais relevantes para a construção das soluções.

Buscando soluções em equipe

Após as devidas considerações colocadas para cada situação-problema, as equipes começaram a leitura e debates, investigando caminhos para as soluções. O trabalho em equipe durou cerca de trinta e cinco minutos, com os alunos dialogando, pesquisando e refletindo sobre cada problema.

Tal dinâmica também buscou inspiração na sequência de ensino desenvolvida por Nobre (2015, 2017) para o trabalho com cordéis em sala de aula. Em seus trabalhos o autor propõe que as duas etapas iniciais da sequência de ensino sejam: apresentação da proposta e recitação do material com ênfase nas rimas dos versos. Para a terceira etapa ele sugere que o professor desenvolva alguma dinâmica na qual os alunos possam ler o texto rimado e interpretem as estrofes. Nobre (2017, p. 133) escreve:

A seguir, podemos dividir a turma em grupos de 2 a 4 estudantes, para que cada grupo leia, discuta e faça a interpretação de texto do folheto, em especial sob o aspecto científico. Aqui também, nos grupos, é necessário declamar cada estrofe, seguindo da discussão do conteúdo. É importante que se faça anotações sobre qual conhecimento o folheto aborda, além de observações dos próprios estudantes sobre o que entenderam e discordaram do assunto abordado. É sugerido que se faça a declamação, interpretação e as anotações estrofe por estrofe.

A busca por soluções coletivas exigiu dos discentes a interpretação do material que descrevia o conteúdo. As situações-problemas trabalhadas nessa etapa inicial de introdução da matéria de ensino foram justamente elaboradas de forma que exigiam dos alunos a leitura e interpretação dos versos de cordel e ilustrações presentes na história em quadrinhos.

Quando o fenômeno, evento ou experiência investigada exigia maiores abordagens, as questões traziam um pequeno texto em sua elaboração. Essa contextualização apresentava informações relevantes e complementares. Vale salientar que a HQ, principal ferramenta de ensino trabalhada com os alunos, não foi desenvolvida para aprofundar determinados tópicos do conteúdo, apresentando limitações em relação ao detalhamento de informações.

Ainda nesta etapa, algumas explicações sobre as questões facilitaram o entendimento dos grupos diante de dúvidas. As atividades precisaram ser acompanhadas de perto, pois em alguns momentos alunos ficaram dispersos ou apresentavam dificuldades para encontrar soluções. Nesses momentos eram realizadas pequenas interferências no diálogo entre os membros das equipes, com questionamento e ações que pudessem melhorar o andamento dos trabalhos.

Primeira atividade colaborativa

Após cerca de trinta e cinco minutos as equipes foram concluindo as primeiras propostas de soluções. Deu-se o início a atividade colaborativa, na qual cada grupo teve acesso ao trabalho de outros grupos. Foram orientados a analisar as atividades desenvolvidas pelos colegas para contribuir com sugestões e também complementarem seus trabalhos pelo raciocínio encontrados nas soluções dos colegas.

As equipes **A** e **D** trocaram os trabalhos entre si e alguns minutos depois as equipes **B** e **C** também realizaram a mesma dinâmica. Após uns 15 minutos de análises, com cada grupo questionando e tentando compreender e as soluções propostas pelos colegas, as equipes **B** e **D** também decidiram trocar os trabalhos para complementarem suas respostas.

Na atividade colaborativa houve o mínimo de interferência, sendo os diálogos e trocas de informações realizadas principalmente entre os discentes. Por iniciativas deles os grupos se reuniram e passaram refletir coletivamente sobre as questões.

Nesta dinâmica os membros das equipes se misturavam, faziam sugestões uns aos outros e questionavam as respostas dos colegas. Muitos tinham dúvidas quanto a caligrafia dos colegas e nem sempre conseguiam entender ou interpretar as soluções. Tal atividade estimulou o diálogo e isso foi fundamental para a construção coletiva de respostas para as questões.

Organizando o conhecimento para os conceitos iniciais

No segundo encontro foram realizadas 4 etapas da sequência de ensino: apresentação das situações-problemas, trabalho em equipe para propor soluções, atividade colaborativa de reconciliação de ideias e organização do conhecimento.

O tempo total da atividade colaborativa foi de aproximadamente 25 minutos. Era chegado o momento da etapa de organização do processo de assimilação e retenção de significados. Restavam 20 minutos para o término da aula quando os pontos mais

relevantes do conteúdo abordado na parte 1 da HQ e as dúvidas apresentadas pelos discentes foram esclarecidas.

Os quadros abaixo apresentam os resultados envolvendo as etapas citada. Elas descrevem as dúvidas das equipes durante a resolução das situações-problemas, as contribuições da atividade colaborativa enquanto os estudantes negociavam significados e também descrevem a proposta de soluções das equipes para as questões introdutórias do conteúdo. As soluções são fruto do trabalho em equipe, da atividade colaborativa e da etapa de organização do conhecimento.

O primeiro tópico trabalhado com os alunos foi a necessidade de compreensão das primeiras ideias tratando da existência do átomo.

Quadro 3 - Primeira situação-problema

1º SITUAÇÃO-PROBLEMA

As primeiras ideias tratando da existência de átomo, como partícula fundamental que constitui a matéria, surgiram na Grécia Antiga. Mesmo com as discussões atomistas vigentes ao longo dos séculos XVII e XVIII, somente no início do século XIX esse tema passou a adquirir o status de teoria científica. Foi através do trabalho de Dalton que surgiu a teoria atômica científica.

É importante ressaltar que o átomo grego não é um precursor do átomo de Dalton. A ideia de um átomo como a menor parte da matéria, discutida por Leucipo, Demócrito e Epicuro, no século V a.C., apresenta caráter intuitivo, especulativo e teórico. Já o atomismo de Dalton, que data de 1808, surge de evidências experimentais, com bases conceituais e epistemológicas típicas de uma teoria científica.

NA GRÉCIA ANTIGA COMEÇOU UMA REFLEXÃO PRÉVIA SOBRE A EXISTÊNCIA DO ÁTOMO QUE FORMA A MATÉRIA LEUCIPO, DEMÓCRITO E EPICURO COMEÇARAM COM ESSA IDEIA

A CIÊNCIA APROFUNDOU OS RUMOS DA DISCUSSÃO E CADA MODELO ATÔMICO TINHA UMA EXPLICAÇÃO DALTON ENTÃO PROPÔS O ÁTOMO SEM DIVISÃO

ESSE MACHO FOI O PRIMEIRO NA CIÊNCIA A DEFENDER O ÁTOMO COMO MENOR PARTÍCULA QUE A MATÉRIA PODE TER DESSE INGLÊS CABRA DA PESTE NÃO PODERÍAMOS ESQUECER

Diante do que foi colocado acima e de acordo com o quadrinho descreva as principais similaridades entre a ideia de átomo proposta pelos filósofos gregos e ao modelo atômico proposto por Dalton. Também explique em que sentido as ideias discutidas pelos atomistas gregos se diferem do que é apresentado no modelo atômico proposto por Dalton.

QUESTIONAMENTOS (DÚVIDAS) DAS EQUIPES

- “Professor a única coisa que Dalton mudou é porque ele fez experimentos e a similaridade é que o

átomo não seria divisível?”

- “Eu não estou encontrando nada diferente. Eu estou entendendo que os dois dizem que o átomo é uma partícula que faz parte da matéria.”
- O que é precursor?
- O que é caráter intuitivo?

SUGESTÕES DE UMA EQUIPE PARA A OUTRA NAS ATIVIDADES COLABORATIVAS

- “Faltou explicar melhor que Dalton criou um modelo atômico onde o átomo é uma esfera maciça.”
- “Dalton aprofundou as discussões e então propôs um átomo sem divisão, apenas Dalton, não os gregos.”

SOLUÇÕES

EQUIPE A

“Leucipo, Demócrito e Epicuro consideravam o átomo como menor partícula. Dalton também. A diferença é que Dalton ainda propôs um átomo que não se divide, além do mais, o atomismo de Dalton surtiu devido a evidências experimentais com bases conceituais epistemológicas de uma teoria científica. Já o atomismo grego apresentava apenas um caráter intuitivo, especulativo e teóricos sem fundamentos científicos.”

EQUIPE B

“Tanto os filósofos gregos como Dalton acreditavam que o átomo era a menor partícula da matéria. Porém os filósofos gregos baseavam suas ideias em especulações teóricas. Dalton se baseava em conceitos científicos, sendo proposto por ele um átomo como esfera maciça.”

EQUIPE C

“Leucipo, Demócrito e Epicuro, na Grécia antiga, partiram de uma ideia filosófica que o átomo seria feito de uma única partícula. A teoria do átomo proposto por Dalton também entendia o átomo como única partícula. A diferença entre os dois pensamentos é que Dalton partiu de uma tese científica para apresentar um átomo como esfera indivisível.”

EQUIPE D

“A similaridade é que as duas propostas dizem que o átomo é uma partícula que faz parte da matéria e é indivisível. A diferença é que Dalton aprofundou as discussões e então propôs um átomo sem divisão, onde se teve vários experimentos, diferente dos Gregos.”

Fonte: autor.

Durante a resolução das questões alguns alunos apresentaram dificuldades para compreender o significado de algumas palavras que aparecem nas situações-problema. Outros também não souberam interpretar que a diferença estava no método de construção do conhecimento. Porém, as dúvidas foram esclarecidas através do compartilhamento de informações entre as equipes. As soluções finais propostas evidenciam a superação das dificuldades.

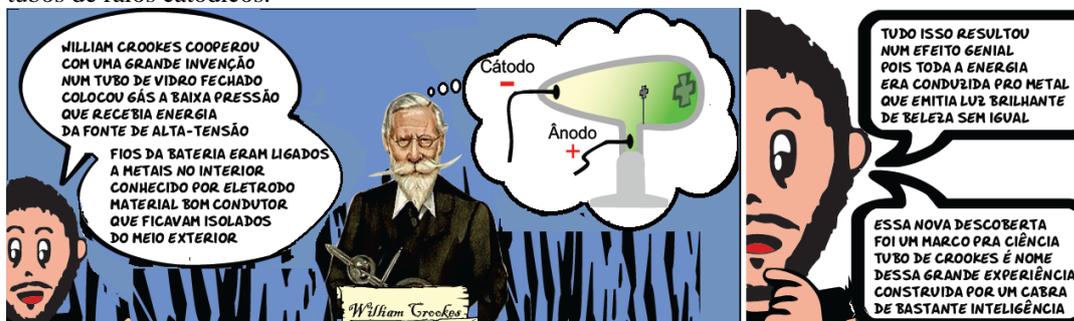
Já em relação à ideia do átomo indivisível, presente no pensamento grego e na teoria de Dalton, parece não ter sido completamente compreendido dentro dos membros da equipe **A**. Eles entenderam que o átomo representava a menor parte da matéria para ambos os pensamentos, porém apenas o modelo atômico de Dalton seria indivisível. Isso se evidencia quando a equipe propõe aos colegas que apenas na teoria de Dalton se acreditava na indivisibilidade do átomo.

A segunda questão abordava a contribuição do experimento de Willian Crookes para a descoberta o elétron e qual foi o procedimento experimental realizado por ele.

Quadro 4 - Segunda situação-problema

2º SITUAÇÃO-PROBLEMA

O século XIX chega ao fim com a constatação de que átomo não é o último limite de divisão da matéria. As primeiras indicações de que poderia haver partículas ainda menores na composição dos átomos foi obtido pelo cientista inglês William Crookes, ao realizar descargas elétricas com baterias em tubos de raios catódicos.



Descreva o material utilizado por William Crookes para realizar suas experiências em tubos de vidros e explique o procedimento experimental realizado por ele. Em seguida fale qual foi o efeito provocado por esse experimento e o que os resultados indicavam.

SUGESTÕES DE UMA EQUIPE PARA A OUTRA NAS ATIVIDADES COLABORATIVAS

- “Pode explicar melhor o experimento de Crookes?”
- “A luz vinha do metal ou do gás?”

SUGESTÕES DAS ATIVIDADES COLABORATIVAS

- “A luz brilhante não era do metal. Era do gás.”
- “Falto falar do material e do experimento de Crookes.”

SOLUÇÕES

EQUIPE A

“Materiais: Tubo de vidro fechado, gás com pressão pequena, fonte de alta tensão, fios da bateria.

Procedimento: criou um tubo de vidro fechado e colocou gás a baixa pressão. Depois forneceu energia da fonte de alta tensão através de fios que eram ligados a metais no interior do tubo, conhecidos como eletrodos.

Efeito: quando a energia era conduzida para o metal dentro do tubo, surgiam luz brilhante no gás.

Resultado: Poderia haver partículas ainda menores na composição do átomo.”

EQUIPE B

“Gás a baixa pressão que recebia energia da fonte de alta tensão por fios da bateria que eram ligados a metais condutores que ficavam isolados do meio exterior. Toda a energia era conduzida pro metal e o gás emitia luz.

EQUIPE C

“No final do século XIV foi constatado que o átomo não seria o último limite de divisão da matéria. Os primeiros indícios surgiram no experimento de William Crookes. Onde ao colocar gás a baixa pressão em um tubo de vidro e dá uma descarga elétrica com energia conduzida para o metal resultava em uma luz.

EQUIPE D

“Materiais: um tubo de vidro, gás a baixa pressão e uma fonte de alta tensão. O procedimento começou quando William pegou um tubo de vidro fechado e dentro dele colocou gás a baixa pressão. Forneceu energia para ele com uma fonte de alta tensão. Os fios da bateria eram ligados a metais no interior, chamados de eletrodos. Quando a energia era conduzida para o metal surgia no tubo uma luz brilhante.”

Fonte: autor.

Parte da turma não compreendeu o experimento realizado por Crookes nas primeiras leituras e logo buscaram explicações prontas para isso. No entanto, a ideia de trabalhar situações-problemas é de fazer os discentes refletirem sobre os problemas,

evitando a busca por respostas prontas para as questões. Então os discentes foram orientados a reler a história em quadrinhos para interpretar os fenômenos.

Então uma estratégia utilizada nas aulas foi sempre perguntar aos alunos que apresentavam dúvidas o que eles já tinham entendido sobre a questão. Assim todos na equipe passaram a refletir e contribuir passo a passo as soluções, sem se preocupar com a resposta pronta. Era preciso que eles se atentassem a compreensão do fenômeno.

Uma das equipes não conseguiu identificar na leitura da questão 2, se a luz era proveniente do metal que recebia a descarga elétrica ou se o efeito era provocado pela existência do gás no tubo. Com as dúvidas sanadas no compartilhamento de ideias e com etapa de organização do conhecimento, todas as equipes desenvolveram soluções coerentes com o que se investigava no problema.

A terceira questão exigia dos alunos a compreensão da importância do trabalho de Thomson para o desenvolvimento da compreensão da estrutura da matéria.

Quadro 5 - Terceira situação-problema

3º SITUAÇÃO-PROBLEMA

Em 1897 Joseph John Thomson (1856-1940) fez um relato das suas investigações com descargas elétricas em tubos de raios catódicos. Na época haviam divergências quanto a natureza dos raios catódicos. Alguns acreditavam que eram um tipo de onda, outros acreditavam que os raios catódicos eram compostos por partículas. Depois de realizar algumas mudanças no experimento de William Crookes, o físico britânico Joseph John Thomson conseguiu determinar uma relação entre a carga e a massa dos raios catódicos. Então ele concluiu que se tratava de partículas carregadas.

Thomson ainda verificou que esses corpúsculos carregados eletricamente eram exatamente os mesmos, quaisquer que fossem os elementos do catodo, do anodo e do gás dentro do tubo. Então ele demonstrou empiricamente, que os raios catódicos seriam formados por constituintes universais de matéria, ou seja, mostrou que o átomo não é indivisível e tem partículas menores.



A seguir explique qual a partícula descoberta por Thomson e a natureza da sua carga. Descreva o modelo atômico proposto por Joseph John Thomson.

QUESTIONAMENTOS (DÚVIDAS) DAS EQUIPES

- "Professor é pra explicar o modelo atômico de Thomson? Como assim?"
- "Foi efeito do gás com a energia que se descobriu o elétron?"
- "O átomo que ele imaginou é uma esfera positiva que tinha elétrons dentro dela e que tem cargas

<p><i>negativas?”</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>“Professor o que é incrustada?”</i>
<p><u>SUGESTÕES DE UMA EQUIPE PARA A OUTRA NAS ATIVIDADES COLABORATIVAS</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>“Foi o elétron encontrado por Thomson e não o próton.”</i> • <i>“Faltou explicar porque as cargas emitiram luz.”</i> • <i>“Faltou explicar que relação carga massa se mantinha trocando o cátodo, o ânodo e o gás, mostrando que as cargas viriam do átomo, que é a matéria básica.”</i> • <i>“Era bom ter falado em relação aos elétrons no início, por ser a partícula descoberta por Thomson.”</i> • <i>“Faltou discutir a descoberta da partícula.”</i>
<p style="text-align: center;"><u>SOLUÇÕES</u></p> <p><u>EQUIPE A</u></p> <p><i>“Ele descobriu uma relação entre carga e massa dos raios catódicos. Depois de repetir várias vezes o experimento, Thomson afirmou que os raios tinham carga negativa e que o átomo era divisível. O átomo tinha carga positiva para atrair os elétrons e manter eles unidos com cargas elétrica compatíveis. Como os opostos se atraem, para manter os elétrons unidos, imaginou uma esfera positiva.”</i></p> <p><u>EQUIPE B</u></p> <p><i>“A partícula descoberta por Thomson foi o elétron, que tem cargas negativas. O modelo proposto por ele era uma esfera positiva incrustada por elétrons ao seu redor.”</i></p> <p><u>EQUIPE C</u></p> <p><i>“Após grande discussão entre cientistas sobre a origem da luz que surgia no experimento de William Crookes, Thomson constata que mesmo mudando o gás a baixa pressão, o cátodo e o ânodo não alteram o resultado do experimento. Ele percebe então que a partícula estava na base da matéria, ou seja, era do átomo. Ele propôs um modelo como uma esfera positiva e elétrons negativos presos a ele.”</i></p> <p><u>EQUIPE D</u></p> <p><i>“Thomson, ao repetir o experimento anteriormente descrito, descobriu que os raios de luz tinham carga negativa. Para ele o átomo não era mais indivisível, então propôs um modelo novo, onde fossem incluídas cargas elétricas de maneira compatível. Então ele imaginou uma esfera positiva e maciça com elétrons com carga negativa incrustados nela.”</i></p>

Fonte: autor.

Uma das equipes ficou confusa durante a resolução da questão colocada acima e chegou a escrever que a partícula descoberta por Thomson foi o próton. No entanto, durante a atividade colaborativa outra equipe explicou que os estudos de Thomson levaram a confirmação da existência do elétron.

A quarta situação-problema está relacionada ao experimento da folha de ouro realizado por Rutherford, exigindo das equipes o entendimento do processo experimental e as consequências do resultado dessa experiência para o desenvolvimento dos modelos atômicos.

Quadro 6 - Quarta situação-problema

<p>4º SITUAÇÃO-PROBLEMA</p> <p>Em 1911, através do conhecido experimento da folha de ouro, Rutherford deu uma grande contribuição para a Física de Partículas Experimental. Ele fez incidir um feixe de partículas α (alfa) sobre uma lâmina de ouro no laboratório. Os resultados de suas experiências o levaram a propor um novo modelo atômico.</p>

PRA EXPLICAR O ÁTOMO FORAM MUITAS TENTATIVAS DIVIDINDO-O EM PARTÍCULAS POSITIVAS E NEGATIVAS VÁRIOS MODELOS ATÔMICOS COM IDEIAS CONSTRUTIVAS

MAS UM NOVO EXPERIMENTO QUE EMITIA RADIAÇÃO TRILHOU O CAMINHO PARA OUTRA EXPLICAÇÃO FOLHA DE OURO É O NOME DESSA GRANDE INVENÇÃO

DELE SURTIU O NÚCLEO DE MANEIRA DECISIVA CONTRIBUIÇÃO DE RUTHERFORD USANDO FONTE RADIOATIVA QUE EMITIAM RAIOS ALFA QUE TEM CARGA POSITIVA

ESSE TAL DE RUTHERFORD ERA UM MATUTO INTELIGENTE USOU AS PARTÍCULAS ALFA COMO UM RAIOS INCIDENTE NUMA FINA LÂMINA DE OURO ISSO TEVE EFEITO PERTINENTE

PARTES DO RAIOS DE PARTÍCULAS CONSEGUIU ATRAVESSAR OUTRO TANTO ATÉ PASSOU MAS TEVE O EFEITO DE DESVIAR TEVE RAIOS QUE REFLETIU APÓS BATER E VOLTAR

A EXISTÊNCIA DE UM NÚCLEO FOI ENTÃO EVIDENCIADA POIS AS PARTÍCULAS RADIOATIVAS AO SEREM DIRECIONADAS PARA UMA FINA LÂMINA DE OURO FORAM EM PARTE ESPALHADA.

O ESPALHAMENTO OCORREU DEVIDO A COLISÃO DA RADIAÇÃO COM O NÚCLEO NUMA GRANDE INTERAÇÃO DAS PARTÍCULAS RADIOATIVAS COM AQUELA REGIÃO

UM ÁTOMO COM NÚCLEO RUTHERFORD IMAGINOU NA REGIÃO CENTRAL MAIOR MASSA INDICOU AO REDOR GIRAM ELÉTRONS ASSIM ELE EXPLICOU

Baseado nas informações acima resolva os tópicos a seguir:

- Descreva o experimento da folha de ouro realizada por Rutherford.
- O que os resultados dessa experiência indicaram?
- Explique o modelo atômico proposto por Rutherford.

QUESTIONAMENTOS (DÚVIDAS) DAS EQUIPES

- “O que são partículas radioativas?”
- “É para explicar como os elétrons estão nele?”
- “Os raios se desviaram porquê? Desviaram porque bateram no núcleo?”
- “Nenhum atravessou reto?”

SUGESTÕES DE UMA EQUIPE PARA A OUTRA NAS ATIVIDADES COLABORATIVAS

- “Faltou falar sobre a descoberta da partícula.”
- “Elétrons que giravam ao redor do núcleo, pois falar de elétrons no átomo remete que eles estão parados, mas não estão.”

SOLUÇÕES

EQUIPE A

- Materiais:** bloco de chumbo, polônio, lâmina de ouro e sulfeto de zinco;
Como ocorreu: ele fez incidir um feixe de partículas alfa (α) sobre uma lâmina de ouro. O raio incidente se espalhou;
- A existência de um núcleo foi então evidenciada, pois as partículas radioativas, ao serem direcionadas para a lâmina, foram espalhadas;
- Ele imaginou um átomo com núcleo na região central que tem maior massa com elétrons girando ao redor.

EQUIPE B

- Usava-se fonte radioativa que emitiam raios alfa de carga positiva, usando as partículas alfa como raio incidente em uma fina lâmina de ouro, onde parte dos raios atravessaram e outras desviaram ou refletiram;
- O resultado foi a descoberta do núcleo no átomo;
- Consistia em que o átomo era composto por um núcleo e ao seu redor giravam os elétrons.

EQUIPE C

- Rutherford jogou um feixe de luz com radiação alfa em uma lâmina de ouro rodeada por um bloco de sulfeto de zinco.
- O feixe de luz da radiação em parte seguia e parte desviou, levando a conclusão da existência de um núcleo.

c) Rutherford sugeriu então um modelo atômico onde existia um núcleo de maior massa no centro e elétrons em movimento ao redor dele.

EQUIPE D

a) Usou as partículas alfa como um raio incidente numa fina lâmina de ouro, isso provocou um efeito pertinente, parte do raio de partículas conseguiu atravessar, outra parte até passou mas teve o efeito de desviar, teve raio que refletiu após bater e voltar.

b) As partículas foram lançadas na lâmina de ouro e se espalharam quando entraram em contato com o núcleo.

c) Um átomo com núcleo localizado na região central de maior massa com elétrons girando ao redor.

Fonte: autor.

Em nenhum momento as equipes tiveram dificuldades para compreender o trabalho desenvolvido por Rutherford. Mesmo as dúvidas e sugestões que surgiram nesta questão foram no sentido de complementar as soluções, ou seja, elas não apresentavam contradição quanto aos conceitos e fenômenos investigados.

A quinta questão elaborada para as equipes refletirem aborda as limitações da Física clássica para explicar os fenômenos relacionados à estrutura da matéria, através das inconsistências do modelo atômico proposto por Rutherford.

Quadro 7 - Quinta situação-problema

5º SITUAÇÃO PROBLEMA

Mesmo após as descobertas de Rutherford não foi possível resolver o problema da estabilidade do átomo. Logo se percebeu que o modelo de Rutherford apresentava inconsistências impossíveis de serem explicadas pelas teorias da Física Clássica.

ISSO ENTÃO PROVOCOU UMA GRANDE CONFUSÃO POIS A FÍSICA CLÁSSICA TINHA UMA EXPLICAÇÃO QUE CARGAS EM MOVIMENTO EMITIAM RADIAÇÃO

OS ELÉTRONS ACELERADOS DEVERIAM IRRADIAR UMA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA NO MOVIMENTO CIRCULAR EMITIDA CONTINUAMENTE ATÉ ELE COM O NÚCLEO SE CHOCAR

ENERGIA ↑

e^-

O MODELO DE RUTHERFORD PARECIA INCONSISTENTE ENTÃO FOI NECESSÁRIO EXPLICAÇÃO MAIS COERENTE AOS POUCOS FOI SURGINDO UMA FÍSICA DIFERENTE

NAQUELE REBULIÇO POR UMA NOVA EXPLICAÇÃO OS CIENTISTAS INICIAVAM UMA GRANDE DISCUSSÃO SOBRE ESTRUTURA DA MATÉRIA QUAL SERIA A SOLUÇÃO?

SE O ELÉTRON SÓ GIRAVA SEM PERDER SUA ENERGIA ENTÃO SEU MOVIMENTO RADIAÇÃO NÃO EMITIA E AS LEIS DA FÍSICA CLÁSSICA PARA O ÁTOMO NÃO VALERIA

COM O NÚCLEO POSITIVO E ELÉTRONS AO REDOR FOI A VEZ DE UM CABÓCO CONHECIDO POR NIELS BOHR USA A TEORIA QUÂNTICA E EXPLICAR TUDO MELHOR

Explique as inconsistências que o modelo atômico proposto por Rutherford apresenta quando tentamos explicar o átomo através da teoria clássica.

QUESTIONAMENTOS (DÚVIDAS) DAS EQUIPES

“A inconsistência é que na teoria da Física clássica quando cargas entram em movimento gerava radiação nos átomos e os elétrons deveriam se chocar com o núcleo?”

SUGESTÕES DE UMA EQUIPE PARA A OUTRA NAS ATIVIDADES COLABORATIVAS

- *“Emitem luz por os elétrons estarem acelerados. Por estarem em movimento vão perdendo energia e choca-se ao núcleo.”*

SOLUÇÕES

EQUIPE A

“A inconsistência que aparecia é porque os elétrons acelerados deveriam irradiar uma radiação eletromagnética no seu movimento circular, emitindo radiação constantemente até com o núcleo se chocar.”

EQUIPE B

“Ao dizer que os elétrons giram ao redor do núcleo, essas partículas deveriam irradiar uma radiação eletromagnética e assim perder energia até se chocar com o núcleo. Mas isso não acontecia.”

EQUIPE C

“O modelo atômico de Rutherford era inconsistente. Os elétrons ao perder energia iriam se chocar com o núcleo, pois emitiam luz por estarem acelerados. Por estarem em movimento circular iria ter um momento em que iria perder energia e chocar-se ao núcleo.”

EQUIPE D

“A Física clássica explica que carga em movimento transmitiam radiação, mas se o elétron só girava sem perder sua energia, então o seu movimento radiação não emitia o que fazia com que as leis da Física clássica não valer.”

Fonte: autor.

Mesmo diante de uma questão ou problema que exigia um maior grau de compreensão da teoria clássica, na qual as cargas aceleradas emitem radiação, os grupos construíram soluções coerentes com o que se exigia. Apenas a equipe **D** demonstrou maior dificuldade para articular palavras na sua proposta de solução e acabou repetindo parte do texto que estava descrito na HQ. Porém, mesmo diante disso fica confirmada a correta interpretação dos versos presentes na ferramenta de ensino.

Em concordância com a proposta metodológica do trabalho, segue abaixo uma análise quantitativa dos resultados apresentados na resolução das situações-problemas. As soluções propostas pelas equipes exibem diferentes níveis de compreensão e argumentação dos fenômenos. Diante disso foram adotados parâmetros para classificar tais respostas. A nota máxima será 5 e a mínima será 1, indicando soluções que podem ser classificadas como insatisfatório, regular, satisfatório, bom e excelente. Veja a seguir o cada nível de classificação indica:

- **EXCELENTE** – (NOTA 5) - as soluções apresentam plena compreensão dos fenômenos estudados, descrevendo-o detalhadamente em um contexto bem elaborado ou apresentando novos argumentos para explicar o problema.
- **BOM** – (NOTA 4) - solução é clara e completa, com conceitos apresentados de forma articulada e correta na resolução do problema.
- **SATISFATÓRIO** – (NOTA 3) - solução correta. Neste caso ela pode apresentar ausência de pequenas informações; reproduzir parte das estrofes da HQ, textos da

contextualização da questão ou as explicações do professor; apresentar pequenas confusões na descrição de conceitos.

- **REGULAR** – (NOTA 2) - a solução apresenta contexto com algumas informações corretas, mas apresenta incoerência no tratamento de conceitos e na descrição de fenômenos.
- **INSATISFATÓRIO** – (NOTA 1) – solução errada, demonstrando incompreensão do fenômeno estudo.

Veja abaixo os gráficos indicando o nível de classificação das soluções propostas pelas equipes para cada situação problema trabalhada.

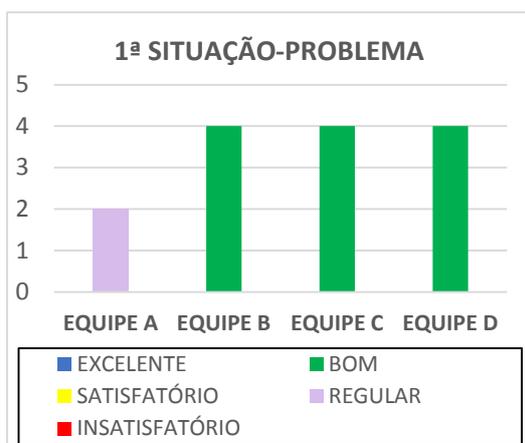


Gráfico 1 – Classificação das soluções para a 1ª situação-problema. Fonte: autor.

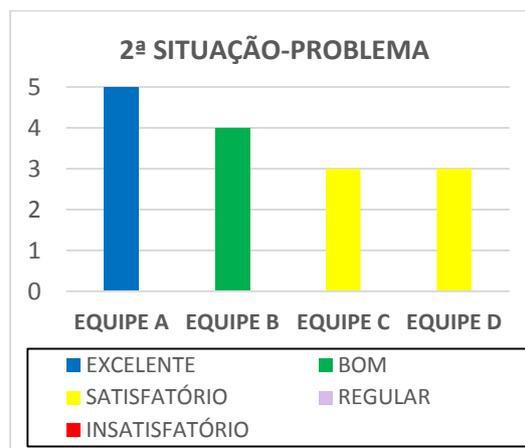


Gráfico 2 – Classificação das soluções para a 2ª situação-problema. Fonte: autor.

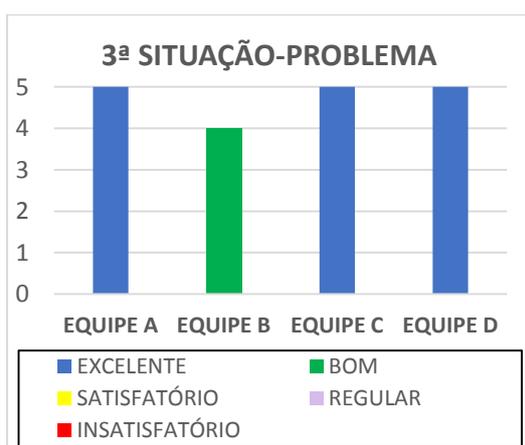


Gráfico 3 – Classificação das soluções para a 3ª situação-problema. Fonte: autor.

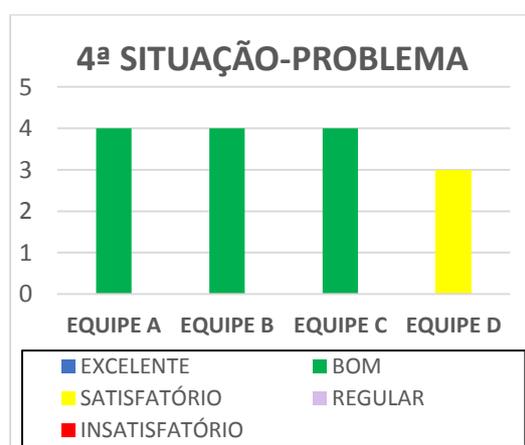


Gráfico 4 – Classificação das soluções para a 4ª situação-problema. Fonte: autor.

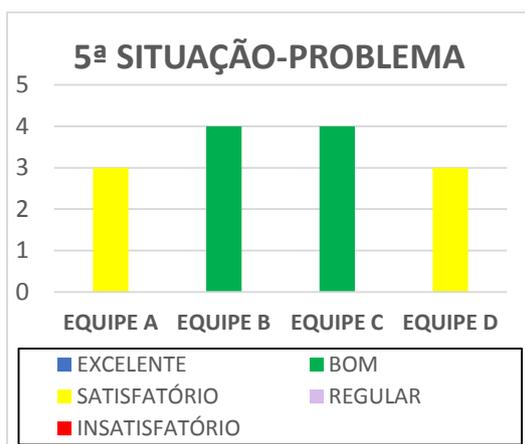


Gráfico 5 – Classificação das soluções para a 5ª situação-problema. Fonte: autor.

O gráfico 1 indica como foram avaliadas as soluções propostas por cada equipe para a 1ª situação-problema. Veja que a equipe **A** apresentou menor nota, tendo sua solução avaliada como regular. Eles repetem parte do texto na situação-problema, diferenciando corretamente o aspecto filosófico das ideias dos gregos e do aspecto científico proposto por Dalton. Porém, a equipe comete o equívoco de entender que apenas o átomo proposto por Dalton seria indivisível. As outras equipes apresentam soluções coerentes e sem erros, sendo todas as soluções avaliadas como bom.

Para o gráfico 2 veja que a equipe **C** teve nível de avaliação 3, com solução classificada como satisfatório. Isso ocorreu devido à falta de detalhes para descrever o material utilizado por Crookes e o procedimento experimental realizado por ele. No entanto, diante do diálogo realizado pela equipe e pela solução proposta ficou evidente a compreensão do fenômeno. Também ficou evidente que não especificou o que os resultados da experiência indicavam. Já a equipe **D**, que também obteve nota 3, apresentou solução correta, porém descreve texto copiados das estrofes do quadrinho para resolver a questão. A equipe **B** tem solução correta e completa, e foi avaliado como bom por argumentar melhor a resposta. A equipe **A** obteve nota máxima, por apresentar solução correta e completa. Além disso soube detalhar os fenômenos e procedimento experimental realizados por Crookes, apresentando uma resposta bem argumentada contendo palavras bem articuladas.

Veja no gráfico 3 que todas as soluções foram bem classificadas, indicando plena compreensão desse tópico por todas as equipes. O grupo **B** apresenta solução avaliada como bom, por apresentar resposta completa e correta, porém foi demasiadamente sucinto na resposta, sem apresentar maiores detalhes e argumentos na resposta. As

outras equipes tiveram avaliação classificadas como excelente por articularem bem os conceitos.

As soluções classificadas no gráfico 4 foram avaliadas entre satisfatório e bom. Todas estão corretas, demonstrando compreensão dos fenômenos envolvidos no experimento de Rutherford. A solução classificada com menor nota foi avaliada por satisfatória, pois a equipe **D** repete parte do que está escrito nos quadrinhos, demonstrando compreensão da questão, mas não elaborou uma resposta com argumentos próprios.

No gráfico 5 o desempenho das equipes foram classificados entre satisfatório e bom. Vale ressaltar que todas as equipes demonstraram entendimento do fenômeno investigado. Essa era uma questão crucial para na aula seguinte, pois levanta os problemas da interpretação da teoria clássica para os fenômenos atômicos. As soluções das equipes **B** e **C** foram classificadas como o conceito “bom” por responderem coerentemente aos problemas estudados. Já os grupos **A** e **C** tiveram soluções classificadas como “satisfatórias”, pois conseguiram demonstrar entendimento do conteúdo, mas reproduziram parte da explicação descrita na HQ.

Diante das etapas realizadas no segundo encontro é possível perceber que a proposta de troca de trabalhos entre as equipes, chamada aqui de atividade colaborativa, e a atividade final do segundo encontro, na qual houve o processo de organização do conhecimento, se aproximam de alguns aspectos facilitadores da aprendizagem significativa. Ambas as dinâmicas realizadas estão dentro do contexto de uma UEPS. Elas estabelecem uma reconciliação integradora por promoverem a troca de ideias entre as equipes e as informações que surgiram ao longo do processo.

A ideia de apresentar eventos históricos, no intuito de subsidiar o conhecimento dos alunos para o ensino de tópicos de mecânica quântica, partindo de questões mais gerais até as mais específicas, fortaleceram o trabalho de diferenciação progressiva e facilitou a interação de ideias novas com a estrutura cognitiva do aprendiz. Moreira (2011), ao descrever os passos de uma UEPS, usa o termo diferenciação progressiva e reconciliação integrativa para destacar a necessidade de facilitar a aprendizagem do conteúdo, interligando ideias e retomando as informações mais gerais e estruturantes.

Também em sintonia com o Moreira (2011), houve a realização de atividades colaborativas, nas quais os alunos negociaram significados. Vale salientar que a sequência desenvolvida neste trabalho tem características próprias, mas busca em a cada

etapa, mesmo que em momentos próprios, promover aspectos didático-metodológicos da UEPS.

5.3 O terceiro encontro

No terceiro encontro, que teve o tempo de uma aula de 45 minutos, foram estudados tópicos dos conteúdos relacionados às interpretações da teoria quântica para os fenômenos que envolvem o comportamento da estrutura da matéria. Nesta etapa se iniciam os trabalhos relacionados à parte dois da HQ.

Seguindo o planejamento da sequência de ensino, o terceiro encontro iniciou-se com a construção de um novo esquema conceitual, tratando das explicações quânticas para a natureza da estrutura da matéria. Em seguida ocorreu a recitação dos versos do quadrinho, introduzindo o conteúdo, e a apresentação de novas situações-problemas.

Ao final desse encontro os alunos levaram para casa as situações-problemas de forma individual para começarem a refletir e pensar soluções para elas.

Diagnóstico do conhecimentos prévios e introdução do conteúdo

Após uma explanação dos eventos históricos e das interpretações clássicas relacionados ao desenvolvimento da compreensão dos fenômenos atômicos, trabalhados nos encontros anteriores, em etapas da sequência que buscavam preparar os alunos para terem uma melhor compreensão da teoria quântica, o terceiro encontro começou com a construção de um novo esquema conceitual que durou cerca de 15 minutos.

Para a construção do esquema conceitual foram colocadas algumas perguntas introdutórias, que aparecem listadas abaixo junto com as respostas da turma:

Quadro 8 - Segundo esquema conceitual

PERGUNTAS	RESPOSTAS
Vocês já ouviram falar sobre Mecânica Quântica? O que vocês entendem, imaginam ou sabem sobre Mecânica Quântica?	<ul style="list-style-type: none"> • “Física das partículas”; • “Cálculos”; • “Radiação”; • “Espectro”; • “Quantidade” • “Teoria do Quantum” • “Teorias de Cordas”; • “Seriados”; • “Universo”; • “Buraco negro”
Existe relação entre fenômeno atômicos e o surgimento da Física quântica? O que estuda a	<ul style="list-style-type: none"> • “Sim. Estuda as menores partículas”; • “Sim. O modelo de Bohr”;

teoria quântica do átomo?	<ul style="list-style-type: none"> • “<i>Partículas atômicas</i>”; • “<i>Inconsistência dos elétrons</i>”; • “<i>Energia atômica</i>”;
---------------------------	---

Fonte: autor.

Foi percebido que alguns alunos relacionam o estudo da mecânica quântica a algumas teorias contemporâneas, como “*teorias de cordas*” e “*buracos negros*”. Porém, quando perguntados se entendiam algo sobre tais teorias, afirmaram que apenas já ouviram tais teorias serem citadas em redes sociais e seriados, mas declarando que não sabiam, nem buscaram informações sobre elas. Então foi esclarecido para eles que o objetivo do estudo estava relacionado ao surgimento das primeiras teorias quânticas, que, posteriormente podem servir como base para compreensão de temas mais atuais.

Foi feita uma breve abordagem sobre outros conceitos que apareceram no esquema conceitual, apresentando relação com o conteúdo, no intuito de organizar as ideias postas pela turma. Palavras como “*radiação*”, “*espectro*” e “*quantidade*”, que apareceram no esquema conceitual, podem ter surgido por fatores diversos. Um desses fatores pode ter relação com a possível leitura antecipada da parte 2 da história em quadrinhos por parte de alguns alunos, levando-os a ter uma ideia antecipada do conteúdo. Os conceitos citados pelos alunos também podem ser fruto de algumas etapas e circunstâncias ligadas a sequência de ensino e/ou fruto da utilização da história da HQ em sala de aula, pois são palavras que apareceram superficialmente na etapa de apresentação dessa ferramenta de ensino, ainda, no primeiro encontro: momento no qual foi revelado um pouco da sequência programática do conteúdo e da construção e integração de ideias.

Os dois motivos descritos acima justificam o fato de alguns dos conceitos colocados pelos discentes apresentarem ideias bem próximas do objetivo de estudo. Acredita-se que parte dos estudantes já enxergava uma relação entre os fenômenos da radiação, a emissão do espectro de alguns elementos e o surgimento da mecânica quântica. Também já parecia haver um pequeno entendimento da relação entre os fenômenos da espectroscopia, a teoria do quantum e as explicações propostas por Bohr para o átomo. A HQ faz uma abordagem desses tópicos, pois são ideias que contribuíram para o desenvolvimento da teoria quântica do átomo.

Recitação da HQ parte 2 – Mecânica Quântica

Ainda no terceiro encontro houve a recitação dos versos de Cordel da parte 2 da HQ. Esta etapa durou cerca de quinze minutos e deu início ao ensino dos tópicos mais

relevantes do conteúdo, abordando os principais conceitos e fenômenos relacionados à teoria quântica do átomo.

Nos moldes da recitação que ocorreu na parte 1 da HQ, houveram pequenas interrupções da recitação para reforçar as analogias e serem feitas breves explicações sobre os tópicos do conteúdo. Tal dinâmica permitia interligar ideias, retomando informações importantes do conteúdo e organizando o conhecimento. Este trabalho permitiu contemplar aspectos facilitadores da aprendizagem previstos na UEPS.

Em acordo com NOBRE (2017, p. 131) a recitação teve importância estratégica para o processo de ensino-aprendizagem, *“já nos direcionam para pensar que caminho, que sequência de procedimentos, de ensino, devemos seguir para expor os conteúdos desejados. Surgindo aí o declamar como uma etapa essencial para a sequência de ensino proposta.*

O conteúdo apresentado na parte 2 da HQ explica a diferença entre espectro contínuo e discreto, descreve a ideia de Max Planck para esclarecer a radiação espectral emitida por corpos aquecidos, aborda a contribuição de Bohr para justificar a instabilidade do átomo de Rutherford e a sua teoria para os saltos quânticos. Nas últimas páginas da HQ ainda surgem explicações sobre o comportamento ondulatório do elétron, segundo de Broglie, e a teoria ondulatória de Schrödinger para a onda de probabilidade.

Apresentação das situações-problemas relacionadas a parte 2 da HQ

O terceiro encontro foi encerrado com a apresentação das situações-problemas para a turma, durante os 15 minutos finais da aula. Cada estudante já tinha recebido, individualmente, uma folha com as questões que seriam trabalhadas coletivamente no encontro seguinte. Então foram orientados a levar as questões para casa e iniciarem as reflexões em busca de soluções. Para Moreira (2011, p. 44) *“o papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados de parte do aluno (Vergnaud; Gowin)”*.

Esta etapa da sequência de ensino, através da apresentação de situações-problemas, tem uma estreita relação com o desenvolvimento histórico de experiências que culminaram com o advento da teoria quântica para explicar a estrutura da matéria. Elas foram elaboradas levando em consideração o processo de construção do conhecimento, aumentando gradativamente o nível de complexidade dos tópicos estudados.

Então a apresentação das situações-problemas não se limitou a uma leitura despreziosa dos versos de cordel. Foi trabalhada de forma a expor os aspectos mais relevantes do conteúdo, relacionando informações, conceitos e significados que ajudaram os estudantes a compreender melhor os conteúdos, dispondo de melhores condições para elaborar as soluções para os problemas propostos.

As etapas realizadas no terceiro encontro estão dentro do contexto de ações que apresentam o conteúdo a ser ensinado, respeitando os conhecimentos prévios dos estudantes. Primeiro através da dinâmica que envolveu a construção do esquema conceitual. Depois houve a recitação da parte 2 da HQ, apresentando novas informações e retomando aspectos relevantes estudados na parte 1 da ferramenta de ensino. Por fim houve a apresentação dos aspectos mais relevantes e específicos do conteúdo, apresentação de situações-problemas que direcionou os tópicos que precisavam ser aprofundados no processo de ensino-aprendizagem.

5.4 O quarto encontro

Neste encontro ocorreu o desenvolvimento de mais três etapas pautadas no trabalho com as situações-problemas apresentadas no terceiro encontro. Inicialmente cada equipe se reuniu para pensar e propor soluções para as questões. Em seguida os trabalhos foram compartilhados entre equipes, no intuito dos grupos poderem complementar e contribuir coletivamente com as soluções para os problemas propostos. Na última etapa desse encontro o professor atuou de forma a organizar o conhecimento e planejar junto aos alunos as atividades dos dois últimos encontros que ocorreriam na semana seguinte.

Trabalhando as situações-problemas em equipe

Após a apresentação dos problemas ocorreu a dinâmica de elaboração de soluções para as questões. Essa atividade foi acompanhada de perto pelo professor, mediando, estimulando e ajudando, sempre que solicitado, nas propostas de soluções dos alunos.

As ações desenvolvidas no terceiro encontro e o trabalho em equipe realizado pelos grupos que elaboraram soluções se aproximam do quarto aspecto sequencial da UEPS. De acordo com Moreira (2011)

4. uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do

todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo; (Moreira ,2011, p. 45)

Segunda atividade colaborativa

O quarto encontro teve início com a reorganização dos grupos para a resolução das situações-problemas relacionadas a parte 2 da HQ. Após cerca de 40 minutos a equipe A trocou o trabalho com a equipe C para compartilhamento de ideias e informações, enquanto as equipes D e B realizavam o mesmo processo. Nos mesmos moldes dos trabalhos desenvolvidos durante a resolução de situações-problemas da parte 1 dos quadrinhos as equipes construíram soluções coletivas e formularam respostas para os fenômenos investigados.

A dinâmica de atividade colaborativa apresenta afinidade com o quinto passo da UEPS, quando Moreira (2011) destaca a necessidade da reconciliação integradora e atividades colaborativas, tudo acontecendo com a mediação do professor. Neste sentido as etapas de apresentação das novas situações-problemas, o trabalho em equipe para propor soluções e a dinâmica de atividade colaborativa são indissociáveis e estão dentro de um contexto dos aspectos sequenciais de uma UEPS. Em Moreira (2011, p. 45) há uma descrição detalhada que relaciona as atividades desenvolvidas na sequência de ensino deste trabalho.

5. em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.), porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; dar novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados, ou seja, promover a reconciliação integradora; após esta segunda apresentação, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador; esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de uma mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc., mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente;(Moreira, 2011, p. 45)

Nova fase de organização do conhecimento

Na última etapa do encontro foi o momento de esclarecer o que cada situação-problema tratava e as dúvidas ainda pendentes. Além disso, explicou-se de forma geral

os fenômenos abordados na parte 2 da HQ. Isso ocorreu após o acompanhamento das atividades realizada pelos grupos na busca por respostas.

Esta etapa de organização do conhecimento teve duração de cerca de trinta minutos, com abordagem sobre o conteúdo presente na parte 2 da HQ. Nos moldes do que foi realizado no trabalho com a parte 1, houve uma aula mais tradicional, com explicações expositivas e repasse de informações com ênfase nos fenômenos que pudessem ajudar os discentes na superação dos obstáculos para a compreensão do conteúdo. Foi um momento estratégico para a retomada de informações e de conceitos importantes. O sexto passo da UEPS descreve:

6. concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um audiovisual, etc.; o importante não é a estratégia, em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da unidade; após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores; essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentada se/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente; (MOREIRA, 2011, p. 45 e 46)

Vale ressaltar que a organização do conhecimento foi oportuna para mais uma dinâmica de socialização de informações. Houve uma retomada dos conceitos, fenômenos e experiências estudadas. Acredita-se que através disso o aluno teve oportunidade de organizar os significados. Veja que os passos da sequência sempre buscam valorizar o processo de diferenciação progressiva e reconciliação integradora. Para Moreira (2011, p. 44) *a diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel).*

Planejamento para produção de estrofes de versos de cordel e tirinhas

Antes de finalizar o quarto encontro houve o planejamento dos encontros subsequentes, nos quais os alunos foram reorganizados em grupos para elaborar versos de cordel e tirinhas abordando tópicos do conteúdo estudado.

Nos quadros a seguir estão descritos os principais eventos envolvidos na busca por solução para as situações-problemas trabalhadas no quarto encontro. Seguem as principais indagações, as sugestões das equipes para respostas de outros grupos e as propostas de soluções finais.

A situação-problema que inicia as investigações da parte 2 da HQ trabalha a compreensão do espectro. As equipes deveriam descrever conceitualmente o espectro e diferenciar o espectro contínuo do discreto.

Quadro 9 - Sexta situação-problema

6º SITUAÇÃO-PROBLEMA

A luz do sol quando passa por um prisma emite espectro contínuo. O mesmo ocorre com a radiação emitida por corpos opacos (sólido ou fluido muito denso) quando são aquecidos. Já os gases quando passam pelo processo de aquecimento emitem um espectro discreto. O estudo da espectroscopia deu uma grande contribuição para o desenvolvimento da Física Quântica.

NO FINAL DO SÉCULO XIX SE BUSCAVA UMA EXPLICAÇÃO PARA OS GASES AQUECIDOS QUE EMITIAM RADIAÇÃO COM LINHAS COLORIDAS SEPARADAS NO ESPECTRO DE EMISSÃO. QUANDO A ENERGIA RADIANTE TEM SUA LUZ DIRECIONADA PARA UM PRISMA TRANSPARENTE ONDE A LUZ É DESVIADA OCORRE A DISPERSÃO E SUAS CORES SÃO ESPALHADAS.

Espectro de Emissão

Gás

Bico de Bunsen

Prisma

AO AQUECER A AMOSTRAS DE GÁS COM UMA CHAMA TRANSPARENTE BUNSEN E KIRCHOFF PERCEBERAM A EMISSÃO DE LUZ DISCRETAMENTE MAS OS CIENTISTAS NÃO ENTENDIAM ESPERAVAM EMISSÃO CONTINUAMENTE

Espectro de luz discreto

Gás Hidrogênio

Espectro quando é discreta tem as linhas espaçadas quando próximas são contínuas e não aparecem separadas. Entender essa confusão foi uma grande empreitada.

Espectro contínuo

luz branca

Espectro discreto

gás

O ESPECTRO COM LINHAS COLORIDAS MUDAVAM PARA CADA GÁS ELAS FICARAM CONHECIDAS COMO RAIAS ESPECTRAIS CADA ELEMENTO TEM UM ARRANJO ATÉ PARECEM AS DIGITAIS

HIDROGÊNIO

HÉLIO

MERCÚRIO

ESSE FORMA DE RADIAÇÃO A FÍSICA CLÁSSICA NÃO EXPLICAVA O QUE ISSO PROVOCARIA JAMAIS SE IMAGINAVA NOVAS IDEIAS FORAM SURGINDO E SÓ NISTO SE FALAVA

Baseado no que foi estudado até aqui, responda:

- O que é o espectro?
- Explique a diferença entre o espectro contínuo e discreto (descontínuo).

QUESTIONAMENTOS (DÚVIDAS) DAS EQUIPES

- “O espectro está relacionado a temperatura?”
- “O que é espectro? São as linhas coloridas?”

SUGESTÕES DE UMA EQUIPE PARA A OUTRA NAS ATIVIDADES COLABORATIVAS

- “A energia emitida pelo corpo quando sofre dispersão espalha as linhas coloridas.”

SOLUÇÕES PROPOSTAS POR CADA EQUIPE

EQUIPE A

- Está associado a energia do corpo aquecido, surge da radiação emitida pelo corpo.
- Discreto tem as linhas espaçadas: distantes. Contínuo não aparecem separadas: são contínuas.

EQUIPE B

- Espectro surge quando a energia transmitida por um corpo aquecido sofre dispersão que torna as cores do espectro visível.
- O espectro contínuo é quando a luz branca atravessa um prisma e emite cores juntas. E o espectro discreto é quando os gases são aquecidos e as cores surgem separadas.

EQUIPE C

- Quando a luz solar ou qualquer outra radiação é difundida em um prisma transparente a radiação é dispersada formando um espectro de luz que vai do ultravioleta a infravermelho.
- Quando o espectro é formado pela radiação solar ou pela radiação emitida por um sólido aquecido, o espectro é contínuo e as cores aparecem junta. Pois há uma concentração maior de átomos e conseqüentemente de elétrons, possibilitando uma maior variação de luz emitida. Já quando a radiação é emitida por um gás o espectro é discreto e as cores aparecem separadas por ter um menor número de elétrons.

EQUIPE D

- a) Surge da energia emitida pelo corpo que aparecem em linhas coloridas quando a luz sofre dispersão.
- b) No espectro discreto as linhas são separadas e no espectro contínuo essas linhas são próximas

Fonte: autor.

A solução proposta pela equipe **A** apresentou bons argumentos para definir o que é espectro. No entanto, praticamente reproduziu parte do verso da história em quadrinhos para explicar a diferença entre espectro contínuo e discreto. Mesmo tendo dificuldades de articular palavras e criar um bom contexto sobre o tema as respostas apresentam relação coerente em relação ao tema. A equipe **D** teve dificuldades para compreender a questão e propor uma solução, mas com a ajuda da equipe **B** durante a atividade colaborativa conseguiram compreender melhor o fenômeno abordado.

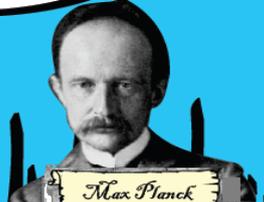
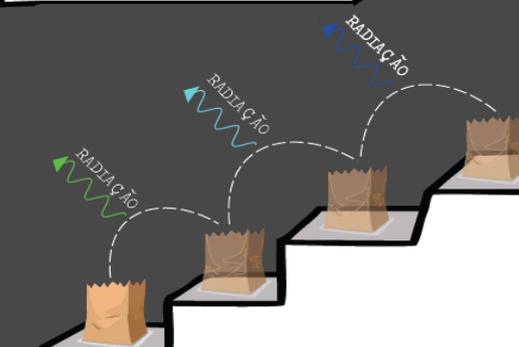
Através de uma análise quantitativa as soluções foram avaliadas entre satisfatória e excelente, por demonstrarem entendimento dos grupos em relação a esse tópico do conteúdo.

O sétimo tópico trabalhado com os alunos busca provocar as equipes a compreensão da teoria da radiação do corpo negro desenvolvida por Planck e investigar o entendimento do conceito de quantização para o estudo da mecânica quântica.

Quadro 10 - Sétima situação-problema

7º SITUAÇÃO-PROBLEMA

Um novo e revolucionário conceito foi introduzido na Física por Max Planck (1858-1947), em 1900. Ele propôs que a radiação emitida por um corpo negro só pode assumir determinados valores de energia. Foi estudando a emissão de radiação por corpos aquecidos que Planck conseguiu explicar o espectro de radiação emitido por um corpo negro. As ideias de Planck dão origem ao desenvolvimento da Física Quântica, diante da insuficiência que a Física Clássica apresentava quando tentava explicar os fenômenos que envolviam a compreensão da estrutura dos átomos.

<p>A ORIGEM DA TEORIA QUÂNTICA FOI A MAX PLANCK ATRIBUÍDA AO EXPLICAR QUE A RADIAÇÃO POR UM CORPO TRANSMITIDA OCORRE DE FORMA QUANTIZADA E EM PACOTES É EMITIDA</p>  <p>Max Planck</p>	<p>CALMA QUE AINDA VOU DIZER O QUE PLANCK QUIS EXPLICAR POR ENQUANTO BASTA SABER QUE ELEMENTOS PODEM IRRADIAR LUZ COM CORES DIFERENTES QUANDO SUA TEMPERATURA AUMENTAR</p> <table border="1"> <tr> <td>Temperatura Ambiente</td> <td>Temperatura 2000K</td> <td>Temperatura 4000K</td> <td>Temperatura 6000K</td> </tr> </table> 	Temperatura Ambiente	Temperatura 2000K	Temperatura 4000K	Temperatura 6000K
Temperatura Ambiente	Temperatura 2000K	Temperatura 4000K	Temperatura 6000K		
<p>O ARRETADO MAX PLANCK ENTÃO PROPÔS UMA SOLUÇÃO NA QUAL A ENERGIA DE UM CORPO SERIA DESCONTINUA NA TRANSMISSÃO POIS SÃO LIBERADAS EM PACOTES CHAMADOS QUANTA DE RADIAÇÃO</p> 	<p>FOI DA IDEIA DE MAX PLANCK QUE SURTIU A QUANTIZAÇÃO AO ANALISAR COMO A ENERGIA TEM SUA EMISSÃO EM CORPOS AQUECIDOS QUE EMITIAM RADIAÇÃO</p> <table border="1"> <tr> <td>Temperatura 500K</td> <td>Temperatura 3200K</td> <td>Temperatura 1750K</td> <td>Temperatura 5500K</td> </tr> </table> 	Temperatura 500K	Temperatura 3200K	Temperatura 1750K	Temperatura 5500K
Temperatura 500K	Temperatura 3200K	Temperatura 1750K	Temperatura 5500K		

Explique qual foi a ideia e conceito que surge no estudo de Planck ao explicar a radiação emitida por um corpo aquecido.

QUESTIONAMENTOS (DÚVIDAS) DAS EQUIPES

- “O que é uma grandeza quantizada?”
- “A quantização é tipo existir um valor fechado, tipo não existe meio elétrons e sim o elétron inteiro?”

SUGESTÕES DE UMA EQUIPE PARA A OUTRA NAS ATIVIDADES COLABORATIVAS

SOLUÇÕES PROPOSTAS POR CADA EQUIPE

EQUIPE A
A radiação por um corpo emitida ocorre de forma quantizada e em pacotes. A energia emitida por um corpo é descontínua e são liberadas em pacotes chamados quantas de radiação. Foi da teoria de Planck que surgiu a ideia de quantização.

EQUIPE B
Max Planck concluiu que a radiação emitida por um corpo aquecido ocorre de forma discreta, descontínua, pois são transmitidas em pequenos pacotes de energia, chamados de quanta. Foi da ideia dele que surgiu a quantização.

EQUIPE C
Max Planck sugeriu que os elétrons só emitiam radiação ao receberem quantidade x de energia, o que ele chamou de pacote, pois seriam unidades únicas e indivisíveis. Quando um objeto recebe essa quantidade x de energia o elétron liberava uma luz colorida.

EQUIPE D
Os elétrons recebem energia em pacotes e dependendo da quantidade suas cores mudam.

Fonte: autor.

As quatro equipes demonstraram compreensão da ideia de quantização de energia proposta por Max Planck. As palavras pacote e quanta, assim como a relação da radiação emitida por um corpo de acordo com as cores liberadas por ele, aparecem tanto

no contexto da HQ como em nas respostas dos grupos. Isso demonstra uma aproximação do raciocínio desenvolvido pelos estudantes junto aos versos e ilustrações da HQ.

A oitava situação-problema foi elaborada no intuito de provocar nos alunos uma investigação sobre a ideia de Bohr para inserir o conceito de quantização nos fenômenos atômicos e a compreensão dos saltos quânticos.

Quadro 11 - Oitava situação-problema

<p><u>8º SITUAÇÃO-PROBLEMA</u></p> <p>As explicações de Planck, tratando da energia emitida por corpos aquecidos, contribuíram para que Bohr desenvolvesse a Teoria Quântica do átomo. O modelo atômico de Bohr resolveu a instabilidade do átomo de Rutherford, explicando a distribuição da energia dos elétrons por camadas. Leia cuidadosamente os quadrinhos das páginas 7, 8 e 9, apresentados pelo personagem George, e responda.</p> <p>a) O que as órbitas representam para os elétrons no modelo atômico de Bohr?</p> <p>b) Explique o que são saltos quânticos e em que ocasião o elétron libera o fóton (luz) na forma de radiação?</p>
<p><u>QUESTIONAMENTOS (DÚVIDAS) DAS EQUIPES</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • “A questão do salto quântico só acontece quando o elétron libera fóton?” • “Professor a energia que o elétron gasta depende do quanto ele anda no salto?” • “O salto quântico ocorre quando o elétron ganha energia e pula para outra orbita?” • “A energia de um nível será sempre o dobro da outra?”
<p><u>SUGESTÕES DAS ATIVIDADES COLABORATIVAS SUGESTÕES DE UMA EQUIPE</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • “Faltou fazer a comparação da relação entre o salto quântico e os níveis de energia.” • “Faltou uma breve explicação do que é o salto quântico, pois só está explicando como ocorre e não o que é?”
<p><u>SOLUÇÕES PROPOSTAS POR CADA EQUIPE</u></p> <p><u>EQUIPE A</u></p> <p>a) As orbitas representam camadas separadas que são níveis de energia.</p> <p>b) Quando um elétron sai de uma orbita para outra, perdendo ou ganhando energia. O elétron perde energia na forma de radiação (luz).</p> <p><u>EQUIPE B</u></p> <p>a) É que os elétrons presentes nas orbitas apresentam energia quantizada que em cada camada tem uma medida determinada que faz a orbita variar a distância em relação ao núcleo</p> <p>b) Um salto quântico ocorre quando um elétron troca de camada mudando de nível de energia e quando diminui de nível o fóton é irradiado.</p> <p><u>EQUIPE C</u></p> <p>a) Elas são níveis de energia que pelos elétrons são ocupadas. Na eletrosfera o elétron apresenta nível de energia quantizada em cada camada o seu valor tem energia fixada e a distância de cada orbita em relação ao núcleo é variada.</p> <p>b) É a mudança que os elétrons realizam de um nível para o outro quando sua energia pode variar na forma de radiação: o elétron emite luz quando ele muda para o nível de camada inferior.</p> <p><u>EQUIPE D</u></p> <p>a) São os níveis de energia que os elétrons ocupam.</p> <p>b) Ocorre salto quântico quando o elétron absorve certa quantidade de energia e dá um salto para uma camada maior. Quando perde energia ele volta e libera na forma de radiação.</p>

Fonte: autor.

As soluções de todas as equipes relacionam corretamente as camadas do átomo de Bohr a níveis de energia quantizados ocupados pelos elétrons. Também demonstram compreensão dos saltos quânticos realizados pelos elétrons. No entanto, a solução

proposta pela equipe **A** ficou incompleta por não especificar que o fóton é emitido pelo elétron quando o mesmo muda de um nível de maior energia para um de menor energia.

A questão nove, desenvolvida para trabalhar com os alunos a ideia do movimento ondulatório do elétron proposta por de Broglie e investigasse como ele justifica os níveis de energia nos átomos.

Quadro 12 - Nona situação-problema

9º SITUAÇÃO-PROBLEMA

As explicações de Planck, tratando da energia emitida por corpos aquecidos, contribuíram para que Bohr desenvolvesse a Teoria Quântica do átomo. O modelo atômico de Bohr resolveu a instabilidade do átomo de Rutherford, explicando a distribuição da energia dos elétrons por camadas. Em 1924 De Broglie apresentou uma teoria ondulatória para o movimento do elétron.

EM 1924 DE BROGLIE APRESENTOU UMA NOVA EXPLICAÇÃO PARA O MOVIMENTO DO ELÉTRON QUE APRESENTA OSCILAÇÃO SE COMPORTANDO COMO ONDA FOI UMA GRANDE INTERPRETAÇÃO

COM SEU COMPORTAMENTO ONDULATÓRIO O ELÉTRON VAI DETERMINAR OS DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA QUE O ÁTOMO PODE APRESENTAR QUANTO MAIS EXTERNA A ÓRBITA MAIS OSCILAÇÕES ELE TERÁ

QUANDO O ELÉTRON OSCILAR VAI PERCORRER UMA DISTÂNCIA REALIZANDO UM MOVIMENTO COM BASTANTE ELEGÂNCIA ENTÃO VAMOS ENTENDER PORQUE ISSO TEM IMPORTÂNCIA

AO COMPLETAR A OSCILAÇÃO O ELÉTRON VAI APRESENTAR CERTOS COMPRIMENTOS DE ONDA QUE IRÃO DETERMINAR CADA NÍVEL DE ENERGIA COM VALOR PARTICULAR

Nível 1: 1 comprimento de onda
Nível 2: 2 comprimentos de onda
Nível 3: 3 comprimentos de onda
Nível 4: 4 comprimentos de onda

QUERO DIZER QUE CADA ÓRBITA TERÁ A SUA DIMENSÃO DADA PELO COMPRIMENTO DE ONDA VEZES A QUANTIDADE DE OSCILAÇÃO QUE O ELÉTRON REALIZAR POR TODA A SUA EXTENSÃO

A CIRCUNFERÊNCIA DA ÓRBITA QUE O ELÉTRON OCUPAR TERÁ MAIOR COMPRIMENTO QUANTO MAIS ELE OSCILAR JÁ NA ÓRBITA MAIS INTERNA UMA OSCILAÇÃO ELE VAI REALIZAR

NO SEGUNDO NÍVEL DE ENERGIA DUAS OSCILAÇÕES O ELÉTRON TERÁ NO TERCEIRO NÃO É DIFERENTE TRÊS VEZES VAI OSCILAR E ASSIM SEGUER A SEQUÊNCIA PARA CADA ÓRBITA QUE ELE OCUPAR

CADA ÓRBITA TEM COMPRIMENTO E NÍVEL DE ENERGIA QUE É PADRÃO ESSE MOVIMENTO DO ELÉTRON EXPLICA A QUANTIZAÇÃO DA ENERGIA EM CADA NÍVEL QUE É FRUTO DA OSCILAÇÃO

$C = n\lambda$
C: comprimento circunferência
n: número de oscilação
λ: comprimento de onda

Baseado na história em quadrinhos, resolva as questões colocadas abaixo:

- Descreva como de Broglie explica as orbitas dos elétrons e o seu respectivo comprimento.
- Qual a relação do movimento ondulatório do elétron e o fato dos níveis de energias serem quantizados em cada camada ou órbita (níveis de energia)?

QUESTIONAMENTOS (DÚVIDAS) DAS EQUIPES

- “Quanto maior as oscilações, maior será o nível de energia do elétron?”

SUGESTÕES DE UMA EQUIPE PARA A OUTRA NAS ATIVIDADES COLABORATIVAS

SOLUÇÕES PROPOSTAS POR CADA EQUIPE

EQUIPE A

- Quando o elétron oscilar vai percorrer a distância de oscilações completas.
- Ao completar a oscilação o elétron vai apresentar certos comprimentos que irão definir níveis de energia particular. O comprimento será maior quanto mais ele oscilar e maior será o nível de energia.

EQUIPE B

- Uma camada onde sua dimensão vai depender do comprimento de onda e das oscilações do elétron.

Onde a quantidade de oscilações dirá em qual nível ele está.

b) Quanto maior for as oscilações maior será o nível, onde oscilações geram de acordo com a quantidade de energia que ele tem.

EQUIPE C

a) de Broglie apresentou uma ideia de que as orbitas dos elétrons seriam como ondas, dependendo do comprimento de onda que o elétron percorrer e as vezes que oscilar, determina seu nível de energia.

b) Dependendo do nível do elétron ele dá um salto para a próxima orbita, posto a capacidade de percorrer um maior comprimento, ao emitir a radiação ele perde energia retornando a orbita inicial.

EQUIPE D

a) Segundo de Broglie cada orbita tem sua dimensão, na qual é dada pelo comprimento de onda. Seu comprimento é dado pela oscilação do elétron na orbita que ocupar.

b) A amplitude das oscilações vai determinar a energia que são quantizadas porque tem que completar a orbita.

Fonte: autor.

Nenhuma das equipes parece ter percebido a equação que descreve o comprimento de onda das orbitas presente no quadrinho. Pelo menos nenhuma equipe escreveu a equação que de Broglie para explica o comprimento da orbita. Porém, explicaram conceitualmente de forma correta o comprimento das orbitas. Também relacionaram esse comprimento ao movimento do elétron que tornam os níveis de energia quantizados.

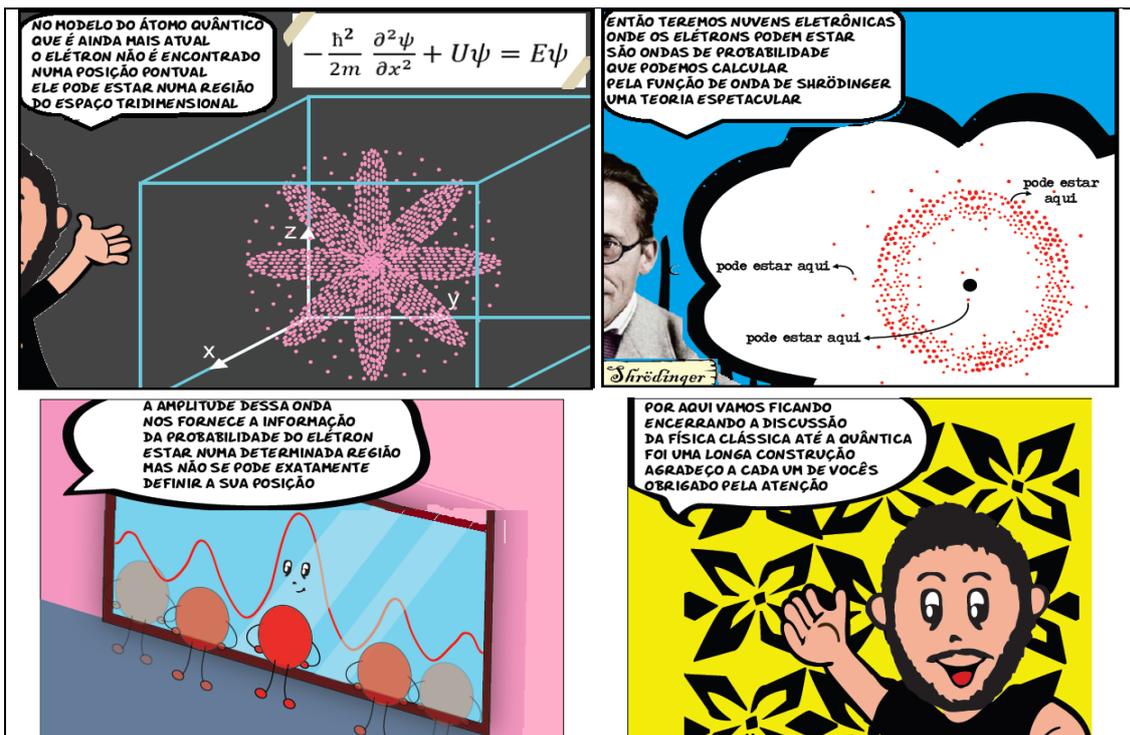
O grupo **C** relaciona o salto quântico ao fato do elétron variar sua energia e passar a percorrer um maior comprimento. Veja que mesmo não sendo objetivo da questão, ficou implícita na resposta a compreensão de níveis de energia e as oscilações realizadas pelo elétron. Já a equipe **D** usa o termo amplitude das oscilações ao invés de número de oscilações. Percebe-se uma pequena confusão no termo utilizado, mas a forma como a solução tem continuidade demonstra entendimento da interpretação de de Broglie em relação ao fenômeno.

A última situação-problema busca conduzir as equipes à uma investigação sobre o comportamento do elétron segundo a teoria ondulatória de Schrödinger e quais informação a amplitude da equação de onda fornece a este respeito.

Quadro 13 - Décima situação-problema

10º SITUAÇÃO-PROBLEMA

Schrödinger propõe um modelo matemático para o átomo e não um modelo visual. A teoria quântica ondulatória desse cientista discute que o elétron pode estar em qualquer lugar do átomo. Segundo ele não é possível determinar exatamente a posição dessa partícula, sendo apenas possível determinar a probabilidade de o elétron ser encontrado em uma região específica do átomo.



Em um dos quadrinhos acima vemos que o elétron está diante do espelho, ficando mais visível no centro, local no qual a onda apresenta maior amplitude. Neste sentido, o que indica a maior amplitude da onda quando se tenta localizar o elétron em determinada região do átomo?

QUESTIONAMENTOS (DÚVIDAS) DAS EQUIPES

- “A amplitude tem a ver com a energia do elétron?”

SUGESTÕES DE UMA EQUIPE PARA A OUTRA NAS ATIVIDADES COLABORATIVAS

- “Faltou relacionar a explicação com o quadrinho que o elétron central do espelho está mais visível.”
- “A amplitude mostra a possibilidade de um elétron ser encontrado numa região.”

SOLUÇÕES PROPOSTAS POR CADA EQUIPE

EQUIPE A

A amplitude dessa onda fornece informações da proximidade de o elétron está numa determinada região, mas não se pode exatamente definir sua posição.

EQUIPE B

Onde a onda formar maior amplitude maior será a probabilidade do elétron está lá, pois não se pode saber 100% de certeza onde o elétron estar.

EQUIPE C

Schrödinger propôs um modelo tridimensional para o átomo. No quadrinho em questão o átomo está em uma posição mais elevada representando que ele está mais longe do núcleo. Logo ele tem mais energia e está liberando mais radiação e se tornando mais visível. A amplitude mostra a possibilidade de um elétron ser encontrado numa região.

EQUIPE D

A onda de Schrödinger dá a probabilidade do elétron está em determinada região, mas não pode se definir ao certo a sua posição.

Fonte: autor.

Nenhuma das equipes descrevem em suas respectivas soluções o que está representado no quadrinho com o espelho. Ou seja, nenhum grupo contextualizou sua resposta com o contexto e ilustração do quadrinho. No entanto os grupos parecem ter compreendido corretamente que a amplitude da onda fornece as informações sobre a probabilidade de o elétron ser encontrado em determinada região do átomo.

A equipe **C** relaciona corretamente que a amplitude da onda fornece informações sobre a localização do elétron. Porém tenta contextualizar a questão e acaba misturando conceitos e criando situações que não são abordadas no quadrinho, contextualizando a solução de forma equivocada.

Segue abaixo a análise os gráficos classificando quantitativamente as soluções elaboradas pelas equipes para a situações-problemas que abrangem os conteúdos trabalhados na parte 2 da HQ.

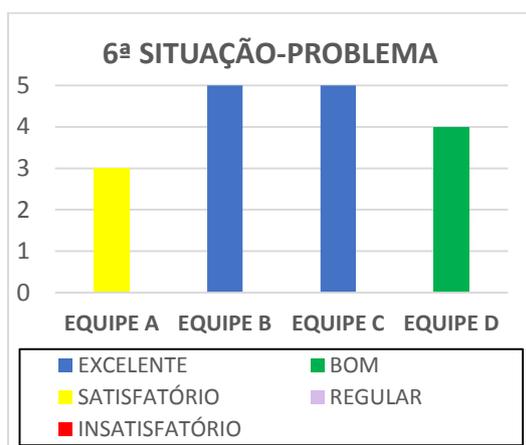


Gráfico 6 – Classificação das soluções para a 6ª situação-problema. Fonte: autor.

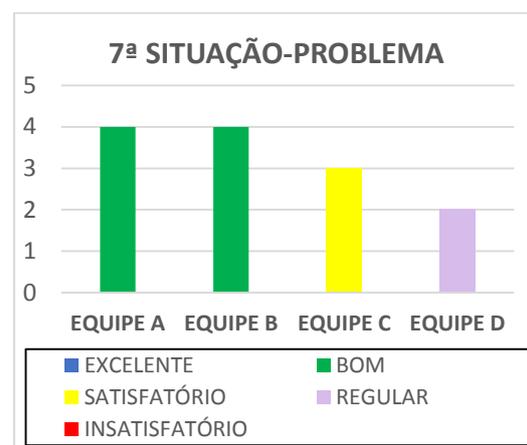


Gráfico 7 – Classificação das soluções para a 7ª situação-problema. Fonte: autor.

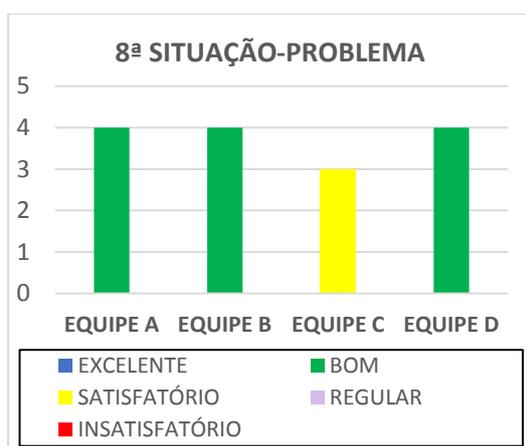


Gráfico 8 – Classificação das soluções para a 8ª situação-problema. Fonte: autor.

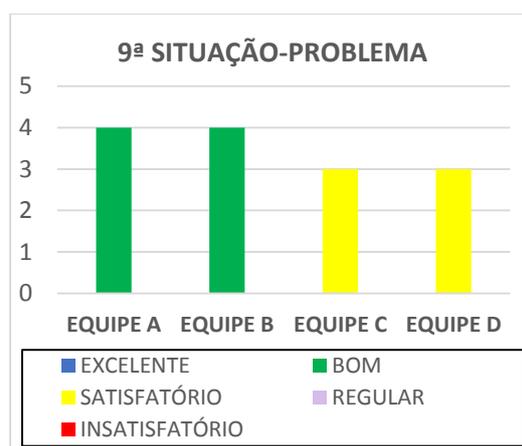


Gráfico 9 – Classificação das soluções para a 9ª situação-problema. Fonte: autor.

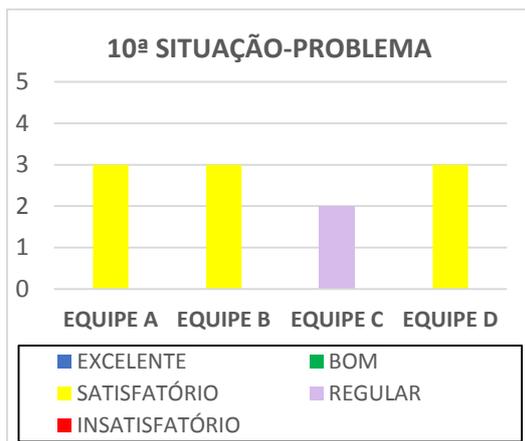


Gráfico 10 – Classificação das soluções para a 10ª situação-problema. Fonte: autor.

O gráfico 6 apresenta uma classificação para as soluções propostas pelas equipes para a 6ª situação-problema. A resposta do grupo **A** recebeu nota 3, classificada como satisfatória, por interpretar corretamente o fenômeno. No entanto não articulou a construiu a solução com argumentos próprios, apenas reproduzindo parte da explicação presente na HQ.

A equipe **D** desenvolve solução correta, porém muito objetiva e abreviada. A solução proposta seria mais bem avaliada se tivesse apresentado uma contextualização com maiores argumentos, citando exemplos ou descrevendo fenômenos. Já os grupos **B** e **C** propõem soluções dentro de um contexto bem articulado e com maior poder de argumentação, com soluções classificadas como excelentes.

Então as soluções apresentadas no primeiro gráfico 1 indicam que as equipes tiveram níveis diferentes de compreensão dos fenômeno estudado, com respostas avaliadas entre regular, satisfatório e bom.

No gráfico 7 há uma análise das soluções propostas para a 7ª situação-problema, na qual estudou-se a ideia de Planck para a quantização de energia emitida na radiação do corpo negro. Veja que a resposta desenvolvida pela equipe **D** foi classificada como regular, apresentando nota 2, pois não cita especificamente a ideia de quantização de Planck. Mas demonstra compreensão da ideia de quantização quando explica a troca de energia realizada pacotes, ou seja, valores discretos.

Já a solução do grupo **C** teve nota 3, sendo avaliada como satisfatória, pois demonstra compreensão da ideia de quantização de energia na absorção e emissão de radiação de um elétron, mas não construiu uma descrição bem articulada de fenômenos que descrevam esses processos dentro do contexto da situação-problema. As equipes **A** e **B** conseguiram desenvolver soluções mais completas e corretas, abordando bem o

contexto do fenômeno tratado na questão, e por isso tiveram respostas classificadas como boas.

Classificando as propostas de solução das equipes para os fenômenos que envolvem os níveis de energia e saltos quânticos do átomo de Bohr, abordados na 8ª situação-problema, o gráfico 8 avalia as respostas entre satisfatórias e bom, que corresponde a notas 3 e 4 de no máximo 5. Todas as equipes responderam corretamente a questão, propondo soluções nas quais ficam evidente a compreensão dos níveis de energia do átomo de Bohr e a compreensão dos saltos quânticos. Os grupos A, B e D tiveram soluções classificadas com bom, ou nota 4 de no máximo 5.

No gráfico 9 aparece a nota classificando as soluções propostas pelas equipes para 9ª situação-problema. Ela abordou a teoria de de Broglie para o comportamento ondulatório do elétron no átomo, que justifica os níveis de energia nos átomos pelo número de oscilações completas dos elétrons. As equipes C e D relacionam corretamente o comportamento ondulatório do elétron aos níveis de energia discretos, mesmo cometendo pequenos equívocos na contextualização dos fenômenos. Então ambas as soluções receberam nota 3, classificadas como satisfatórias.

Já as equipes A e B descreveram corretamente uma solução para a questão e receberam nota 4. Então, diante da compreensão dos fenômenos demonstrados pelas respostas das equipes, mesmo diante de pequenos deslizes, as soluções foram classificadas entre satisfatória e regular.

O último fenômeno estudado tem relação com a interpretação da teoria ondulatória de Schrödinger para o comportamento do elétron no átomo. As soluções propostas para a 10ª situação-problema, que aborda essa teoria, estão classificadas no gráfico 10. Veja que as equipes A, B e D tiveram nota 3, avaliadas com respostas satisfatórias, pois demonstraram compreensão da informação estudada. O contexto da questão relacionava a amplitude da onda e a respectiva probabilidade de se encontrar o elétron em regiões do átomo, a imagem de um elétron diante do espelho que aparece na HQ. Porém, as equipes demonstraram entender que não se pode determinar exatamente a posição do elétron, mas não relacionaram isso a imagem que aparece no 9 contexto da questão, deixando as respostas incompletas.

Já o grupo C teve solução apenas regular por ter apresentado incoerências na contextualização da solução. No entanto, a resposta desse grupo apresenta uma correta relação da amplitude da onda com a probabilidade do elétron ser encontrado em determinada região do átomo.

5.5 O quinto e sexto encontro

Antes da apresentação do material produzido pelos alunos, versos de cordel e tirinhas, previsto para os últimos encontros, cada equipe deveria entregar as propostas de soluções finais relacionados aos problemas trabalhados nos momentos anteriores da sequência. Em todos os encontros os alunos desenvolveram atividades que demonstravam o avanço na aquisição e retenção de significados, no qual a aprendizagem e a avaliação ocorriam de forma progressiva.

O material produzido ao longo da sequência teve suma importância para avaliar a aprendizagem dos estudantes e para a compreensão das variáveis envolvidas no processo de construção do conhecimento. Sobre a avaliação Moreira (2011, p. 46) escreve na sétima etapa da UEPS que:

7. a avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; tais questões/situações deverão ser previamente validadas por professores experientes na matéria de ensino; a avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá estar baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa;

Apresentações dos versos de cordel e tirinhas produzidas pelas equipes

Para finalizar a sequência ensino, o quinto e sexto encontro teve o intuito de estimular a capacidade dos estudantes comunicarem os conhecimentos aprendidos, demonstrando compreensão do conteúdo e captação de significados. Então, foi proposto para eles desenvolverem versos de cordel e tirinhas sobre tópicos do conteúdo estudado. A apresentação dos trabalhos de cada equipe não teve o intuito de validar ou não as atividades desenvolvidas. Buscou realizar uma atividade na qual os alunos buscassem relacionar conceitos e fenômenos de forma criativa, em vez de estarem preocupados apenas em decorar respostas prontas. Tal etapa se aproxima do que é colocado por Moreira (2011, p. 46)

8. a UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.

O material produzido pelos discentes permitiu uma melhor interpretação do processo de ensino-aprendizagem. A intenção não foi definir se ocorreu aprendizagem, mas exercitar nos estudantes a capacidade de comunicar e contextualizar os conceitos e fenômenos estudados, através de versos de cordel ou enredo de tirinhas. Com essa dinâmica foi possível compreender com mais clareza o processo de construção do conhecimento, além das possibilidades e limitações do uso da HQ e das atividades desenvolvidas na sequência em aulas de Física.

O primeiro grupo ficou responsável por elaborar versos de cordel ou tirinhas abordando as inconsistências do modelo atômico proposto por Rutherford e também explicando o que é o espectro contínuo e discreto. Por iniciativa própria escolheram construir versos de cordel sobre o átomo de Rutherford que está descrito a seguir:

*O físico Ernest Rutherford
Um experimento realizou
Chamado folha de ouro
Então Thompson superou
A inconsistência do átomo
Seu modelo enfrentou*

*Os resultados da experiência
Novo modelo apresentou
Com uma pequena região
Que de núcleo ele chamou
Já as cargas negativas
Na eletrosfera colocou*

*Pois ao emitir radiação
Elétrons perdem energia
Colidindo com o núcleo
Um problema que surgia
Ele não conseguiu responder
Porque isso acontecia*

*Partículas foram lançadas
Passando por um metal
Algumas foram desviadas
Do movimento original
Foi uma grande revolução
Esse processo experimental*

*Porém havia um problema
Do elétron em colisão
Pois essas cargas aceleradas
Emitiriam radiação
E o modelo de Rutherford
Entrou em contradição*

Os versos descritos apresentam uma clara tentativa de explicar o problema da instabilidade da matéria no modelo de Rutherford. Fica evidenciada a compreensão do fenômeno pelos integrantes da equipe, buscando contextualizar o conteúdo através das rimas.

Os integrantes do grupo também desenvolveram uma tirinha, na figura 17, para explicar o espectro, fazendo referência as cores que aparecem no arco-íris. No enredo também aparecem as características do espectro contínuo e discreto. Para contextualizar o conteúdo, esta equipe teve a criatividade de fazer uma crítica a falta de democratização do ensino público. O tom irônico dos alunos na elaboração da tirinha é algo típico da arte dos quadrinhos, aparecendo em tirinhas charges e cartoons.

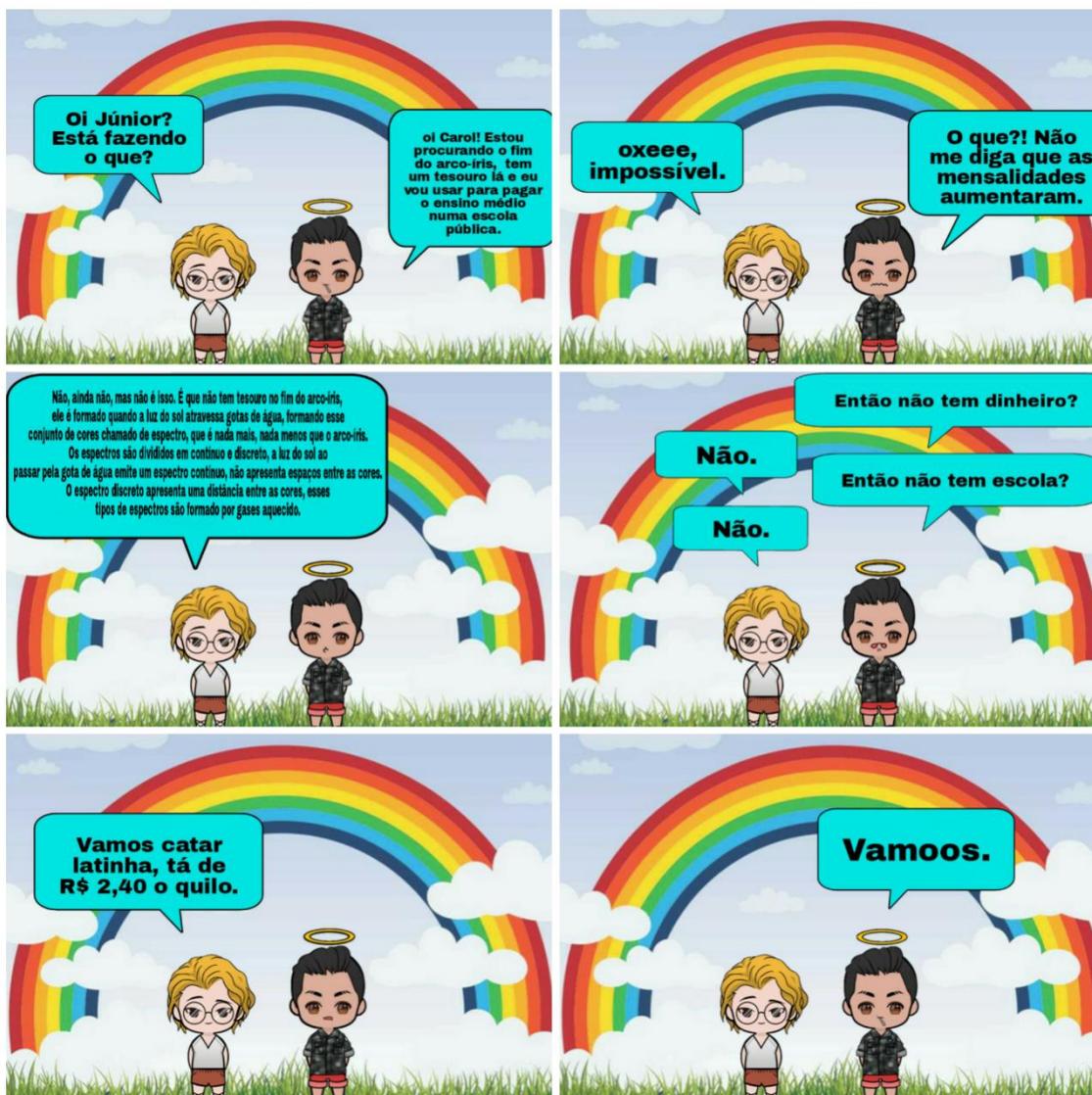


Figura 17 - Tirinha desenvolvida pela equipe 1 para explicar o espectro.

A segunda equipe ficou responsável por elaborar algo abordando a ideia de quantização que surge na teoria da radiação do corpo negro de Max Planck. O grupo criou seis estrofes de cordel abordando conceitos e características desse tópico do conteúdo. Também tiveram a ideia criar um personagem, chamado Átomo, para construir uma tirinha e reforçar as principais ideias que surgem com a teoria da radiação do corpo negro. A seguir segue a produção dos alunos.

*Max Planck com sua teoria
Criou na Física divisão
Estudando o corpo negro
Emitindo radiação
Teve resultados importantes
Trazendo evolução*

*Teoria dos quantas
Assim ficou conhecida
Simples e revolucionária
Na Física enaltecida
Era algo que intrigava
Hoje ideia esclarecida*

*A natureza do corpo negro
Tem energia emitida
Em pequenas quantidades
Ou até mesmo absorvida
Denominada de quanta
Um ideia atrevida*

*Calma, Planck sugeriu
Uma boa explicação
Para o corpo negro
Que emite radiação
A temperatura influencia
Na sua transmissão*

*A temperatura influencia
Na forma da Radiação
A faixa infravermelho
Está na maior emissão
Do vermelho ao violeta
Percebemos na visão*

*Rompe-se definitivamente
Com a velha concepção
Da energia "escoando"
Sem nenhuma limitação
E a teoria de Planck
Ganhou aceitação*

Já o personagem “Átomo” surge na tirinha da figura 18 apresentando reforçando e apresentando os principais tópicos da teoria da radiação do corpo negro. Vela abaixo seguir segue a produção deles:



Figura 18 - Tirinha desenvolvida pela equipe 2 para explicar a ideia de quantização da teoria de Planck.

Um terceiro grupo ficou responsável por produzir algo relacionado ao modelo atômico de Bohr e os fenômenos dos saltos quânticos. Esse grupo decidiu construir estrofes típicos de uma quadra, ou seja, construídas em 4 versos, nos quais o primeiro rima com o terceiro e o segundo com o quarto. Ao final da produção eles decidiram colocar o significado de uma das palavras que aparecem nos versos.

Rutherford tinha um modelo
Com falhas aparentes
Mas revolucionou o meio
Ao publicar essas patentes

O elétron luz não emitia
Ao se movimentar
Estava em apatia
Até algo mudar

Através de experimentos
Foi possível comprovar
Que durante muito tempo
O elétron não ia brilhar

Isso já é muito antigo
Ao receber energia
Faria um salto quântico
Até ficar em anergia

Ao retornar pra “casa”
Fótons são emitidos
Brilhando como brasa
Como se tivesse acometido

A luz tem “velatura”
Quando inicia a irradiar
A partir da temperatura
Que você quer esquentar

De Planck é essa teoria
Que os elétrons
Absorvem energia
Em pacotes muito bons

Bohr foi muito esperto
Ao uma teoria criar
E chegou muito perto
Ao duas teorias juntar

De Plank os saltos
De Rutherford o Modelo
Fez descer dos saltos
Todos procurando um meio

Velatura: é uma técnica pictórica, na qual o artista sobrepõe camadas de tinta transparente. Espera-se que a cor precedente seque, para que uma nova mistura translúcida seja aplicada.

Acometido: Que expressa algum tipo de patologia;

Ântico: O mesmo que velho, antigo.

Anergia: Falta de ação; inatividade; astenia.

Para explicar os saltos quânticos a equipe decidiu produzir uma tirinha no qual dois personagens dialogam sobre a luz emitida pelos átomos, apresentada na figura 19. Nela dois personagens estão dialogando sobre um fenômeno de emissão de luz por átomos. Quando um dos personagens faz uma colocação equivocada, o outro passa a explicar que o átomo libera fótons devido aos saltos dos elétrons entre camadas, que são níveis de energia.



Figura 19 - Tirinha desenvolvida pela equipe 3 para explicar os saltos quânticos.

A quarta e quinta equipe ficaram responsáveis por desenvolver, cada uma, produções que abordassem as contribuições de de Broglie para a compreensão dos fenômenos atômicos. Pois o comportamento ondulatório dos elétrons, com oscilações completas justificam os níveis de energia discretos. Além disso deveriam explicar a ideia de amplitude de probabilidade da onda de elétrons na Teoria de Schrödinger.

*A ideia dos elétrons
Os níveis ocupar
Deixava os cientistas
Perplexos a pensar
Mudando a ideia
Do elétron só girar*

*Movendo-se em orbitas
Emitiriam energia
Porém na realidade
Isso não acontecia
Para a Física clássica
O problema persistia*

*Então coube a de Broglie
Propor uma solução
O elétron é uma onda
Realiza oscilação
Deixando a energia discreta
Nessa movimentação*

Explicando as contribuições de Schrödinger para o comportamento dos elétrons no átomo, os integrantes do grupo desenvolveram uma tirinha, apresentada a seguir na figura 20:

Schrodinger e amplitude da onda de probabilidade.



Figura 20 - Tirinha desenvolvida pela equipe 4 para explicar a ideia da amplitude de probabilidade de Schrödinger para a localização do elétron.

Veja que na tirinha existe um diálogo entre um aluno e o professor, no qual surge explicações sobre a teoria ondulatória de Schrödinger tratando da probabilidade de se encontra o elétron em determinada região do átomo.

O quinto e último grupo construí um maior número de estrofes com versos de cordel em comparação com o que foi produzido pelas outras equipes. Abaixo segue o trabalho desenvolvido pela equipe:

<i>Vou contar a história de Louis Matuto inteligente Um cabra chamado de Broglie Filho do duque saliente Que por sua vez Virou duque por acidente</i>	<i>Em meio a experimentos Não vou explicar de novo Pois aqui não tem jumentos O homem colocou níveis Cada onda uma medição Os comprometo de onda Define a dimensão O infeliz ganhou foi prêmio Por essa revolução</i>	<i>Teve muito envolvimento Sua vida logo mudou Num artigo publicado Surge a sua equação Foi bastante questionado Para o mundo científico Deixou o seu legado</i>
<i>No início o macho foi Arretado historiador Mas por teima do irmão Virou físico inovador Após seguir esse caminho Tornou-se pesquisador</i>	<i>Só tenho uma coisa a dizer Nesta apresentação Ficou fácil de entender Esse tema em questão Mas vamos falar ainda Do arretado sabichão</i>	<i>Passou pela Alemanha Na Inglaterra teve papel Como físico notável Ganhou o prêmio Nobel Teve teoria reconhecida Esse foi o maior troféu</i>
<i>Introduziu uma teoria Expandiu ideias novas Para mecânica ondulatória Que logo foram expostas Após pesquisas sobre elétrons Concertou outras propostas</i>	<i>Continuando a história Outro físico apareceu Com um nome esquisito Que tu não sabes nem eu Viena é sua origem Schrödinger lá nasceu</i>	<i>Envolvendo probabilidade Na teoria criada Não localizar os elétrons Dá possível coordenada Pela amplitude da onda Foi uma grande sacada</i>
<i>No meio da bagaceira Teoria nova surgiu Esse tal de de Broglie Nos elétrons ondas viu Através desse movimento As orbitas deduziu</i>	<i>Sua Física é de origem quântica Experiência de pensamento Ganhou seu doutorado Em meio ao tormento Da primeira Guerra Mundial</i>	<i>O que podemos entender O mundo que nos envolve Basta se esforçar Seja rico ou pobre Para mais informações Busque no Google meu nobre</i>
<i>O que a equação relacionava Através dos movimentos Já foram atestados</i>		

Percebe-se na leitura dos versos acima que os discentes tiveram a iniciativa de buscar maiores informações sobre a vida dos dois cientistas, o que demonstra um maior grau de envolvimento dos mesmos com a atividade. Eles também buscaram abordar os principais tópicos das teorias deixadas por de Broglie e Schrödinger.

Essa equipe ainda demonstrou bastante criatividade na produção da tirinha, figura 21, demonstrando em seu enredo uma excelente interpretação daquilo que foi estudado na teoria de de Broglie e Schrödinger. O grupo elaborou um diálogo entre os cientistas, no qual os dois conversam, de forma descolada e bem-humorada, sobre as contribuições de suas ideias para a Física. Veja a seguir a produção dessa equipe.



Figura 21 - Tirinha desenvolvida pela equipe 5 para explicar aspectos da teoria de de Broglie e Schrödinger.

A atividade de produção de versos de cordel e tirinhas pelos alunos, abordando tópicos do conteúdo, ocorreu no intuito de promover o estímulo ao desenvolvimento da criatividade e da capacidade imaginativa dos discentes. Os resultados da atividade demonstraram um efetivo envolvimento dos alunos, estimulados a dar liberdade a criatividade para contextualizar tópicos do conteúdo com a produção de versos de cordel e de tirinhas.

Os resultados apresentados nesta etapa da sequência de ensino corroboram com aquilo Moreira (2002) e Caruso, Carvalho, Silveira (2005) defendem em seus estudos. Pois verifica-se que a poesia popular e a arte dos quadrinhos na contextualização do conteúdo trabalhado em sala de aula podem tornar o ensino de Física mais prazeroso e estimula o desenvolvimento da capacidade imaginativa e criativas dos estudantes.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As discussões que se estenderam ao longo deste trabalho foram iniciadas com uma reflexão sobre a realidade do ensino de Física em escolas públicas de ensino médio do Brasil. Não é difícil concordar que existe um distanciamento das práticas realizadas nas aulas de Física nessas instituições em relação ao que determina os PCN. Os resultados da educação brasileira no cenário mundial também evidenciam que a maioria

dos jovens concluintes da educação básica, apresenta formação com índice de aprendizagem abaixo do que se prever as entrelinhas da LDB.

Responsabilizar apenas o professor, e sua respectiva formação, pelos problemas que afligem o processo de ensino-aprendizagem em ciências, é uma resposta reducionista e imediatista para um problema mais global. Os costumes, a cultura e a diversidade de perspectiva dos alunos pertencentes as inúmeras escolas, necessitam de soluções diferentes para a superação dos problemas de aprendizagem. Não há dúvidas que tais questões passam pela figura do professor que necessita de valorização profissional, melhores condições de trabalho, formação continuada e autonomia para refletir e desempenhar suas ações.

A experiência realizada neste trabalho demonstra que, mesmo diante de toda a problemática que envolve os baixos índices de aprendizado em Física entre os alunos da educação básica, é possível superar alguns obstáculos pelo planejamento e desenvolvimento de aulas mais dinâmicas. Envolver cultura, arte e ciências, de maneira integrada no meio escolar permite um aprendizado criativo, promovendo na comunidade estímulos ao desenvolvimento de ferramentas didáticas e métodos de ensino que superem os excessos de aulas tradicionais. Neste sentido, gestão pedagógica e professores, podem romper com o modelo atrasado de aulas tradicionais centradas em respostas prontas, com alunos atuando apenas como receptores de informações esperando um conhecimento pronto e acabado.

Inovar e superar as dificuldades estruturais das escolas, rompendo com o excesso de aulas expositivas que inibem a atuação criativa no estudo de ciências é uma tarefa árdua, porém necessária. Através do trabalho com o desenvolvimento de versos poéticos típicos da literatura popular e a produção de enredos com ilustrações características das histórias de quadrinhos no ensino de Física, foi possível realizar atividades diversificadas nas aulas, superando os massivos métodos tradicionais que inibem a atuação criativa dos discentes. A concretização das atividades propostas ocorreu de forma organizada e planejada, pautada em etapas de uma sequência de ensino que colocaram os estudantes como protagonistas das ações do processo de ensino-aprendizagem.

O resultado do trabalho com situações-problemas, que exigiu dos discentes as interpretações de conceitos e fenômenos, indicaram a compreensão do conteúdo ensinados. Todas as soluções propostas para as questões estudadas indicaram um grau de entendimento satisfatório do conteúdo trabalhado. Algumas equipes apresentaram maior capacidade de contextualização nas propostas de soluções, o que indicam uma

melhor assimilação dos conceitos e fenômenos estudados. O mais importante nas dinâmicas de resolução dos problemas é que para nenhuma das questões os grupos apresentaram entendimento insatisfatório. Tais resultados foram descritos de forma qualitativa e quantitativa, procurando apresentar de forma mais fiel possível as soluções propostas por cada grupo. Vale ressaltar que o processo de construção de soluções não buscou apresentar respostas prontas para serem julgadas como corretas ou erradas. Os alunos precisaram refletir sobre os conceitos e fenômenos estudados para construir soluções. Tal método valoriza o processo de construção do conhecimento e não a busca por respostas com palavra decoradas.

Do ponto de vista do envolvimento dos alunos nas atividades da sequência e de estímulo ao desenvolvimento da criatividade para o aprendizado de ciências, os resultados foram surpreendentes. Pois mesmo diante de temas abstratos os grupos desenvolveram versos de cordel e tirinhas contextualizando os fenômenos e conceitos que envolveram a interpretação de tópicos da mecânica quântica, corroborando com a ideia de que o ensino de ciências relacionado ao campo da cultura e arte pode estimular a capacidade criativa dos estudantes.

Vale ressaltar que a sequência de ensino não deve ser entendida como uma receita que levará ao sucesso da aprendizagem. O professor que está atento a realidade da sua instituição deve estar preparado para mudanças necessárias ao bom desempenho do processo. A sequência de ensino vai se desenvolvendo com planejamento e adaptações necessárias para atender as necessidades e peculiaridades da turma e da escola. Através do diálogo com a comunidade escolar é possível conquistar um ambiente favorável para o desenvolvimento de recursos didático e metodologias de ensino inovadoras, valorizando o fazer científico criativo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Márcia. *Histórias de cordéis e folhetos*. Campinas: Mercado de Letras: ALB, 1999.

ALVES, Rubem. *Filosofia da Ciência: introdução ao jogo e suas regras*. 9ª edição. São Paulo: Edições Loyola, 2005.

ANJOS, A. J. S. ; MOREIRA, M. A. ; SAHELICES M. C. C. *A matemática nos processos de ensino e aprendizagem em Física: funções e equações no estudo da quantidade de movimento e sua conservação*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34, n. 3, p. 673-696, dez. 2017.

AUSUBEL, David. P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Lisboa: Plátano, 2000.

AZEVEDO, M. C. P. S. Azevedo, *Ensino por Investigação: Problematizando as atividades em sala de Aula*. In *Ensino de Ciências: Unindo a Pesquisa e a Prática*. Organizado por Anna Maria Pessoa de Carvalho, Editora Thomson, 2004, Cap. 2

BOGDAN, R. ; BIKLEN, S. *Investigação qualitativa em Educação: fundamentos, métodos e técnicas*. Portugal: Porto Editora, 1994.

BRASIL. *Ministério da Educação e Cultura. LDB – Lei nº 9394/96*. Brasília: MEC, 1996.

_____. *Presidência da República. Lei nº 13.415/2017. Altera as Leis nos 9.394, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as diretrizes e bases da educação nacional, e 11.494, de 20 de junho 2007, que regulamenta o Fundo de Manutenção e Desenvolvimento da Educação Básica e de Valorização dos Profissionais da Educação, a Consolidação das Leis do Trabalho - CLT, aprovada pelo Decreto-Lei no 5.452, de 1o de maio de 1943, e o Decreto-Lei no 236, de 28 de fevereiro de 1967; revoga a Lei no 11.161, de 5 de agosto de 2005; e institui a Política de Fomento à Implementação de Escolas de Ensino Médio em Tempo Integral*. Brasília: MEC, 2017.

_____. *Orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias*. Brasília: MEC; SEMTEC, 2002.

_____. *Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. PCN+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: Ministério da Educação/Secretaria de Educação Média e Tecnológica, 2002a

CARUSO, Francisco; CARVALHO, Miriam; SILVEIRA, Maria Cristina. *Uma proposta de ensino e divulgação de ciências através dos quadrinhos*. *Ciência & Sociedade*, Rio de Janeiro, n.8. 2002.

_____; CARVALHO, Miriam; SILVEIRA, Maria Cristina. Ensino não-formal no campo das ciências através dos quadrinhos. *Ciência & Cultura*, Campinas, ano 57, n.4, p. 33-35, out.-dez. 2005.

_____; FEITAS, Nilton. *FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: O ESPAÇO-TEMPO DE EINSTEIN EM TIRINHAS*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 26, n. 2: p. 355-366, ago. 2009.

_____; SILVEIRA, Cristina. *Quadrinhos para a cidadania*. *História, Ciências, Saúde - Manguinhos*, v. 16, n. 1, jan-mar, 2009, pp. 217-236.

_____; OGURI, V., *Física Moderna, Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos*, Editora Campus, 2006.

CARVALHO, A. M. P. *Uma metodologia de pesquisa para estudar os processos de ensino e aprendizagem em salas de aula*. In: *A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias*. Ijuí, RS: Ed. Unijuí, 2006.

EISBERG, R., RESNICK, R. *Física Quântica*. Campus, Rio de Janeiro, 1986.

FREIRE, P. R. N. *Pedagogia da Autonomia: saberes necessários à prática educativa*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1996.

GERMANO, M. G. ; ANDRADE, R. R. D. ; NASCIMENTO, R. S. *INFLUÊNCIAS DA FÍSICA MODERNA NA OBRA DE SALVADOR DALÍ*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 24, n. 3: p. 400 - 423, dez. 2007.

GRECA, I. *Discutindo aspectos metodológicos da pesquisa em Ensino de Ciências: algumas questões para refletir*. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*. v. 2, n. 1, p. 73-82, jan./abr. 2002.

HEWITT, P. G. *“Física Conceitual”*; Ed. Bookman. RG. 9ª 2002.

LEMAIRE, R. *Fonte de informação e conhecimento, folclore ou literatura? O cordel como fenômeno multicultural*. 2013.

LIMA, J. M. *Literatura de cordel e ensino de Física: uma aproximação para a popularização da ciência*. 2013. 113f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.

LÜDKE, M. ; ANDRÉ, M. E. D. A. André. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.

MEDEIROS, A. e AGRA, J. T. N. *A astronomia na literatura de cordel*. Física na Escola, v.11, n.1, p.5-8, 2010.

MINAYO, Maria Cecília de Souza. Ciência, técnica e arte: o desafio da pesquisa social. In: MINAYO, Maria Cecília de Souza (org). *Pesquisa social: teoria, método e criatividade*. 21. Ed. Petrópolis: Vozes, 2002.

MOREIRA, I. C, *Poesia na sala de aula de ciências? A literatura poética e possíveis usos didáticos*. Física na Escola, v. 3, n. 1, 2002.

MOREIRA, I. C.; MASSARANI, L.; ALMEIDA, C. *Representações da ciência e da tecnologia na literatura de cordel*. Bakhtiniana, São Paulo, 11 (3): 5-25, Set./Dez. 2016.

MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa*. Brasília: Ed. da UnB, 1998.

_____; A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. In: _____. **Teorias da Aprendizagem**. 1. Ed. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária – EPU, 1999. Cap. 10.

_____. *Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências*. *A Teoria de Aprendizagem significativa*; Instituto de Física, UFRGS, 2009 (1ª edição), 2016 (2ª edição revisada) Porto Alegre, Brasil.

_____; *Organizadores Prévios e Aprendizagem Significativa* (Advancedorganizersandmeaningfullearning); Revista Chilena de Educación Científica, ISSN 0717-9618, Vol. 7, Nº. 2, 2008 , pp. 23-30. Revisado em 2012a.

_____; *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS*. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 2011, Vol. 1, N. 2, pp. 43-63

- _____; *Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS*.
Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful Learning Review, 1(2), 43-63,
2011.
- _____; ROSA, P. R. S. *Pesquisa em Ensino: Métodos Qualitativos e
Quantitativos*. Porto Alegre: Ed. dos Autores, 2016a.
- NOBRE, F. A. S. *Folhetos de Cordel Científicos: Um Catálogo e uma Sequência de
Ensino*. São Leopoldo: Trajetos Editorial, 2017.
- _____, *Os folhetos de Cordel como ferramenta didática para o ensino das
ciências*, p. 149-170. In. VOZES DA CULTURA POPULAR: Tradição, Movência e
Ressignificações. Organizado por Daniel Conte e Rafael Hofmeister de Aguiar.
Leopoldo-RS: Trajetos editorial, 2015.
- _____; SILVA, R. M. ; RAFAEL, R. F. ; ARAÚJO, K. M. G. *ESTUDANDO
TRANSFERÊNCIA DE CALOR UTILIZANDO FOLHETOS DE CORDEL
CIENTÍFICOS*. Revista do Professor de Física. Brasília, vol. 1, n. 1, 2017.
- _____; SILVA, R. M. ; RAFAEL, R. F. ; VIEIRA, L. A. *O ESTUDO DA
TERMODINÂMICA COM O USO DE FOLHETOS DE CORDEL*. Experiências em
Ensino de Ciências V.13, No.1, 2018.
- PEREIRA, M. L. A. A. ; OLENKA, O. ; OLIVEIRA, P. E. D. F. *Física em ação através
de tirinhas e histórias em quadrinhos*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n.
3, p. 896-926, dez. 2016.
- PEDUZZI, L. O. Q. *Do átomo grego ao átomo de Bohr*. Publicação interna.
Departamento de Física, Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.
- PERUZZO, J.; POTTKER, W. E.; PRADO T. G. *Física Moderna e Contemporânea:
das teorias quânticas e relativísticas às fronteiras da Física*. Vol.01, 2ª edição, Livraria
da Física, 2014.
- PIETROCOLA, M., POGIBIN, A., ANDRADE, R. de, ROMERO, T. R. *Coleção
Física em contextos: pessoal, social e histórico*, v. 3. 1. ed. São Paulo: FTD, 2010.
- SERWAY, R.A., JEWET JR., J.W. *Princípios de Física - óptica e Física moderna*. Vol.
4. 5ª ed. São Paulo: CENGAGE Learning, 2014

- SEVERINO, A. J. *Metodologia do trabalho científico*. 23^o ed. São Paulo: Editora Cortez, 2007.
- SILVA, M. S., RIBEIRO, D. M. S. *Ensino de Física no Sertão: Literatura de cordel como ferramenta didática*, Revista Semiárido De Visu, v.2, n.1, p.231-240, 2012.
- SILVA, J. J. A. *A utilização da literatura de cordel como instrumento didático-metodológico no ensino de geografia*. 2012. 157f. Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN, João Pessoa.
- SOUZA, E. O. R. e VIANNA, D. M. *Usando Física em quadrinhos para discutir a diferença entre inversão e reversão da imagem em um espelho plano*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 31, n. 3, p. 601-613, dez. 2014.
- TESTONI, L. A. *Um corpo que cai: as Histórias em Quadrinhos no Ensino de Física*. 2004. 158p.:II. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- VERGUEIRO, W. *Uso das HQS no ensino*. In: VERGUEIRO, Waldomiro (Org.). *Como usar as histórias em quadrinhos na sala de aula*. 4^a ed., 3^a reimpressão. São Paulo: Contexto, 2016. p. 7-30.

APÊNDICE**MATERIAL INSTRUCIONAL / PRODUTO EDUCACIONAL**

**TÓPICOS DE FÍSICA QUÂNTICA EM VERSOS DE CORDEL E ARTE DOS
QUADRINHOS, ENSINADOS À LUZ DE UMA UNIDADE DE ENSINO
POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA**

SAMUEL DOS SANTOS FEITOSA
FRANCISCO AUGUSTO SILVA NOBRE

Juazeiro do Norte
Março de 2019

Sumário

Apresentação	123
1. A história em quadrinhos	124
2. Proposta de uma sequência de ensino	142
3. Situações-problemas trabalhadas	145
4. Textos complementares para auxiliar na elaboração de versos de cordel e tirinhas	153
5. Relato de experiência da aplicação da HQ através da sequência de ensino proposta...	159
5.1 O primeiro encontro.....	159
5.2 O segundo encontro.....	165
5.3 O terceiro encontro	173
5.4 O quarto encontro	175
5.5 O quinto e sexto encontro	181
6. Considerações finais.....	184
7. Referências bibliográficas.....	185
Apêndice.....	186
Apêndice A – considerações teóricas	186
1 A Literatura de Cordel no ensino de Física	186
2 Quadrinhos no ensino de Física	191
3 A teoria da aprendizagem significativa	195
4 A Unidade De Ensino Potencialmente Significativa - UEPS	202
5 Referências.....	205

Apresentação

Este material instrucional apresenta, ao longo das seções, orientações teóricas e práticas para a aplicação, em sala de aula, da história em quadrinhos “*Os moldos e pelejas do átomo clássico até o átomo quântico*”, através de uma sequência de ensino. Ambos os recursos foram desenvolvidos como produto educacional do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF.

Tais ferramentas pedagógicas destinam-se ao ensino de tópicos de mecânica quântica, apresentando o conteúdo em versos populares e ilustrações da arte dos quadrinhos na perspectiva de facilitar a compreensão de conceitos e fenômenos abstratos que envolvem fenômenos que descrevem o comportamento da estrutura da matéria. A HQ e os textos complementares que trabalham o conteúdo de Física tiveram como referências principais as obras Hewitt (2002) e Pietrocola (2010).

Para realizar trabalhos em aulas de Física com os recursos didáticos citados acima este guia exhibe, inicialmente, a história em quadrinhos desenvolvida, a proposta de uma sequência de ensino para aplicação dessa ferramenta em aulas de Física e um material complementar para ajudar no desenvolvimento de etapas da sequência. Ele ainda apresenta as situações-problemas trabalhadas com os discentes e descreve uma experiência em sala de aula com a aplicação dessas ferramentas.

Vale ressaltar que as etapas da sequência de ensino são pautadas em aspectos sequenciais da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) e nos fundamentos da teoria da aprendizagem significativa.

O apêndice apresenta seções com argumentos teóricos e experiências exitosas da utilização da literatura de cordel e das histórias em quadrinhos (HQS) no ensino de Física. Em seguida realiza-se uma descrição da teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2000) e da Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) de Moreira (2011), para fundamentar o arcabouço teórico da proposta e orientar o desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem.

O professor que desejar se aprofundar nas discussões teóricas sobre os tópicos de Física Quântica abordados na História em Quadrinhos elaborada, o uso da Literatura de Cordel e da História em Quadrinhos no ensino de Física, além dos aspectos principais da Teoria da Aprendizagem Significativa e da UEPS podem consultar o apêndice deste material ou a própria dissertação que deu origem a este produto educacional.

1. A história em quadrinhos

Este produto apresenta o conteúdo em duas partes. Inicialmente retrata aspectos históricos sobre o estudo do átomo e descreve experiências científicas que corroboraram com o desenvolvimento da teoria clássica do átomo. Esta primeira parte é uma contextualização preparando os estudantes para o estudo de tópicos de Física Quântica, que surgem em fenômenos e teorias, estudados na parte 2 da HQ.



olá, sou o professor George Roman.
Meu personagem foi criado em homenagem
a uma pessoa muito especial com o mesmo
nome, que dedicou sua vida a mostrar aos
seus alunos que "A Física é linda" com seu
jeito alegre e divertido de dar aula. E en-
por aqui farei o mesmo, convidando vocês a
dar um passeio por esse mundo
espetacular que é a Física!



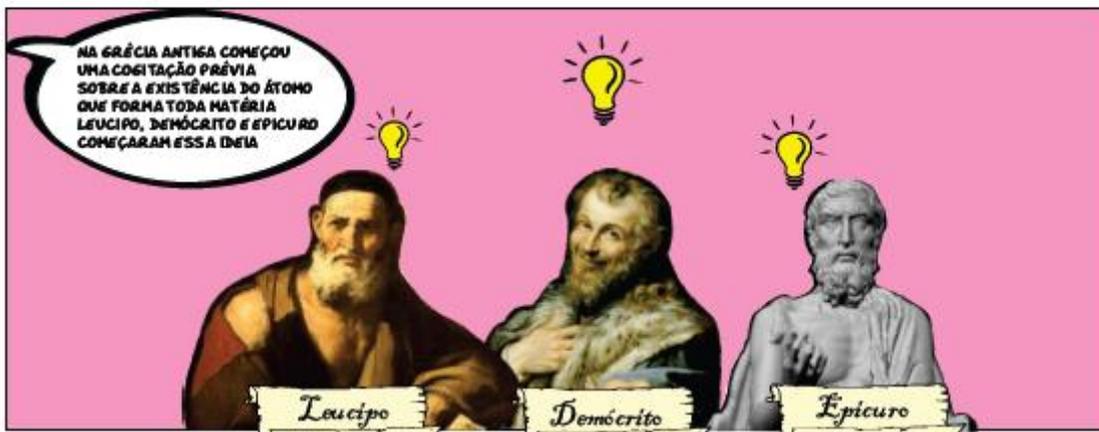
Este é o produto educacional fruto da dissertação de mestrado desenvolvida por Samuel dos Santos Feitosa, sob orientação do professor Francisco Augusto Silva Nobre, no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF, Pólo 31, da Universidade Regional do Cariri - URCA.

O autor desenvolve o enredo da História em Quadrinhos "Os moldos e peijas desde o átomo clássico até o átomo quântico", apresentando o conteúdo de mecânica quântica em versos de Cordel.

As ilustrações foram produzidas por Khennya Maria Gonçalves de Araújo, que com sua brilhante criatividade e afinidade com a arte dos quadrinhos também tecer desenhos que enriqueceram a comunicação da história.



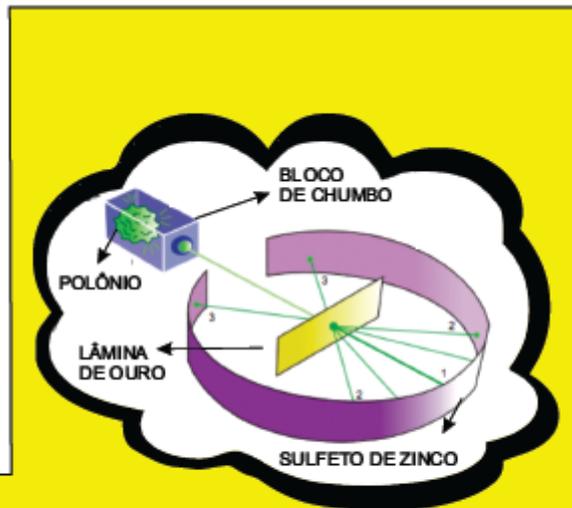
PARTE 1 - FÍSICA CLÁSSICA





PARA EXPLICAR O ÁTOMO FORAM MUITAS TENTATIVAS DIVIDINDO-O EM PARTÍCULAS POSITIVAS, NEGATIVAS VÁRIOS MODELOS ATÔMICOS COM IDEIAS CONSTRUTIVAS

MAS UM EXPERIMENTO USANDO RADIAÇÃO TRILHOU O CAMINHO PARA NOVA EXPLICAÇÃO FOLHA DE OURO É O NOME DESSA HISTÓRICA INVENÇÃO



DELE SURTIU O NÚCLEO DE MANEIRA DECISIVA RUTHERFORD USOU FONTE RADIOATIVA EMITINDO RAIOS ALFA QUE TEM CARGA POSITIVA

O CATRA ERA SABIDO UM MATUDO INTELIGENTE USOU AS PARTÍCULAS ALFA LANÇANDO RAIOS INCIDENTE NUMA FINA LÂMINA DE OURO UMA IDEIA COERENTE

PARTIDO RAIOS DE PARTÍCULAS PASSOU RETO, ATRAVESSOU OUTRO TANTO ATÉ CRUZOU MAS DEPOIS QUÊ DESVIOU TEVE RAIOS QUE REFLETIU QUANDO BATEU, RETORNOU

A EXISTÊNCIA DE UM NÚCLEO FOI ASSIM EVIDENCIADA POIS AS PARTÍCULAS RADIOATIVAS QUANDO DIRECIONADAS PARA UMA FINA LÂMINA DE OURO FORAM EM PARTE ESPALHADA.

O ESPALHAMENTO OCORREU "PRO MODE" DA COLISÃO NUMA GRANDE INTERAÇÃO ENTRE PARTÍCULAS RADIOATIVAS E ESSA NOVA REGIÃO



PARTE 2 - FÍSICA QUÂNTICA

TIO GEORGE ESTÁ DE VOLTA PRA ESTUDAR A NATUREZA DA ESTRUTURA DA MATÉRIA TRABALHANDO COM CLAREZA TÓPICOS DA FÍSICA QUÂNTICA PRA ENTENDER SUA TELEZA

Teoria Quântica

NO INÍCIO DO SÉCULO XX TEVE UMA REVOLUÇÃO COM A TEORIA QUÂNTICA PROPONDO NOVA VISÃO PARA OS ESTUDOS DA MATÉRIA APRESENTOU EXPLICAÇÃO

A ORIGEM DA TEORIA QUÂNTICA FOI A PLANCK ATRIBUÍDA AO EXPLICAR QUE A RADIAÇÃO POR UM CORPO TRANSMITIDA OCORRE DE FORMA QUANTIZADA EM PACOTES #MITDA

O QUE PLANCK QUIS DIZER. MEI AQUI EXEMPLIFICAR QUANDO ÁTOMO ADQUECER E ENERGIA LIBERAR. LUZ COM CORES DIFERENTES ELE IRÁ IRRADIAR.

Temperatura Ambiente	Temperatura 2000K	Temperatura 4000K	Temperatura 6000K

Max Planck

NO FINAL DO SÉCULO XIX SE BUSCAVA EXPLICAÇÃO PARA OS GASES AQUECIDOS QUE EMITEM RADIAÇÃO COM LINHAS COLORIDAS SEPARADAS NO SEU ESPECTRO DE EMISSÃO

POIS SE A RADIAÇÃO ESTIVER SENDO LANÇADA PARA UM PRISMA TRANSPARENTE ONDE ELA É DESVIADA OCORRE A DISPERSÃO SUA LUZ É ESPALHADA

Gás

Bico de Bunsen

Prisma

Espectro de Emissão

O ARRETTADO MAX PLANCK PENSOU NUMA SOLUÇÃO: PROPôs A ENERGIA DES CONTINUA NA ABSORÇÃO E NA TRANSMISSÃO LIBERADAS EM PACOTES: QUANTA DE RADIAÇÃO

DA IDÉIA DESSE MACHO VÊ SURTIU A QUANTIZAÇÃO AO ESTUDAR TROCA DE ENERGIA SEJA NA ABSORÇÃO OU EMISSÃO DOS CORPOS AQUECENDO QUE EMITEM RADIAÇÃO

Temperatura 300K	Temperatura 3200K	Temperatura 1750K	Temperatura 300K
------------------	-------------------	-------------------	------------------

A TEORIA QUÂNTICA DO ÁTOMO SURTIU COM NIELS BOHR AO JUNTAR A IDÉIA DE PLANCK E O ESTUDO DE ROTHERFORD USOU CONCEPTO DE QUANTIZAÇÃO PRA EXPLICAR TUDO MELHOR

Rutherford + Planck = Bohr

O NÚCLEO CONTINUOU NO CENTRO RODEADO POR CAMADAS SEPARADAS UNAS DAS OUTRAS EM ÓRBITAS E SPAÇADAS ELAS SÃO OS NÍVEIS DE ENERGIAS POR ELÉTRONS OCUPADAS

NA ELETROFERA A ENERGIA DO ELÉTRON É QUANTIZADA EM CADA CAMADA O SEU VALOR TERÁ MEDIDA FIXADA E A DISTÂNCIA DE CADA ÓRBITA PRA O NÚCLEO É VARIADA

TEM O MENOR NÍVEL DE ENERGIA, ESTADO FUNDAMENTAL, DEPOIS SEGUNDO, TERCEIRO... SEGUNDO A ORDEM NATURAL COM ENERGIA VAI AUMENTANDO NÉSSA ESTRUTURA SEQUÊNCIA

BORH MELHOROU AS ÓRBITAS COM A SUA TEORIA EXPLICOU O SALTO QUÂNTICO ONDE O ELÉTRON PULAVA DE UMA CAMADA PARA OUTRA AO MUDAR A ENERGIA

ESSE FENÔMENO INTERESSANTE NÓS IREMOS ESTUDAR POIS SALTOS ENTRE CAMADAS OS ELÉTRONS PODEM DAR PULANDO DE NÍVEL PARA OUTRO SE A ENERGIA VARIAR

PERTO OU LONGE DO NÚCLEO UM ELÉTRON PODE ESTAR COM VALOR DE ENERGIA FIXA NA ÓRBITA QUE OCUPAR POIS A MEDIDA É QUANTIZADA NO NÍVEL QUE ELE FICAR

O ELÉTRON NÃO LIBERA LUZ POR ESTAR ACCELERADO ELA VEM DO SALTO QUÂNTICO POR ELE REALIZADO EMITINDO RADIAÇÃO PELO FÓTON LIBERADO

O ELÉTRON RECETE RADIAÇÃO E SOBE PARA OUTRO ESTADO QUANDO PERDE ENERGIA OFÓTON É EMITIDO ELE VOLTA PRA UM NÍVEL MENOR DEIXA TUDO EQUILIBRADO

AS LINHAS NOS ESPECTROS APARECEM COLORIDAS DEPENDEM DAS FREQUÊNCIAS PELOS FÓTONS TRANSMITIDAS VÁRIOS ELÉTRONS ESTÃO AL TANDO TENDO LUZES EMITIDAS

FÓTONS SÃO PARTÍCULAS DE LUZ COM FREQUÊNCIA ASSOCIADA ELA DEPENDE DA RADIAÇÃO NA TRANSIÇÃO LIBERADA QUANTO MAIOR O SALTO MAIS ENERGIA É LIBERADA

O MODELO ATÔMICO DE BOHR FOI UMA CRIAÇÃO ARRETTADA A ENERGIA DO FÓTON POR ELE FOI CALCULADA MULTIPLICANDO A CONSTANTE DE PLANCK COM FREQUÊNCIA IRRADIADA

energia

$$E = hf$$

constante de Planck

frequência

A RADIAÇÃO DO ELÉTRON TEM SUA MEDIDA IGUAL A ENERGIA DO ESTADO FINAL SUBTRAÍDA A INICIAL É LIBERADA PELO FÓTON NO SALTO FENOMENAL

NESTE TIPO DE SALTO QUÂNTICO OS ELÉTRONS VÃO PERDER UMA QUANTIDADE DE ENERGIA QUE O FÓTON VAI RECEBER COM TODA ESSA EXPLICAÇÃO FICOU FÁCIL DE ENTENDER

NÚCLEO

E_1 E_2

ENERGIA LIBERADA $E_2 - E_1$

JÁ QUANDO ABSORVER RADIAÇÃO OS ELÉTRONS VÃO AUMENTAR O SEU NÍVEL DE ENERGIA E DE ÓRBITA MUDAR QUANTO MAIOR A QUANTIDADE MAIS LONGE PODE SALTAR

NÚCLEO

E_1 E_2

ENERGIA RECEBIDA $E_2 - E_1$

QUANDO O ÁTOMO RECEBE ENERGIA NÃO ESPECTRO DE ABSORÇÃO MAS SE UMA QUANTIDADE FOR LIBERADA TEM O ESPECTRO DE EMISSÃO ESSAS TROCAS SÓ ACONTECEM DEVIDO A QUANTIZAÇÃO

O FÓTON É EMITIDO OU LIBERADO EMITE RADIAÇÃO POIS O ELÉTRON PERDE ENERGIA E SOFRE UMA TRANSIÇÃO DE UM MAIOR NÍVEL DE ENERGIA PRA O MAIS BAIXO MEU PATRÃO

A ENERGIA DESSE FÓTON TEM A VER COM AS CAMADAS POIS DEPENDE DA DISTÂNCIA QUE SEPARAM AS CAMADAS O VALOR SERÁ MAIOR ESTANDO MAIS AFASTADAS

A COR DESSE FÓTON SERÁ INFLUENCIADA PELA QUANTIDADE DE RADIAÇÃO QUE POR ELE É LEVADA QUANTO MAIS ENERGIA MAIOR FREQUÊNCIA AGRÉGADA

FÓTON DE ALTA ENERGIA

FÓTON DE BAIXA ENERGIA

ENTÃO PRESTE ATENÇÃO POIS É FÁCIL ENTENDER QUE A ENERGIA DESSES FÓTONS É BEM SIMPLES DE PREFER QUANTO MENOR O SEU VALOR BAIXA FREQUÊNCIA ELE VAI TER

É IMPORTANTE ENTENDER. PRESTE ATENÇÃO VOU CONTAR QUE PARA CADA ELEMENTO SEU ÁTOMO VAI MOSTRAR PRÓPRIOS NÍVEIS DE ENERGIAS COM ARRANJO SINGULAR.

HIDROGÊNIO

CARBONO

HÉLIO

MERCÚRIO

HIDROGÊNIO

HÉLIO

MERCÚRIO

POR ISSO CADA ELEMENTO É QUE IRÁ APRESENTAR SUAS LINHAS ESPECTRAIS COM PADRÃO PARTICULAR OS SALTOS DOS SEUS ELÉTRONS CORES ÚNICAS VAI DAR

O ÁTOMO DE CADA ELEMENTO TEM PRÓPRIA DIMENSÃO ÚNICO NÚMERO DE ELÉTRONS QUE OBEDECEM UM PADRÃO SUA DISTRIBUIÇÃO ELETRÔNICA TEM ÚNICA ARRUMAÇÃO

HIDROGÊNIO

CARBONO

PRÓTONS: 1
ELÉTRONS: 1

PRÓTONS: 6
ELÉTRONS: 6

EM 1924 DE BROGLIE APRESENTOU UMA NOVA EXPLICAÇÃO PARA O MOVIMENTO DO ELÉTRON QUE APRESENTA OSCILAÇÃO SE COMPORTANDO COMO ONDA BRILHANTE INTERPRETAÇÃO

Louis de Broglie

COM MOVIMENTO ONDULATÓRIO O ELÉTRON INDICARÁ DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA QUE NO ÁTOMO HAVERÁ QUANTO MAIS EXTERNA A ÓRBITA MAIS VEZES OSCILARÁ

QUANDO O ELÉTRON OSCILAR VAI PERCORRER UMA DISTÂNCIA REALIZANDO UM MOVIMENTO SEM PERDER SUA ELICIDADE ENTÃO VAMOS ENTENDER PORQUE ISSO TEM IMPORTÂNCIA

AO COMPLETAR O MOMENTO O ELÉTRON VAI APRESENTAR NÚMERO DE OSCILAÇÕES PARA ENTÃO DETERMINAR CADA NÍVEL DE ENERGIA COM VALOR PARTICULAR

Nível 1
1 comprimento de onda

Nível 2
2 comprimentos de onda

Nível 3
3 comprimentos de onda

Nível 4
4 comprimentos de onda

órbita 1
órbita 2
órbita 3
órbita 4

QUERO DIZER QUE CADA ÓRBITA TERÁ SUA DIMENSÃO DADA PELO COMPRIMENTO DE ONDA E O TOTAL DE OSCILAÇÃO QUE MULTIPLICADOS DÁ O VALOR DA EXTENSÃO

comprimento circunferência

$$C = n\lambda$$

número de oscilação

comprimento de onda

A CIRCUNFERÊNCIA DA ÓRBITA ONDE O ELÉTRON HABITAR TERÁ MAIOR COMPRIMENTO QUANTO MAIS ELE VIVER JÁ NA ÓRBITA MAIS INTERNA SÓ UMA VEZ VAI OSCILAR

NO SEGUNDO NÍVEL DE ENERGIA DUAS VEZES VAI VOLTAR NO TERCEIRO NÃO É DIFERENTE TRÊS VEZES ATÉ PARA SEGUIR O AS OSCILAÇÕES QUANTAS VEZES PRECISAR

CADA ÓRBITA TEM COMPRIMENTO E A MEDIDA É PADRÃO O MOMENTO DO ELÉTRON EXPLICA A QUANTIZAÇÃO A ENERGIA EM CADA NÍVEL É FRUTO DA OSCILAÇÃO

n=1

n=2

n=3

n=4

NO ÁTOMO QUÂNTICO MODELO MAIS ATUAL NÃO SE LOCALIZA O ELÉTRON EM POSIÇÃO PONTUAL. CALCULAMOS A PROBABILIDADE DELE ESTÁ EM UM LOCAL.

ORBITAIS TRIDIMENSIONAIS SCHRÖDINGER INVENTOU E OS FENÔMENOS ATÔMICOS TAL TEORIA EXPLICOU ATRAVÉS DA FUNÇÃO DE ONDA QUE ESSE CABRA FORMULOU

$$-\frac{\hbar^2}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + U\psi = E\psi$$

NUVENS ELETRÔNICAS APARECEM PARA ILUSTRAR ONDE O ELÉTRON PODE ESTAR. SÃO ONDAS DE PROBABILIDADE QUE PODEMOS CALCULAR.

Schrödinger

A AMPLITUDE DA ONDA NOS FORNECE A INFORMAÇÃO DA PROBABILIDADE DO ELÉTRON ESTÁ NUMA REGIÃO MAS NÃO DEFINE EXATAMENTE QUAL A SUA POSIÇÃO.

DA FÍSICA CLÁSSICA À QUÂNTICA FOI UMA LONGA CONSTRUÇÃO. ESPERO QUE VOCÊS BUSQUEM MAIS INFORMAÇÃO POR AQUI. VAMOS FICANDO ENCERRANDO A DISCUSSÃO.

FIM

Agradecimentos:

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES e a Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico FUNCAP, pelo suporte financeiro para o desenvolvimento deste trabalho.

E a Sociedade Brasileira de Física - SBF, por abraçar o Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF / PROFISICA.



Autor:
Samuel dos Santos Feitosa



Desenhos e Arte Final:
Khennya Maria Gonçalves de Araújo



Diagramado e impresso em:
Garagem Gráfica



*Universidade Regional
do Cariri - URCA*

MNPEF Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física
Polo 31 - URCA - Juazeiro do Norte-CE



2. Proposta de uma sequência de ensino

O processo de intervenção proposto a seguir prever que o trabalho ocorra em no mínimo 9 aulas de 45 minutos. As etapas da sequência se baseiam em atividades que tentam obedecer a ordem cronológica dos aspectos sequências de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS), objetivando trabalhar o conteúdo de forma sistematizada, pautado na busca por soluções para situações-problemas e no desenvolvimento da criatividade dos discentes. Destaca-se na metodologia de ensino aqui proposta, o relevante papel da participação ativa dos estudantes.

No primeiro encontro deve ser esclarecido para os discentes como se dará a participação deles nas etapas da intervenção, enfatizando que na sequência de ensino estão previstas atividades coletivas e colaborativas, com dinâmicas de ensino que colocam o aluno como protagonistas do processo de construção do conhecimento. Ou seja, as principais ações do processo de ensino-aprendizagem serão desempenhadas pelos discentes.

Deve ficar evidente que esta sequência de ensino tem inspiração em aspectos teóricos e sequenciais de uma UEPS, envolvendo atividades que contemplem aspectos relevantes da teoria da aprendizagem significativa. Porém, em alguns momentos envolverá peculiaridades da ferramenta de ensino trabalhada e da realidade do público local.

A ferramenta pedagógica será trabalhada pela recitação típica dos cordéis e pela elaboração de situações-problemas que exigirão a interpretação do seu enredo. Ela também será utilizada para aguçar o pensamento criativo do estudante, que serão estimulados a produzirem versos de cordel e tirinhas sobre tópicos do conteúdo. Outro fator que irá determinar as ações das etapas da sequência proposta a seguir será a dinâmica dos alunos na instituição e a respectiva distribuição de aulas.

A quadro abaixo apresenta os encontros e etapas da sequência de ensino, além da descrição das atividades a serem realizadas ao longo do processo de intervenção.

ATIVIDADES	DESCRIÇÃO
1. <i>Apresentação da proposta</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar a metodologia do processo de intervenção, a métrica sextilha para escrever estrofes em versos de cordel e como produzir algumas modalidades de quadrinhos.
2. <i>Esquema conceitual para trabalhar o conteúdo presente na parte 1 da HQ</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver um esquema conceitual a partir de perguntas introdutórias sobre tópicos do conteúdo da estrutura da matéria no âmbito da Física clássica no intuito de realizar um diagnóstico dos conhecimentos prévios da turma a respeito do

	tema.
3. <i>Recitação da HQ parte 1 – Física Clássica</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar os conceitos iniciais e aspectos históricos com eventuais explicações clássicas para os fenômenos da estrutura da matéria necessários para o melhor entendimento de futuros conceitos a serem estudados na introdução do conteúdo de mecânica quântica.
4. <i>Apresentação das situações-problemas relacionadas a parte 1 da HQ</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Destacar na apresentação das questões os conceitos e fenômenos mais relevantes que envolvem a parte inicial do quadrinho sobre o estudo da Física clássica.
5. <i>Buscando soluções em equipe para as primeiras situações-problemas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Trabalhar situações-problemas de forma introdutória sobre as explicações da Física clássica para os conceitos, eventos e fenômenos atômicos, em consonância com o esquema conceitual inicial que envolve os conhecimentos prévios dos discentes.
6. <i>Primeira atividade colaborativa</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Possibilitar a negociação de significados pelo diálogo entre as equipes que buscam soluções para os problemas através do trabalho com situações-problemas, porém através de uma dinâmica coletiva de colaboração.
7. <i>Organizando o conhecimento para os conceitos e fenômenos investigados na parte 1 da HQ.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Ajudar os discentes a superar os obstáculos encontrados na compreensão de fenômenos e conceitos. Permitindo ao professor que acompanhou as ações dos alunos a possibilidade de atuar de forma objetiva para otimizar o processo de organização do conhecimento.
8. <i>Diagnóstico do conhecimentos prévios e introdução do conteúdo</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Fazer um diagnóstico prévio do conteúdo a ser ensinado através da construção de um esquema conceitual, abordando os tópicos mais relevantes do conteúdo presente na parte 2 da HQ. Neste momento surgem os primeiros temas relacionados ao estudo da mecânica quântica.
9. <i>Recitação da HQ parte 2 – Mecânica Quântica</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Apresentar os conceitos e fenômenos mais relevantes do tema estudado, através da recitação do conteúdo que envolve o estudo de tópicos de mecânica quântica.
10. <i>Apresentação das situações-problemas relacionadas a parte 2 da HQ</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Trabalhar novas situações-problemas destacando os aspectos mais relevantes do conteúdo, trabalhando os conceitos mais importantes. As questões envolvem um nível maior de complexidade em relação as trabalhadas na parte 1 da HQ e sua elaboração passa pelo objetivo de fazer os discentes investigarem os fenômenos e conceitos dos tópicos de mecânica quântica.
11. <i>Buscando soluções em equipe para as segundas situações-problemas</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Desenvolver trabalho em equipes para a construção de soluções para as situações-problema relacionadas a parte 2 da HQ. Tais questões envolvem um nível maior de complexidade e devem ser trabalhadas pela leitura e interpretação do quadrinho. O professor acompanhará de perto todo o processo de investigação, provocando e estimulando o debate entre os membros das equipes para que possam propor alternativas para solucionar os problemas.
12. <i>Segunda atividade colaborativa</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Estimular a capacidade de diálogo entre as equipes pela troca de trabalhos. Um grupo terá acesso ao trabalho de outros colegas para que

	<p>analisem as respostas, aprendam e proponham novos caminhos para as soluções. Está deve configurar-se como uma atividade de colaboração e complementação de informações. A negociação de significados passa pelo processo de reflexão e internalização dos conceitos e fenômenos estudados.</p>
<p><i>13. Nova fase de organização do conhecimento</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Organizar o conhecimento levando em consideração o processo de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. O professor deve atuar de forma mais tradicional, trabalhando o conteúdo de forma expositiva. Ele vai centralizar as ações do processo de construção do conhecimento. Ele deve trabalhar o conteúdo partindo de conceitos mais gerais até os mais específicos para ajudar as equipes a superarem os obstáculos que dificultam o processo de assimilação e retenção significativa.
<p><i>14. Planejamento para produção de estrofes com versos de cordel e tirinhas</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Estimular a produção de versos de cordel e tirinhas. O professor deve dividir os tópicos principais do conteúdo, aqueles que envolvem conceitos e fenômenos quânticos na matéria de estudo, e propor que cada equipe faça a contextualização do conteúdo produzindo cordéis e tirinha.
<p><i>15. Apresentações dos versos de cordel e tirinhas produzidas pelas equipes</i></p>	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar o processo internalização de conceitos e desenvolvimento da capacidade criativa e imaginativa dos discentes pelo processo de produção artística envolvendo a descrição de conteúdo.

3. Situações-problemas trabalhadas

As questões trabalhadas com os discentes foram divididas em duas partes e ocorreram em momentos distintos da sequência de ensino. Elas envolvem gradativamente maior nível de complexidade.

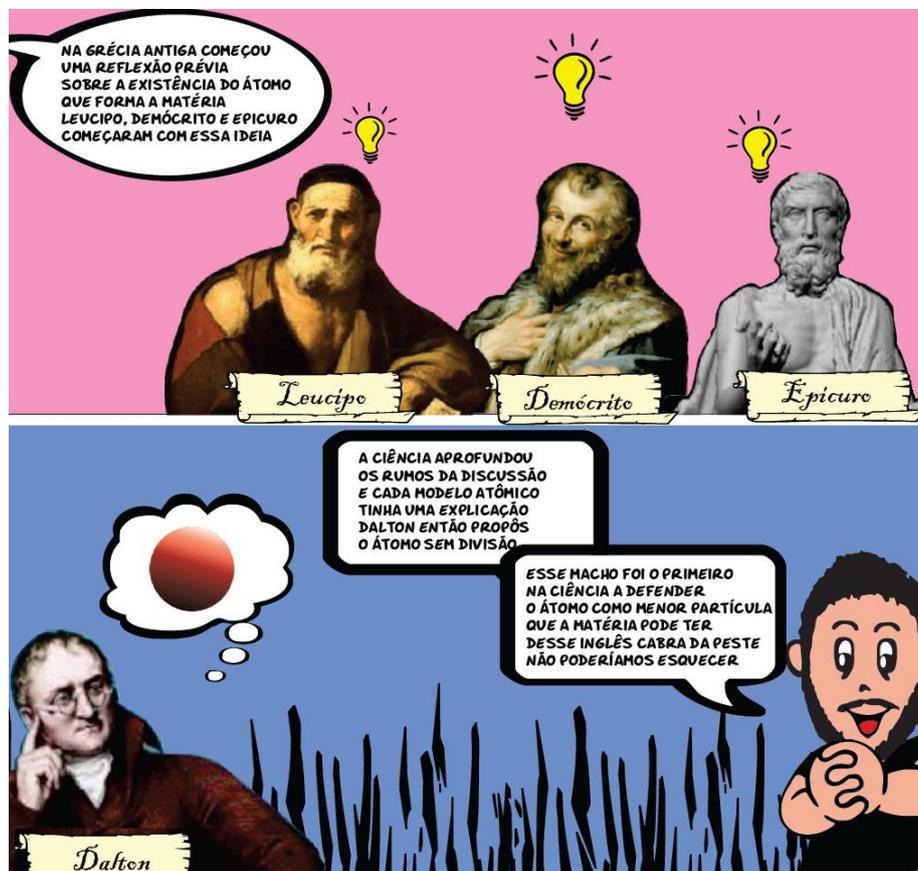
QUESTÕES COM A PARTE 1 DA HISTÓRIA EM QUADRINHOS

As primeiras situações-problemas abordavam o contexto histórico da ideia de existência do átomo. Também aparecem algumas experiências científicas que contribuíram para a ideia clássica dos modelos atômicos.

1º SITUAÇÃO-PROBLEMA

As primeiras ideias tratando da existência de átomo, como partícula fundamental que constitui a matéria, surgiram na Grécia Antiga. Mesmo com as discussões atomistas vigentes ao longo dos séculos XVII e XVIII, somente no início do século XIX que esse tema passa a adquirir o status de teoria científica. Através do trabalho de Dalton surgiu a teoria atômica científica.

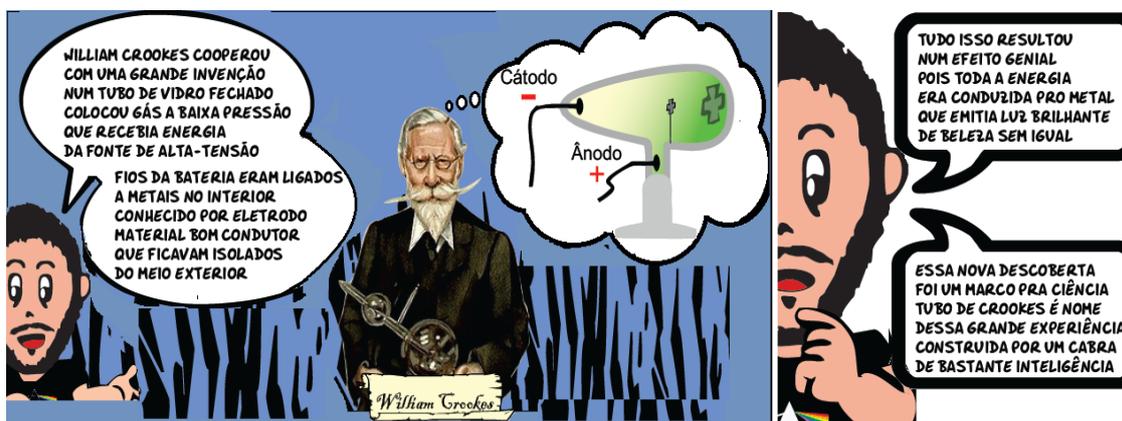
É importante ressaltar que o átomo grego não é um precursor do átomo de Dalton. A ideia de um átomo como a menor parte da matéria, discutida por Leucipo, Demócrito e Epicuro, no século V a.C., apresenta caráter intuitivo, especulativo e teórico. Já o atomismo de Dalton, que data de 1808, surge de evidências experimentais, com bases conceituais e epistemológicas típicas de uma teoria científica.



Diante do colocado acima, descreva as principais similaridades entre a ideia de átomo proposta pelos filósofos gregos e ao modelo atômico proposto por Dalton. Também explique em que sentido o átomo dos gregos é diferente do modelo atômico proposto por Dalton.

2º SITUAÇÃO-PROBLEMA

O século XIX chega ao fim com a constatação de que átomo não é o último limite de divisão da matéria. As primeiras indicações de que poderia haver partículas ainda menores na composição dos átomos foi obtido pelo cientista inglês William Crookes, ao realizar descargas elétricas com baterias em tubos de raios catódicos.



Descreva o material utilizado por William Crookes para realizar suas experiências em tubos de vidros e explique o procedimento experimental realizado por ele. Em seguida fale qual foi o efeito provocado por esse experimento e o que os resultados indicavam.

3º SITUAÇÃO-PROBLEMA

Em 1897 Joseph John Thomson (1856-1940) fez um relato das suas investigações com descargas elétricas em tubos de raios catódicos. Na época haviam divergências quanto a natureza dos raios catódicos. Alguns acreditavam que eram algum tipo de onda. Outros acreditavam que os raios catódicos eram compostos por partículas. Depois de realizar algumas mudanças no experimento de William Crookes, o físico britânico Joseph John Thomson conseguiu determinar uma relação entre a carga e a massa dos raios catódicos. Então ele concluiu que se tratava de partículas carregadas.

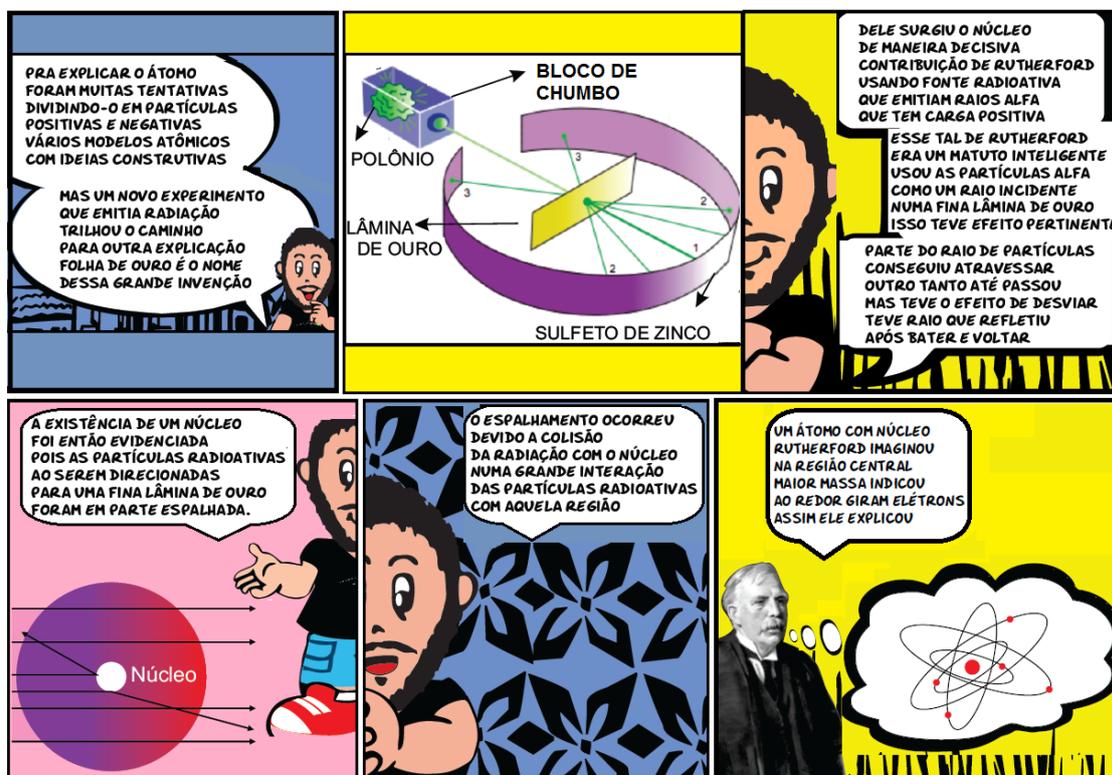
Thomson ainda verificou que esses corpúsculos carregados eletricamente eram exatamente os mesmos, quaisquer que fossem os elementos do catodo, do anodo e do gás dentro do tubo. Então ele demonstrou empiricamente, que os raios catódicos seriam formados por constituintes universais de matéria, ou seja, mostrou que o átomo não é indivisível e tem partículas menores.



A seguir explique qual a partícula descoberta por Thomson e a natureza da sua carga. Descreva o modelo atômico proposto por Joseph John Thomson.

4º SITUAÇÃO PROBLEMA

Em 1911, através do conhecido experimento da folha de ouro, Rutherford deu uma grande contribuição para a Física de Partículas Experimental. Ele fez incidir um feixe de partículas α (alfa) sobre uma lâmina de ouro no laboratório. Os resultados de suas experiências o levaram a propor um novo modelo atômico.



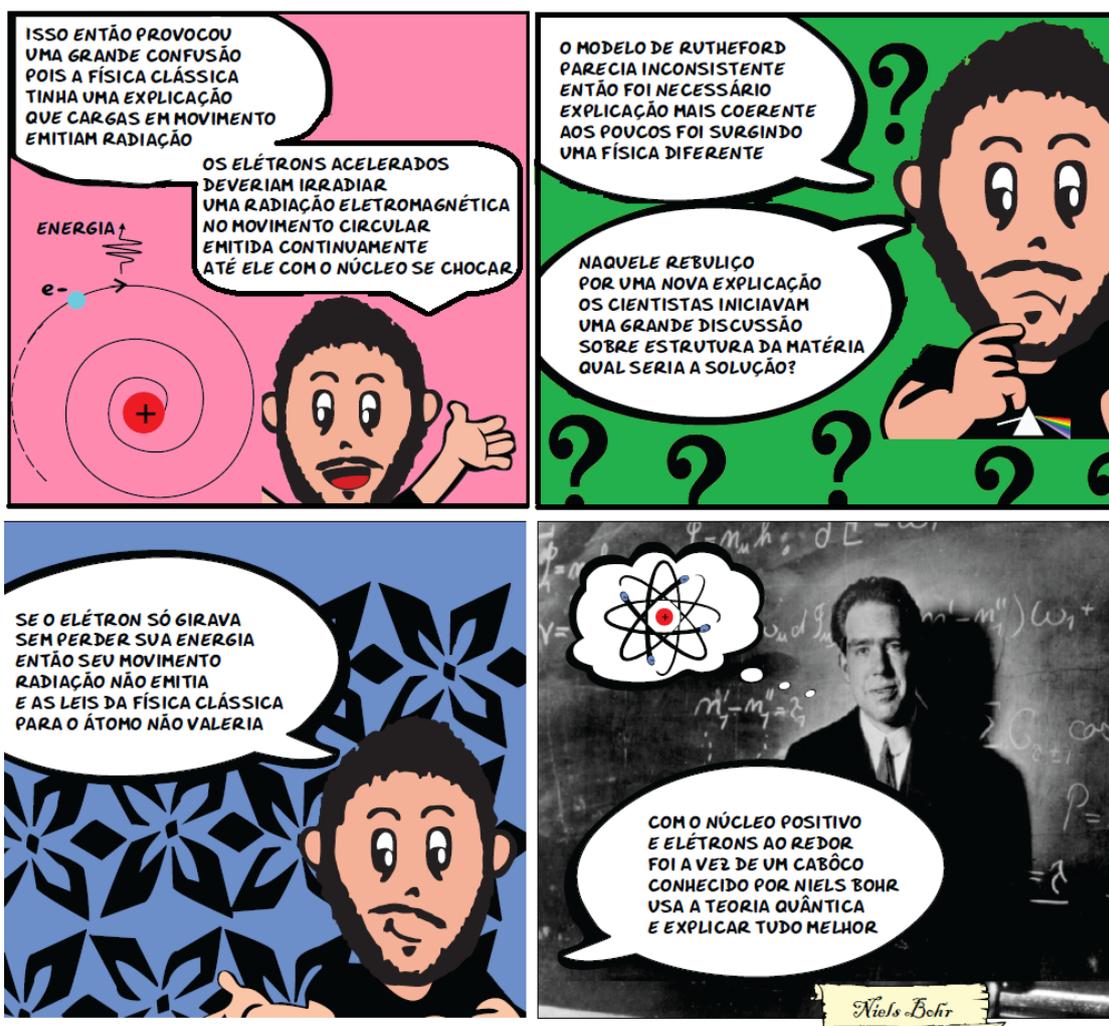
Baseado nas informações acima resolva os tópicos a seguir:

- Descreva o experimento da folha de ouro realizada por Rutherford.
- O que os resultados dessa experiência indicaram?

c) Explique o modelo atômico proposto por Rutherford.

5º SITUAÇÃO PROBLEMA

Mesmo após as descobertas de Rutherford não foi possível resolver o problema da estabilidade do átomo. Logo se percebeu que o modelo de Rutherford apresentava inconsistências impossíveis de serem explicadas pelas teorias da Física Clássica.



Explique as inconsistências que o modelo atômico proposto por Rutherford apresenta quando tentamos explicar o átomo através da teoria clássica.

QUESTÕES COM A PARTE 2 DA HISTÓRIA EM QUADRINHOS

As situações-problemas da parte 2 da HQ iniciam os estudos e conceitos de tópicos de Física Quântica relacionados a compreensão dos fenômenos inerentes ao comportamento da estrutura da matéria.

6ª SITUAÇÃO-PROBLEMA

A luz do sol quando passa por um prisma emite espectro contínuo. O mesmo ocorre com a radiação emitida por corpos opacos (sólido ou fluido muito denso) quando são aquecidos. Já os gases quando passam pelo processo de aquecimento emitem um espectro discreto. O estudo da espectroscopia deu uma grande contribuição para o desenvolvimento da Física Quântica.

NO FINAL DO SÉCULO XIX SE BUSCAVA UMA EXPLICAÇÃO PARA OS GASES AQUECIDOS QUE EMITIAM RADIAÇÃO COM LINHAS COLORIDAS SEPARADAS. NO ESPECTRO DE EMISSÃO QUANDO A ENERGIA RADIANTE TEM SUA LUZ DIRECIONADA PARA UM PRISMA TRANSPARENTE ONDE A LUZ É DESVIADA OCORRE A DISPERSÃO E SUAS CORES SÃO ESPALHADAS.

Gás

Bico de Bunsen

Prisma

Espectro de Emissão

AO AQUECER A AMOSTRAS DE GÁS COM UMA CHAMA TRANSPARENTE BUNSEN E KIRCHHOFF PERCEBERAM A EMISSÃO DE LUZ DISCRETAMENTE. NAS OS CIENTISTAS NÃO ENTENDIAM ESPERAVAM EMISSÃO CONTINUAMENTE.

Espectro de luz discreto

gás Hidrogênio

Kirchhoff

Bunsen

O ESPECTRO QUANDO É DISCRETA TEM AS LINHAS ESPAÇADAS QUANDO PRÓXIMAS SÃO CONTÍNUAS E NÃO APARECEM SEPARADAS ENTENDER ESSA CONFUSÃO FOI UMA GRANDE EMPREITADA.

ESSE FORMA DE RADIAÇÃO A FÍSICA CLÁSSICA NÃO EXPLICAVA O QUE ISSO PROVOCARIA JAMAIS SE IMAGINAVA NOVAS IDEIAS FORAM SURGINDO E SÓ NISTO SE FALAVA.

luz branca

Espectro contínuo

gás

Espectro discreto

O ESPECTRO COM LINHAS COLORIDAS MUDAVAM PARA CADA GÁS ELAS FICARAM CONHECIDAS COMO RAIAS ESPECTRAIS CADA ELEMENTO TEM UM ARRANJO ATÉ PARECEM AS DIGITAIS.

HIDROGÊNIO

HÉLIO

MERCÚRIO

Baseado no que foi estudado até aqui, responda:

- O que é o espectro?
- Explique a diferença entre o espectro contínuo e discreto (descontínuo).

7º SITUAÇÃO-PROBLEMA

Um novo e revolucionário conceito foi introduzido na Física por Max Planck (1858-1947), em 1900. Ele propôs que a radiação emitida por um corpo negro só pode assumir determinados valores de energia. Foi estudando a emissão de radiação por corpos aquecidos que Planck conseguiu explicar o espectro de radiação emitido por um corpo negro. As ideias de Planck dão origem ao desenvolvimento da Física Quântica, diante da insuficiência que a Física Clássica apresentava quando tentava explicar os fenômenos que envolviam a compreensão da estrutura dos átomos.

A ORIGEM DA TEORIA QUÂNTICA FOI A MAX PLANCK ATRIBUÍDA AO EXPLICAR QUE A RADIAÇÃO POR UM CORPO TRANSMITIDA OCORRE DE FORMA QUANTIZADA E EM PACOTES É EMITIDA

CALMA QUE AINDA VOU DIZER O QUE PLANCK QUIS EXPLICAR POR ENQUANTO BASTA SABER QUE ELEMENTOS PODEM IRRADIAR LUZ COM CORES DIFERENTES QUANDO SUA TEMPERATURA AUMENTAR

Temperatura Ambiente	Temperatura 2000K	Temperatura 4000K	Temperatura 6000K
----------------------	-------------------	-------------------	-------------------

O ARRETADO MAX PLANCK ENTÃO PROPÔS UMA SOLUÇÃO NA QUAL A ENERGIA DE UM CORPO SERIA DESCONTINUA NA TRANSMISSÃO POIS SÃO LIBERADAS EM PACOTES CHAMADOS QUANTA DE RADIAÇÃO

FOI DA IDEIA DE MAX PLANCK QUE SURTIU A QUANTIZAÇÃO AO ANALISAR COMO A ENERGIA TEM SUA EMISSÃO EM CORPOS AQUECIDOS QUE EMITIAM RADIAÇÃO

Temperatura 500K	Temperatura 3200K	Temperatura 1750K	Temperatura 5500K
------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Explique qual foi a ideia e conceito que surge no estudo de Planck ao explicar a radiação emitida por um corpo aquecido.

8º SITUAÇÃO-PROBLEMA

As explicações de Planck, tratando da energia emitida por corpos aquecidos, contribuíram para que Bohr desenvolvesse a Teoria Quântica do átomo. O modelo atômico de Bohr resolveu a instabilidade do átomo de Rutherford, explicando a distribuição da energia dos elétrons por camadas.

Leia cuidadosamente os quadrinhos das páginas 7, 8 e 9, apresentados pelo personagem George, e responda.

- O que as órbitas representam para os elétrons no modelo atômico de Bohr?
- Explique o que são saltos quânticos e em que ocasião o elétron libera o fóton (luz) na forma de radiação?

9º SITUAÇÃO-PROBLEMA

Em 1924 De Broglie apresentou uma teoria ondulatória para o movimento do elétron.

EM 1924 DE BROGLIE APRESENTOU UMA NOVA EXPLICAÇÃO PARA O MOVIMENTO DO ELÉTRON QUE APRESENTA OSCILAÇÃO SE COMPORTANDO COMO ONDA FOI UMA GRANDE INTERPRETAÇÃO

COM SEU COMPORTAMENTO ONDULATÓRIO O ELÉTRON VAI DETERMINAR OS DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA QUE O ÁTOMO PODE APRESENTAR QUANTO MAIS EXTERNA A ÓRBITA MAIS OSCILAÇÕES ELE TERÁ

QUANDO O ELÉTRON OSCILAR VAI PERCORRER UMA DISTÂNCIA REALIZANDO UM MOVIMENTO COM BASTANTE ELEGÂNCIA ENTÃO VAMOS ENTENDER PORQUE ISSO TEM IMPORTÂNCIA

AO COMPLETAR A OSCILAÇÃO O ELÉTRON VAI APRESENTAR CERTOS COMPRIMENTOS DE ONDA QUE IRÃO DETERMINAR CADA NÍVEL DE ENERGIA COM VALOR PARTICULAR

Nível 1
1 comprimento de onda

Nível 2
2 comprimentos de onda

Nível 3
3 comprimentos de onda

Nível 4
4 comprimentos de onda

órbita 1
órbita 2
órbita 3
órbita 4

LOUIS DE BROGLIE

QUERO DIZER QUE CADA ÓRBITA TERÁ A SUA DIMENSÃO DADA PELO COMPRIMENTO DE ONDA VEZES A QUANTIDADE DE OSCILAÇÃO QUE O ELÉTRON REALIZAR POR TODA A SUA EXTENSÃO

comprimento circunferência

$$C = n\lambda$$

número de oscilação comprimento de onda

A CIRCUNFERÊNCIA DA ÓRBITA QUE O ELÉTRON OCUPAR TERÁ MAIOR COMPRIMENTO QUANTO MAIS ELE OSCILAR JÁ NA ÓRBITA MAIS INTERNA UMA OSCILAÇÃO ELE VAI REALIZAR

NO SEGUNDO NÍVEL DE ENERGIA DUAS OSCILAÇÕES O ELÉTRON TERÁ NO TERCEIRO NÃO É DIFERENTE TRÊS VEZES VAI OSCILAR E ASSIM SEGUÊ A SEQUÊNCIA PARA CADA ÓRBITA QUE ELE OCUPAR

CADA ÓRBITA TEM COMPRIMENTO E NÍVEL DE ENERGIA QUE É PADRÃO ESSE MOVIMENTO DO ELÉTRON EXPLICA A QUANTRAÇÃO DA ENERGIA EM CADA NÍVEL QUE É FRUTO DA OSCILAÇÃO

n=1 n=3

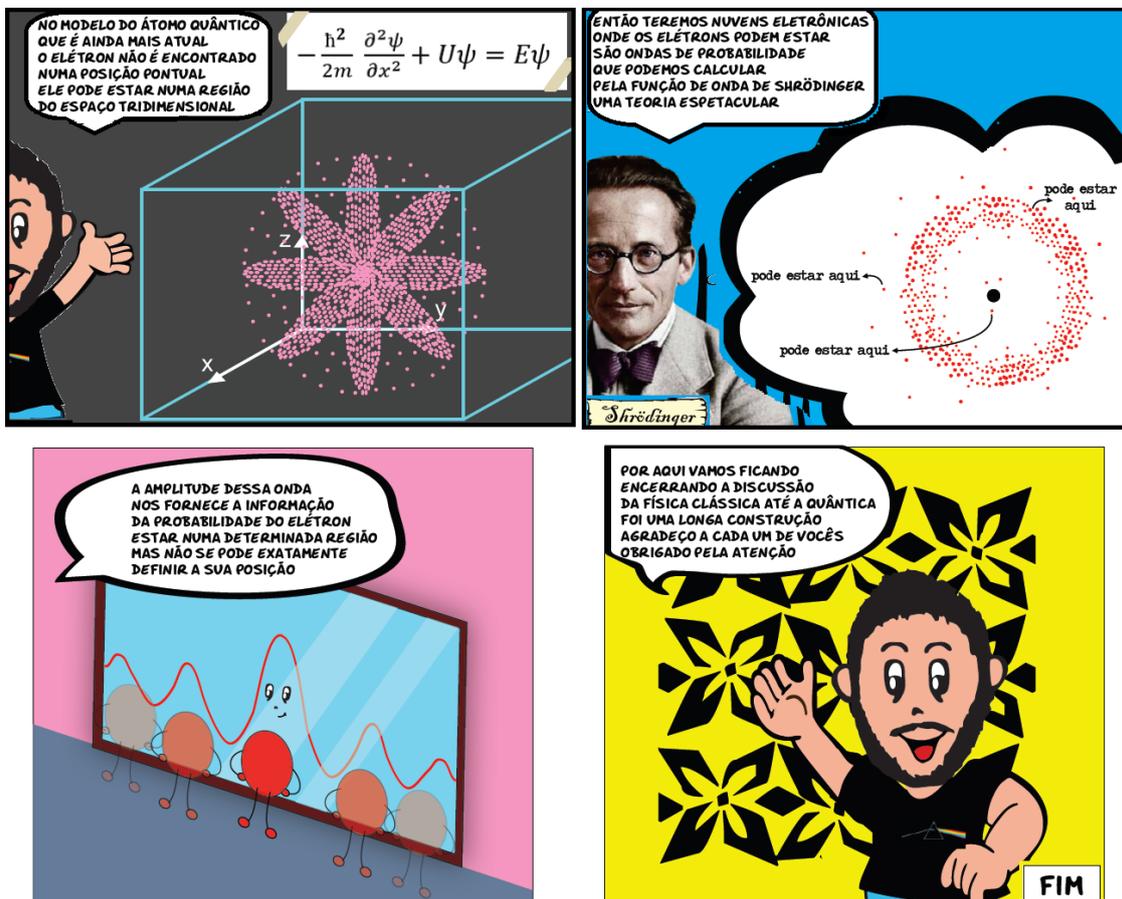
n=2 n=4

Baseado na história em quadrinhos, resolva as questões colocadas abaixo:

- Descreva como De Broglie explica as órbitas dos elétrons e o seu respectivo comprimento.
- Qual a relação do movimento ondulatório do elétron e o fato dos níveis de energias serem quantizados em cada camada ou órbita (níveis de energia).

10º SITUAÇÃO-PROBLEMA

Schrödinger propõe um modelo matemático para o átomo e não um modelo visual. A teoria quântica ondulatória desse cientista discute que o elétron pode estar em qualquer lugar do átomo. Segundo ele não é possível determinar exatamente a posição dessa partícula, sendo apenas possível determinar a probabilidade de o elétron ser encontrado em uma região específica do átomo.



Em um dos quadrinhos acima vemos que o elétron está diante do espelho, ficando mais visível no centro, local no qual a onda apresenta maior amplitude. Neste sentido, o que indica a maior amplitude da onda quando se tenta localizar o elétron em determinada região do átomo?

4. Textos complementares para auxiliar na elaboração de versos de cordel e tirinhas

OBJETIVO DA EQUIPE 1 - DESENVOLVER VERSOS DE CORDEL OU TIRINHAS PARA EXPLICAR

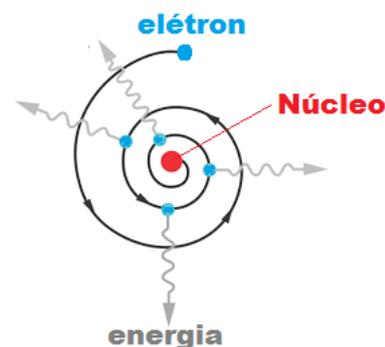
- A inconsistência do átomo de Rutherford
- O que é o espectro; espectro contínuo e discreto

INCONSISTÊNCIA DO ÁTOMO DE RUTHERFORD (COLAPSO DA MATÉRIA)

Em 1911, o físico neozelandês Ernest Rutherford realizou o experimento da folha de ouro, que derrubou o modelo de Thomson. Partículas alfa, emitidas por núcleos radioativos, lançadas contra uma fina folha de ouro, passavam em sua maioria através desse metal como se estivessem no vazio. Algumas eram violentamente desviadas de suas trajetórias após passarem pela folha, e uma pequena parcela era refletida no sentido contrário ao de seu movimento original.

Os resultados dessas experiências levaram Rutherford a criar um novo modelo de átomo, formado por uma parte positiva localizada numa região relativamente pequena no centro do átomo, que chamou núcleo atômico, e por uma parte negativa constituída pelos elétrons, ocupando uma vasta região externa envolvendo o núcleo, conhecida até hoje como eletrosfera.

Para garantir a estabilidade do átomo, os elétrons estariam em movimento ao redor do núcleo, em órbitas circulares, de modo semelhante aos planetas ao redor do Sol. Esse modelo ficou conhecido como modelo planetário do átomo ou modelo atômico de Rutherford. Porém, havia um sério problema com o modelo de Rutherford. Os elétrons em órbita estariam acelerados e, de acordo com a teoria da Física Clássica da época, cargas aceleradas emitem radiação, perdendo energia. Nesse caso, os átomos estariam continuamente emitindo radiação e, o que é mais grave, os elétrons deveriam "cair" sobre o núcleo, provocando o colapso da matéria. Esse fenômeno previsto pelo modelo atômico de Rutherford nunca foi observado. Portanto, era preciso aperfeiçoar o modelo.



Veja na figura ao lado o que deveria acontecer no átomo segundo os estudos de Rutherford: o elétron, ao emitir radiação, perderia energia e iria de encontro ao núcleo atômico. Seria o colapso da matéria.

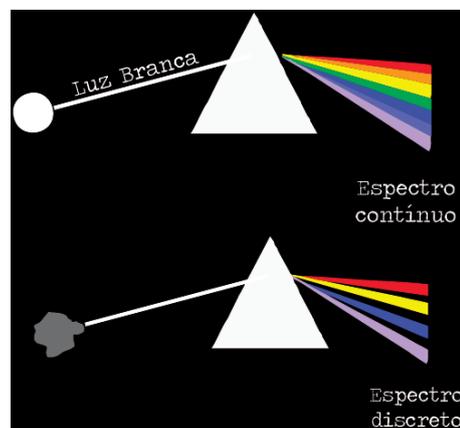
ESPECTROSCOPIA

Ao passarmos a luz por um prisma ela se decompõe nos diferentes comprimentos de onda, formando um arranjo de cores chamado espectro. Um espectro bem conhecido é o arco-íris formado quando a luz do sol atravessa gotas de chuva.

Quase toda informação sobre as propriedades físicas das estrelas são obtidas direta ou indiretamente de seus espectros, principalmente suas temperaturas, densidades e composições.

Bunsen e Kirchhoff, observaram os espectros de diversos elementos colocados na chama e observaram que o espectro formado, não era contínuo, e sim constituído de séries de linhas brilhantes que variavam de elemento para elemento.

A luz do sol quando passa por um prisma emite espectro contínuo. O mesmo ocorre com a radiação emitida por corpos opacos (sólido ou fluido muito denso) quando são aquecidos. Já os gases quando passam pelo processo de



aquecimento emitem um espectro discreto. O estudo da espectroscopia deu uma grande contribuição para o desenvolvimento da Física Quântica. Veja na figura ao lado a representação do espectro contínuo e do espectro discreto.

OBJETIVO DA EQUIPE 2 - DESENVOLVER VERSOS DE CORDEL OU TIRINHAS PARA EXPLICAR

- A ideia de quantização de Planck para corpos aquecidos que emitem radiação (energia)

TEORIA DE PLANCK PARA A RADIAÇÃO DO CORPO NEGRO

Na tarde de 14 de dezembro de 1900, na sede da Sociedade Alemã de Física, o físico alemão Max Planck, da figura ao lado, revelava ao mundo que havia chegado a resultados tão importantes para a ciência quanto os alcançados por Newton, dois séculos antes. Nascia ali uma nova Física, a Física Quântica. Essa teoria estabeleceu uma linha divisória na Física. Tudo o que existiu antes dela é denominado Física Clássica. Tudo o que se fez depois dela, aplicando as ideias de Planck, é chamado de Física Moderna.



A teoria de Planck, também conhecida como Teoria dos Quanta, era, ao mesmo tempo, simples e revolucionária: na natureza, a energia é emitida ou absorvida em quantidades mínimas e discretas denominadas quanta (plural de quantum). Essa hipótese, hoje já plenamente confirmada, rompia definitivamente com a concepção secular segundo a qual a energia "escoava" continuamente de um sistema para outro sem nenhuma limitação de quantidade.

Vamos entender melhor o que a Teoria de Planck explica. Saiba que todo corpo, em qualquer temperatura que esteja, emite radiação eletromagnética, frequentemente denominada radiação térmica. As características dessa radiação dependem da temperatura e das propriedades do corpo que a emite. Em baixas temperaturas, a maior



taxa de emissão está na faixa do infravermelho, tipo de onda eletromagnética não captada por nossos olhos. Com o aumento gradativo da temperatura, o corpo começa a emitir luz, de início de cor avermelhada, passando para amarela, verde, azul, até chegar à branca, em temperaturas suficientemente altas, como ocorre com os metais representados ao lado.

Uma análise mais acurada da radiação emitida revela que ela consiste numa distribuição contínua de comprimentos de onda que vão desde o infravermelho, passando pelo visível, até a região do ultravioleta do espectro eletromagnético.

Em 1900 o físico teórico alemão Max Planck lançou a hipótese de que os corpos aquecidos emitiam energia radiante em "pacotes" discretos, que ele chamou de quanta (quanta é a forma plural de quantum, da mesma forma que momenta é o plural de momentum). De acordo com Planck, a energia de cada pacote de energia é proporcional a frequência da radiação. Essa hipótese iniciou uma revolução de ideias que mudou por completo a maneira segundo a qual nós pensamos a respeito do mundo físico.

No modelo de Planck, a radiação era emitida e absorvida em pequenos pacotes de energia, denominados quanta, de onde vinha o nome teoria dos quanta, ou teoria quântica. Essa teoria teve por base duas arrojadas hipóteses sobre a origem da radiação emitida pelas partículas na superfície dos corpos aquecidos:

1. As partículas oscilantes que emitem radiação podem ter apenas determinadas quantidades de energia, em valores discretos;
2. As partículas emitem ou absorvem radiação em quantidades discretas denominadas quanta (plural de quantum).

A quantização, ou seja, a ideia de que o mundo natural é granular ao invés de um contínuo suave, certamente não é uma ideia nova para a Física. A matéria é quantizada; a massa de um tijolo de ouro, por

exemplo, é igual a um número múltiplo inteiro da massa de um único átomo de ouro. A eletricidade é quantizada, pois uma carga elétrica qualquer é sempre um número múltiplo inteiro da carga de um único elétron.

A Física quântica estabelece que no micromundo do átomo a quantidade de energia de qualquer sistema é quantizada, ou seja, nem todos os valores de energia são possíveis. Isso é análogo a dizer que uma fogueira pode ser quente em certos valores de temperatura. Ela poderia arder numa temperatura de 450 °C ou 451 °C, mas de maneira alguma a 450,5 °C. Você acredita nisso? Bem, não deveria, pois até quanto pode ser medido por nossos termômetros macroscópicos, uma fogueira pode arder em qualquer temperatura, desde que ela esteja acima do valor requerido para haver a combustão. Mas a energia da fogueira, curiosamente, é uma energia composta de um grande número e de uma grande variedade de unidades elementares de energia. Um exemplo mais simples é o da energia de um feixe de luz laser, que é um número múltiplo inteiro de um único valor mínimo de energia — o quantum. Os quanta da luz, e da radiação eletromagnética em geral, são os fótons.

A radiação luminosa não é emitida de maneira contínua, mas como uma corrente de fótons, cada um dele vibrando com uma frequência e transportando energia. O fóton com baixa frequência também tem baixa energia e quanto maior a frequência maior será a energia.

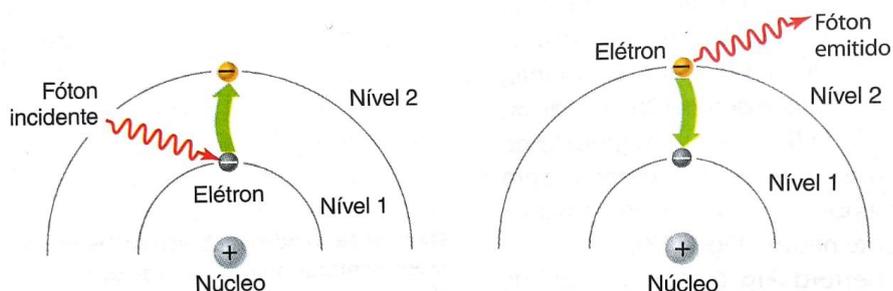
OBJETIVO DA EQUIPE 3 - DESENVOLVER VERSOS DE CORDEL OU TIRINHAS PARA EXPLICAR

- O átomo de Bohr;
- Os saltos quânticos e a emissão de fótons (partículas de luz) pelas transição dos elétrons entre as camadas.

O MODELO ATÔMICO DE BOHR E OS SALTOS QUÂNTICOS

Em 1913, para escapar da teoria da contínua emissão de radiação dos átomos, o físico dinamarquês Niels Bohr admitiu que a teoria da Física Clássica não seria aplicável a sistemas em escala atômica ou subatômica. Utilizando a ideia da quantização da energia de Planck, Bohr tomou como verdade que, no átomo, os elétrons estão confinados em certos níveis estáveis de energia, nos quais não há emissão de radiação. Esses níveis estáveis de energia foram chamados de estados estacionários. Ao passar de um nível "inferior" para outro "mais elevado", o elétron absorve energia do meio externo, em quantidade estritamente suficiente para isso. Ao retornar ao nível original, ele emite de volta a energia absorvida na forma de radiação.

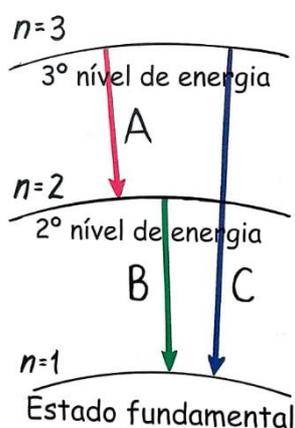
Veja na figura abaixo o salto quântico que ocorre segundo o Modelo de Bohr, descrevendo a emissão de radiação pelos átomos. Veja na figura que o elétron absorve a energia do fóton incidente e salta para um nível mais elevado. No outro caso o elétron emite a mesma quantidade de energia absorvida, na forma de radiação eletromagnética, retornando ao nível de origem.



Entenda que Bohr aplicou a teoria quântica de Planck ao átomo nuclear de Rutherford e formulou o bem se modelo atômico. Bohr considerava que os elétrons "ocupassem" estados "estacionários" (de energia fixa, e não posição fixa) a diferentes distâncias do núcleo, e que os elétrons pudessem realizar "saltos quânticos" de um estado de energia para outro. Ele considerou que a luz é emitida quando ocorre um desses saltos quânticos (de um estado de energia mais alta para outro de energia mais baixa).

As explicações de Bohr constituíram uma ruptura importante, pois ele nos diz que a frequência do fóton (luz) emitido não é igual à frequência clássica na qual o elétron está oscilando, mas, ao invés, é determinada pela diferença de energias do átomo. Ou seja, na Teoria Clássica, os elétrons acelerados irradiam energia na forma de ondas eletromagnéticas. Portanto, um elétron acelerado orbitando em torno de um núcleo deveria irradiar energia continuamente. Essa emissão de energia deveria fazer com que o elétron espiralasse em direção ao núcleo. Bohr corajosamente rompeu com a Física clássica ao estabelecer que um elétron, de fato, não irradia luz enquanto está acelerado em torno do núcleo numa órbita simples, mas que a irradiação acontece apenas quando o elétron salta de um nível de energia mais alto para um mais baixo. A energia do fóton emitido é igual à diferença de energia entre os dois níveis. A cor vista depende do salto realizado. Portanto, a quantização da energia luminosa equivale simplesmente à quantização da energia do elétron.

Bohr resolveu o mistério dos espectros atômicos ao mesmo tempo em que forneceu um modelo útil do átomo. Suas ideias acerca dos saltos quânticos e das frequências serem proporcionais às diferenças de energia continuam fazendo parte da teoria moderna atual do átomo.



Três dos inúmeros níveis de energia de um átomo. Em vermelho é mostrado um elétron saltando do terceiro para o segundo nível, e, em verde, um elétron saltando do segundo nível para o estado fundamental. A soma das energias (e das frequências) correspondentes a esses dois saltos é igual à energia (e à frequência) do salto único, do terceiro nível diretamente para o estado fundamental, mostrado em azul.

OBJETIVO DAS EQUIPES 4 E 5 - DESENVOLVER VERSOS DE CORDEL OU TIRINHAS PARA EXPLICAR

- A ideia de de Broglie para explicar as orbitas (camadas) e seus respectivos níveis de energia quantizado
- Schrödinger explicando a probabilidade de encontrar o elétron em uma região do átomo pela amplitude da onda

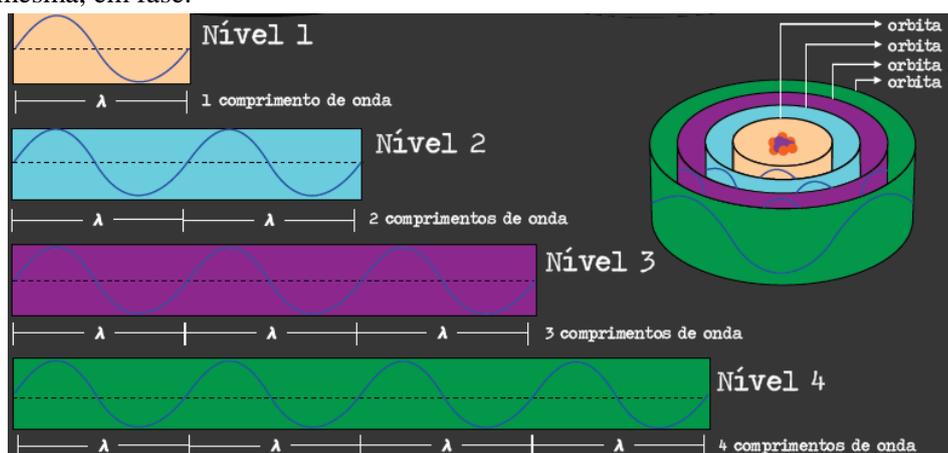
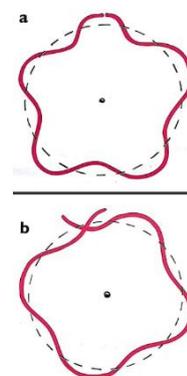
AS ORBITAS E SEUS NÍVEIS DE ENERGIA SEGUNDO DE BROGLIE

A ideia de que os elétrons possam ocupar apenas determinados níveis causava realmente muita perplexidade nos primeiros pesquisadores e ao próprio Bohr, porque o elétron era considerado como sendo uma partícula circulando ao redor do núcleo como um planeta girando em torno do Sol.

Movendo-se entre todas as órbitas, os elétrons seriam capazes de emitir luzes com todas as possíveis energias. Mas não é o que acontece na realidade. A razão para que o elétron ocupe apenas níveis discretos de energia é alcançada considerando-se que ele seja uma onda, e não uma partícula.

Louis de Broglie introduziu o conceito de ondas de matéria em 1924. Ele formulou a hipótese de que uma onda está associada com cada partícula. Usando a ideia do comportamento ondulatório do elétron, de Broglie mostrou que os valores discretos dos raios das órbitas de Bohr são uma consequência natural do movimento do elétron. Existe uma órbita de Bohr onde uma onda eletrônica fecha-se sobre si mesma. Nessa visualização, o elétron é concebido não como sendo uma partícula localizada em algum ponto dentro do átomo, mas como se sua massa e sua carga estivessem espalhadas em uma onda estacionária circundando o núcleo atômico — com um número inteiro de comprimentos de onda ajustando-se exatamente às circunferências das órbitas.

Veja na figura ao lado que em (a) um elétron em orbita forma um nível de energia (camada) apenas quando a circunferência da órbita é igual a um número múltiplo inteiro do comprimento de onda. Já em (b) vemos que quando a onda não se fecha sobre si mesma, em fase, ela não forma o nível de energia (camada). Daí que as orbitas existem apenas onde as ondas se fecham sobre si mesma, em fase.



A circunferência da órbita mais interna, de acordo com esta visualização, é igual a um comprimento de onda. A segunda órbita possui uma circunferência de dois comprimentos de onda eletrônicos, a terceira três, e assim por diante. Como as circunferências das órbitas eletrônicas são de valores discretos, os raios de tais órbitas, e daí também os níveis de energia, são discretos. Veja figura ao lado que as órbitas eletrônicas de um átomo têm raios discretos

porque suas circunferências são números múltiplos inteiros do comprimento de onda do elétron. Isso resulta em um estado discreto de energia para cada órbita.

SCHRÖDINGER E AMPLITUDE DA ONDA DE PROBABILIDADE

No modelo ondulatório atômico ainda mais moderno, as ondas eletrônicas movem-se não apenas ao redor do núcleo, mas também dentro e fora, em direção ao núcleo e para fora dele. A onda eletrônica espalha-se tridimensionalmente. Isso leva à visualização de uma "nuvem" eletrônica. Como deveremos ver, esta é uma onda de probabilidade, não uma onda formada por um elétron pulverizado, espalhado pelo espaço. O elétron, ao ser detectado, permanece mostrando-se como uma partícula pontual.

O físico austro-alemão Erwin Schrödinger conseguiu formular uma equação, na qual a função de onda, também chamada amplitude de probabilidade fornece informação sobre a probabilidade de encontrar o elétron em determinada região do átomo. As ondas materiais na equação de Schrödinger são entidades matemáticas não observáveis diretamente.

Portanto, a equação de Schrödinger não pode dizer a um físico onde o elétron pode ser encontrado num dado momento qualquer, mas apenas a probabilidade de encontrá-lo lá.

Veja também a história em quadrinhos para tentar fazer uma representação desse conteúdo.

5. Relato de experiência da aplicação da HQ através da sequência de ensino proposta

Descreve-se nesta seção o processo de intervenção, com as etapas distribuídas em 6 encontros. O planejamento se deu pela distribuição das aulas semanais de Física, mas segue fielmente as atividades previstas na sequência de ensino.

5.1 O primeiro encontro

No primeiro encontro ocorreu as 3 etapas iniciais da sequência de ensino, dentro de um tempo correspondente a uma aula de 45 minutos. Inicialmente teve a apresentação da metodologia do processo de intervenção e da produção de estrofes de cordel com versos obedecendo à métrica sextilha. Em seguida surgiu a apresentação de uma mídia sobre a utilização de quadrinhos em sala de aula.

Por fim teve a construção de um esquema conceitual para explanação de tópicos do conteúdo que envolve interpretações da Física clássica sobre o estudo da estrutura da matéria. Os conceitos trabalhados inicialmente tiveram a intenção de preparar o cognitivo dos alunos, organizando as informações iniciais, para ao longo do processo de intervenção serem apresentados gradualmente os tópicos de Física Quântica ligados aos estudos da estrutura da matéria.

Na dinâmica de construção do esquema conceitual os próprios alunos indicaram palavras, conceitos, fenômenos, experiências, aplicações tecnológicas, fatos históricos e do cotidiano que tinham relação com o tema. Dessa forma, buscou-se levantar e coletar dados que possibilitassem um diagnóstico dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre o estudo do átomo e ao mesmo tempo introduzir aspectos gerais da teoria clássica que seriam importantes para a compreensão dos fenômenos quânticos a serem estudados em outro momento da experiência.

Na última etapa do primeiro encontro ocorreu a recitação da parte 1 da HQ, com ênfase nas rimas e explicando os principais tópicos do conteúdo de Física Clássica, ainda considerado uma preparação para se ter uma melhor compreensão do conteúdo que envolve as interpretações da mecânica quântica dos fenômenos do comportamento da estrutura da matéria.

Apresentação da proposta

A sequência de ensino teve início com a apresentação do cronograma de atividades e da metodologia de aplicação do produto. As atividades foram

desenvolvidas em 1 aula de 45 minutos. Foi no primeiro encontro que a turma tomou conhecimento do planejamento e do método de ensino com o uso da história em quadrinhos “*Os moidos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico*” em sala de aula.

Ficou esclarecido que tal ferramenta pedagógica está escrita em versos de cordel e apresenta ilustrações típicas de quadrinhos, na perspectiva de contextualizar o conteúdo e facilitar sua compreensão. Os discentes também tiveram conhecimento que a história em quadrinho utilizada neste trabalho é produto de uma pesquisa de mestrado, desenvolvida na perspectiva de auxiliar o ensino de Tópicos de Física Quântica. Aqui falou-se um pouco como se deu a construção do quadrinho e sobre os principais assuntos que ela aborda. Os alunos tiveram a primeira ideia de como os eventos e conceitos seriam estudados.

Durante a apresentação da metodologia de trabalho, os discentes tiveram ciência que em determinado momento da sequência iriam produzir e apresentar tirinhas e/ou versos de cordel sobre tópicos do conteúdo estudado. Nesse sentido foi necessário apresentar para eles algumas explicações sobre a rima e métrica presentes em versos que constituem as estrofes do cordel e também algumas características peculiares da arte dos quadrinhos.

Diante da perspectiva de pautar o trabalho na temática de estímulo ao desenvolvimento da criatividade e capacidade imaginativa dos estudantes, ensinando Física diante de um contexto artístico cultural, foi apresentado para a turma métodos de elaboração dos versos rimados de cordel na métrica sextilha.

Coincidentemente, a intervenção teve início durante a semana que comemorava o dia do nordestino. Então, diante do sentimento de identidade, foram trabalhados com os alunos versos e estrofes de cordel que retratam alguns costumes e características peculiares da região nordeste e do homem nordestino. Foram recitados os seguintes versos:

*Eu amo o nordeste
Aqui é o meu lugar
Posso até ir lá fora
Mas ligeiro irei voltar
Pra matar a saudade
Dos amores que ficar*

*Tem a cabocla e a morena
Formosuras do Sertão
Nosso rei canta o xote
E cordel tem tradição
A felicidade e poesia
Encantam o São João*

*Ser nordestino é orgulho
E jamais será defeito
Aqui tem povo honrado,
Que merece mais respeito
Falar mal do meu sotaque
É burrice, preconceito*

S. Feitosa

Um dos alunos da turma se dispôs a recitar parte dos versos elaborados em homenagem ao dia do nordestino. Surpreendentemente, a recitação foi empolgante,

destacando as rimas. Empolgada com a atividade, a turma aplaudiu a recitação com bastante entusiasmo. Em seguida ocorreram as devidas explicações sobre o método de desenvolvimento de estrofes com versos de cordel na métrica sextilha.

Ao final dessa parte ainda foi reforçado para os estudantes que durante alguma etapa da sequência de ensino eles iriam elaborar versos sobre o conteúdo estudado. Motivado por tal atividade, um dos alunos da turma também perguntou sobre o cordel construído com rimas em quadra. Após a explicação sobre a rima, métrica e construção da estrofe em quadra, esta etapa da sequência de ensino foi concluída.

Para tratar da arte dos quadrinhos houve a apresentação da mídia *“Saiba a diferença entre quadrinhos, tirinhas, cartum, charge e caricatura”*. O vídeo é uma reportagem da TV Pernambuco, que data de 27/10/2016, no qual a Professora Fernanda Bérghamo explica as características dos gêneros que aparecem no título da reportagem. Ela também destaca a riqueza com que os diversos estilos aparecem no formato de quadrinhos, podendo ser trabalhados em sala de aula.

Na reportagem há a participação de Alexandre Beck, criador do personagem Armandinho, que aborda temas educacionais no contexto de tirinhas, afirmando que *“...aprender tem que ser uma coisa divertida. A nossa língua é um bocado complicada. Então quando a gente consegue juntar meios pra gente ter prazer com aquele aprendizado a coisa funciona muito melhor.”*

Explicou-se para os alunos que a proposta de ensinar temas de Física Quântica através de quadrinhos também busca tornar o ensino de Física mais divertido, tentando facilitar a compreensão do conteúdo dentro de uma estratégia que desvincule o conteúdo de Física do excesso de cálculos. Ficou claro que a ferramenta pedagógica seria o principal recurso didático nas atividades da sequência de ensino, buscando explicar os eventos e fenômenos científicos em rimas dos versos de cordel e em ilustrações da arte gráfica dos quadrinhos.

A turma também tomou conhecimento que a história em quadrinhos *“Os moidos e pelejas desde o átomo clássico até o átomo quântico”* apresentaria o conteúdo em dois momentos. Na primeira parte ela abordaria as explicações da Física Clássica sobre a natureza do átomo, o comportamento de suas partículas e as limitações dessas teorias para descrever os fenômenos. A segunda parte do quadrinho apresentaria o surgimento das primeiras ideias quânticas tentando descrever os fenômenos atômicos.

Diante da expectativa de estudar temas da Física dentro do universo da arte dos quadrinhos, uma aluna fez o seguinte comentário: *“Que bom, pois Física é uma matéria*

muito difícil”. Isso evidencia a dificuldade que alguns alunos para compreender a linguagem científica tradicional presente na maioria dos livros didáticos e textos científicos, necessitando de diversidades de alternativas para ter uma melhor compreensão dessa Ciência.

Para exemplificar o uso da arte dos quadrinhos no ensino de Física ocorreu a apresentação de uma tirinha com gato Garfield. Na tirinha aparecem dois personagens dentro de um pequeno texto abordando grandezas como massa, força peso e gravidade através de um contexto irônico e engraçado. Ao final da leitura e interpretação da tirinha foi possível identificar as gargalhadas de alguns alunos, envolvidos pelo enredo da mesma.

Esquema conceitual para trabalhar o conteúdo presente na parte 1 da HQ

Após os devidos esclarecimentos sobre os objetivos da pesquisa e sobre a natureza da metodologia de desenvolvimento das aulas, teve início a construção de um esquema conceitual. Essa dinâmica possibilitou fazer um levantamento dos conhecimentos prévios dos discentes que possibilitou ter um diagnóstico do grau de conhecimento da turma a respeito do tema.

Os estudantes tiveram liberdade de expor o que sabiam sobre o conteúdo, após serem provocados por perguntas introdutórias. A participação de cada discente, para as questões, conceitos, fenômenos colocados foram escritos no quadro, introduzindo aspectos gerais do conteúdo.

Para a construção do esquema conceitual foram colocadas algumas perguntas introdutórias, que aparecem listadas abaixo junto com as respostas da turma:

<u>PERGUNTAS</u>
O que vocês entendem e imaginam quando se fala sobre o átomo?
O átomo é a menor parte da matéria ou com o tempo surgiram indícios de partículas menores que o constituíam?
Qual foi a primeira partícula constituinte do átomo a ser descoberta? Qual a natureza da sua carga? A partir de qual experiência os cientistas suspeitaram de sua existência?
Como surgiram as ideias da existência de um núcleo atômico? Qual experimento trouxe indícios de sua existência?

A participação dos discentes na dinâmica do esquema conceitual foi um fator muito relevante para o processo de ensino-aprendizagem, pois o primeiro princípio que norteia a UEPS, em (Moreira, 2011, p. 44), diz que “*o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aprendizagem significativa (Ausubel)*;”. Dessa forma é importante destacar que tal dinâmica de coleta conseguiu levar os alunos a externalizarem seus conhecimentos prévios. Então a dinâmica do esquema conceitual permitiu introduzir o conteúdo a partir das informações prévias existentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

Com as duas etapas descritas acima, definiu-se junto aos discentes os tópicos de estudo e a metodologia de ensino. Além disso, através do esquema conceitual, foi possível realizar uma apresentação de tópicos gerais, envolvendo aspectos históricos, conceitos e fenômenos da teoria clássica do átomo, que serão importantes para o estudo da mecânica quântica. As informações levantadas, ao interagirem com a estrutura cognitiva dos estudantes, teve o intuito de subsidiar na compreensão dos assuntos mais abstratos que serão estudados em etapas seguintes do processo de intervenção. Com essas dinâmicas descritas acima também foi possível fazer um diagnóstico preliminar do grau de conhecimento da turma a respeito do tema de estudo.

Identifica-se uma aproximação das atividades realizadas acima com o que Moreira (2011) propõe no primeiro e segundo tópico dos aspectos sequenciais da UEPS. Houve a definição do que se vai ensinar e também ocorreu o desenvolvimento de uma atividade que possibilitou os alunos externalizarem seus conhecimentos prévios. Então, traçando um paralelo entre a Sequência de Ensino desenvolvida neste trabalho e a UEPS, é possível afirmar que tais aspectos foram perfeitamente contemplados nos métodos aqui desenvolvidos. Moreira (2011, p. 45) apresenta:

1. definir o tópico específico a ser abordado, identificando seus aspectos declarativos e procedimentais tais como aceitos no contexto da matéria de ensino na qual se insere esse tópico;
2. criar/propor situação(ões) – discussão, questionário, mapa conceitual, mapa mental, situação-problema, etc. – que leve(m) o aluno a externalizar seu conhecimento prévio, aceito ou não-aceito no contexto da matéria de ensino, supostamente relevante para a aprendizagem significativa do tópico (objetivo) em pauta;

Recitação da HQ parte 1 – Física Clássica

Após a construção do esquema conceitual ocorreu a recitação dos versos de cordel presentes na parte 1 do quadrinho. Ainda trabalhando os subsídios, apresentando conceitos e eventos clássicos importantes para a compreensão dos tópicos de Física

Quântica, esta etapa buscou enfatizar acontecimentos históricos que deram significado ao surgimento da teoria quântica do átomo, que é o principal assunto a ser apreendido.

Cada aluno recebeu uma versão impressa do quadrinho e acompanhavam a recitação atentamente. Aspectos relevantes desta etapa do conteúdo, como o surgimento de modelos atômicos, a descoberta do elétron e do núcleo atômico, foram relacionados às respostas que os alunos tinham dado durante a construção do esquema conceitual. Assim foi possível aproximar os conceitos fundamentais, fatos históricos e experiências científicas com os conhecimentos prévios dos estudantes, provocando uma interação da nova informação com as informações prévias existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Sobre o papel da recitação Nobre (2017, p. 132) afirma que:

É importante entendermos a importância da leitura declamada em voz alta, pois a rima e a declamação eram e ainda são táticas dos poetas cantadores e cordelistas para que suas histórias, suas notícias, seus romances, etc, sejam assimiladas pelos ouvintes. O declamar em sala, como os poetas fazem, é essencial na utilização dos *folhetos* como ferramenta didática, e é parte crucial da sequência de ensino proposta, pois a alma do *folheto* é a sua **declamação** em voz alta, e não somente a leitura pura e simples.

Foi perceptível o envolvimento da turma com a recitação dos versos, identificando-se com o linguajar, pois as palavras que apareciam nos versos descrevendo os conceitos e eventos históricos eram mais próximas do linguajar cotidiano deles. Quando oportuno, após a recitação de algumas estrofes, eram explicados alguns fenômenos e conceitos, ajudando os alunos a interpretar os versos de cordel e as ilustrações da HQ.

Ao final da recitação a turma aplaudiu a atividade. A participação e o envolvimento ocorreu dentro do que Moreira (2011) chama de predisposição para aprender. De acordo com o autor, esse é um dos princípios que norteia o desenvolvimento de uma UEPS, pois “*é o aluno quem decide se quer aprender significativamente determinado conhecimento (Ausubel; Gowin)*”. (Moreira, 2011, p. 44)

Nesse sentido, a dinâmica de construção do Cordel, a apresentação das características da arte dos quadrinhos, a participação dos estudantes na construção do esquema conceitual e a recitação dos aspectos introdutórios do conteúdo na recitação do cordel, promoveram uma maior integração dos alunos com o tema, fortalecendo a predisposição para aprender.

Finalizando o primeiro encontro foi explicado para os alunos a dinâmica de atividades que seriam desenvolvidas no encontro seguinte, através de uma dinâmica de resolução de situações-problemas relativas a interpretação do conteúdo.

5.2 O segundo encontro

O segundo encontro se desenvolveu em duas aulas de 45 minutos, no qual ocorreu uma reflexão dos principais tópicos visto na recitação da parte 1 da HQ. Aqui foram apresentados situações-problemas sobre o conteúdo e em seguida ocorreu uma dinâmica de atividade coletiva e colaborativa para resolver os problemas. Já na última fase do encontro houve a etapa de organização do conhecimento, com o processo de ensino típico de aula expositiva com os alunos recebendo as informações. Isso ocorreu na perspectiva de organizar os conceitos e informações trabalhadas ao longo da aula, após o acompanhamento de atividades centradas nas ações dos alunos.

Para o trabalho de resolução das situações-problemas em equipe, a turma de 23 alunos foi dividida em 4 grupos, nomeadas por A, B, C e D. Foram trabalhadas 5 situações-problemas abordando aspectos históricos, conceitos e experiências científicas que contribuíram para a interpretação da teoria clássica do átomo. Tais questões são uma preparação para o estudo dos tópicos da teoria quântica do átomo. A compreensão do desenvolvimento de teorias a respeito da estrutura da matéria servem de subsídios para que o aluno aprofunde o entendimento de conceitos e fenômenos mais abstratos trabalhados na Física Quântica.

A HQ foi construída de forma didática, abordando inicialmente os aspectos históricos sobre o desenvolvimento dos modelos atômicos explicados no âmbito da teoria clássica. Pois as contribuições científicas deixadas por esse contexto histórico têm relevância contribuição para a compreensão do surgimento da Teoria Quântica do átomo. Então foi estratégico iniciar o trabalho do conteúdo, através de situações-problemas, abordando os principais eventos e experiências relacionados ao desenvolvimento da teoria clássica do átomo.

O trabalho com situações-problemas teve a intenção de exigir dos alunos uma postura investigativa e reflexiva na construção do conhecimento, discutindo e desenvolvendo caminhos para as soluções. Moreira (2011, p. 44) afirma que “*são as situações-problema que dão sentido a novos conhecimentos (Vergnaud); elas devem ser criadas para despertar a intencionalidade do aluno para aprendizagem significativa.*”

É importante perceber que as situações-problemas são utilizadas neste trabalho como mecanismo central para a apropriação de conceitos no processo de ensino-aprendizagem.

A Sequência de Ensino aqui desenvolvida, buscou em Moreira (2011) um equilíbrio para se trabalhar as situações-problemas em sala de aula. Mas foi a partir do trabalho de Nobre (2015, 2017) que surgiu a ideia de propor uma sequência de ensino pautada em situações-problemas elaboradas com os versos de cordel. Porém com a HQ utilizada nesta experiência, as situações-problemas elaboradas surgem com versos de cordel dentro de ilustrações típicas dos quadrinhos. Tal metodologia foi a base para o processo de ensino-aprendizagem aqui desenvolvido.

A primeira parte da história em quadrinho apresenta uma preparação para aquilo que se pretende ensinar. Entender os aspectos mais relevantes da teoria clássica do átomo, e suas respectivas limitações, é fundamental para se ter uma melhor compreensão do surgimento da teoria quântica. Neste sentido, as situações-problemas trabalhadas nesta fase da sequência tinham um nível introdutório de ideias e conceitos, se aproximando do aspecto sequencial 3 da UEPS proposta por Moreira (2011, p. 45), segundo a qual deve-se:

3. propor situações-problema, em nível bem introdutório, levando em conta o conhecimento prévio do aluno, que preparem o terreno para a introdução do conhecimento (declarativo ou procedimental) que se pretende ensinar; estas situações-problema podem envolver, desde já, o tópico em pauta, mas não para começar a ensiná-lo; tais situações-problema podem funcionar como organizador prévio; são as situações que dão sentido aos novos conhecimentos, mas, para isso, o aluno deve percebê-las como problemas e deve ser capaz de modelá-las mentalmente; modelos mentais são funcionais para o aprendiz e resultam da percepção e de conhecimentos prévios (invariantes operatórios); estas situações-problema iniciais podem ser propostas através de simulações computacionais, demonstrações, vídeos, problemas do cotidiano, representações veiculadas pela mídia, problemas clássicos da matéria de ensino, etc., mas sempre de modo acessível e problemático, i.e., não como exercício de aplicação rotineira de algum algoritmo;

Apresentação das situações-problemas relacionadas à parte 1 da HQ

Diante das considerações levantadas acima, as atividades do segundo encontro começaram com uma breve apresentação das situações-problemas para a turma. Vale salientar que a dinâmica de apresentação dessas questões não se resumiu a uma leitura dos versos poéticos. O momento permitiu ao professor provocar nos alunos o aspecto investigativo e objetivo, destacando os tópicos mais relevantes para a construção das soluções.

Buscando soluções em equipe

Após as devidas considerações colocadas para cada situação-problema, as equipes começaram a leitura e debates, investigando caminhos para as soluções. O trabalho em equipe durou cerca de trinta e cinco minutos, com os alunos dialogando, pesquisando e refletindo sobre cada problema.

Tal dinâmica também buscou inspiração na sequência de ensino desenvolvida por Nobre (2015, 2017), para o trabalho com cordéis em sala de aula. Em seus trabalhos o autor propõe que as duas etapas iniciais da sequência de ensino sejam: apresentação da proposta e recitação do material com ênfase nas rimas dos versos. Para a terceira etapa ele sugere que o professor desenvolva alguma dinâmica na qual os alunos possam ler o texto rimado e interpretem as estrofes. Nobre (2017, p. 133) escreve:

A seguir, podemos dividir a turma em grupos de 2 a 4 estudantes, para que cada grupo leia, discuta e faça a interpretação de texto do folheto, em especial sob o aspecto científico. Aqui também, nos grupos, é necessário declamar cada estrofe, seguindo da discussão do conteúdo. É importante que se faça anotações sobre qual conhecimento o folheto aborda, além de observações dos próprios estudantes sobre o que entenderam e discordaram do assunto abordado. É sugerido que se faça a declamação, interpretação e as anotações estrofe por estrofe.

A busca por soluções coletivas exigiu dos discentes a interpretação do material que descrevia o conteúdo. As situações-problemas trabalhadas nessa etapa inicial de introdução da matéria de ensino foram justamente elaboradas de forma que exigiam dos alunos a leitura e interpretação dos versos de cordel e ilustrações presentes na história em quadrinhos.

Quando o fenômeno, evento ou experiência investigada exigia maiores abordagens, as questões traziam um pequeno texto em sua elaboração. Essa contextualização apresentava informações relevantes e complementares. Vale salientar que a HQ, principal ferramenta de ensino trabalhada com os alunos, não foi desenvolvida para aprofundar determinados tópicos do conteúdo, apresentando limitações em relação ao detalhamento de informações.

Ainda nesta etapa, algumas explicações sobre as questões facilitaram o entendimento dos grupos diante de dúvidas. As atividades precisaram ser acompanhadas de perto, pois em alguns momentos alunos ficaram dispersos ou apresentavam dificuldades para encontrar soluções. Nesses momentos eram realizadas pequenas interferências no diálogo entre os membros das equipes, com questionamento e ações que pudessem melhorar o andamento dos trabalhos.

Primeira atividade colaborativa

Após cerca de trinta e cinco minutos as equipes foram concluindo as primeiras propostas de soluções. Deu-se o início a atividade colaborativa, na qual cada grupo teve acesso ao trabalho de outros grupos. Foram orientados a analisar as atividades desenvolvidas pelos colegas para contribuírem com sugestões e também complementarem seus trabalhos pelo raciocínio encontrados nas soluções dos colegas.

As equipes **A** e **D** trocaram os trabalhos entre si e alguns minutos depois as equipes **B** e **C** também realizaram a mesma dinâmica. Após uns 15 minutos de análises, com cada grupo questionando e tentando compreender e as soluções propostas pelos colegas, as equipes **B** e **D** também decidiram trocar os trabalhos para complementarem suas respostas.

Na atividade colaborativa houve o mínimo de interferência, sendo os diálogos e trocas de informações realizadas principalmente entre os discentes. Por iniciativas deles os grupos se reuniram e passaram refletir coletivamente sobre as questões.

Nesta dinâmica os membros das equipes se misturavam, faziam sugestões uns aos outros e questionavam as respostas dos colegas. Muitos tinham dúvidas quanto a caligrafia dos colegas e nem sempre conseguiam entender ou interpretar as soluções. Tal atividade estimulou o diálogo e isso foi fundamental para a construção coletiva de respostas para as questões.

Organizando o conhecimento para os conceitos iniciais

No segundo encontro foram realizadas 4 etapas da sequência de ensino: apresentação das situações-problemas, trabalho em equipe para propor soluções, atividade colaborativa de reconciliação de ideias e organização do conhecimento.

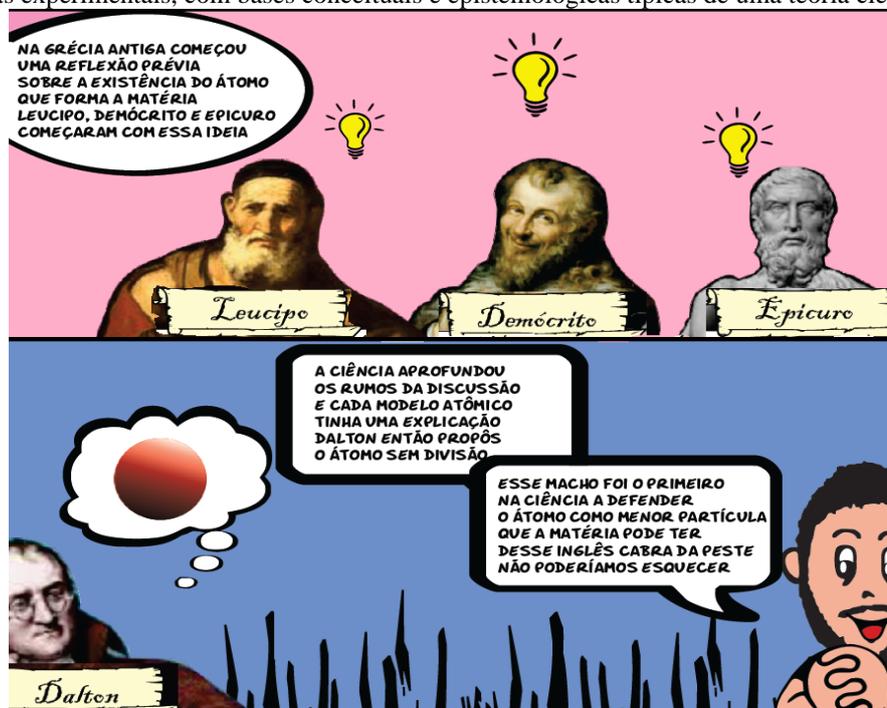
O tempo total da atividade colaborativa foi de aproximadamente 25 minutos. Era chegado o momento da etapa de organização do processo de assimilação e retenção de significados. Restavam 20 minutos para o término da aula quando os pontos mais relevantes do conteúdo abordado na parte 1 da HQ e as dúvidas apresentadas pelos discentes foram esclarecidas.

Os quadros abaixo apresentam as situações-problemas trabalhadas. O primeiro tópico trabalhado com os alunos foi a necessidade de compreensão das primeiras ideias tratando da existência do átomo.

1º SITUAÇÃO-PROBLEMA

As primeiras ideias tratando da existência de átomo, como partícula fundamental que constitui a matéria, surgiram na Grécia Antiga. Mesmo com as discussões atomistas vigentes ao longo dos séculos XVII e XVIII, somente no início do século XIX esse tema passou a adquirir o status de teoria científica. Foi através do trabalho de Dalton que surgiu a teoria atômica científica.

É importante ressaltar que o átomo grego não é um precursor do átomo de Dalton. A ideia de um átomo como a menor parte da matéria, discutida por Leucipo, Demócrito e Epicuro, no século V a.C., apresenta caráter intuitivo, especulativo e teórico. Já o atomismo de Dalton, que data de 1808, surge de evidências experimentais, com bases conceituais e epistemológicas típicas de uma teoria científica.

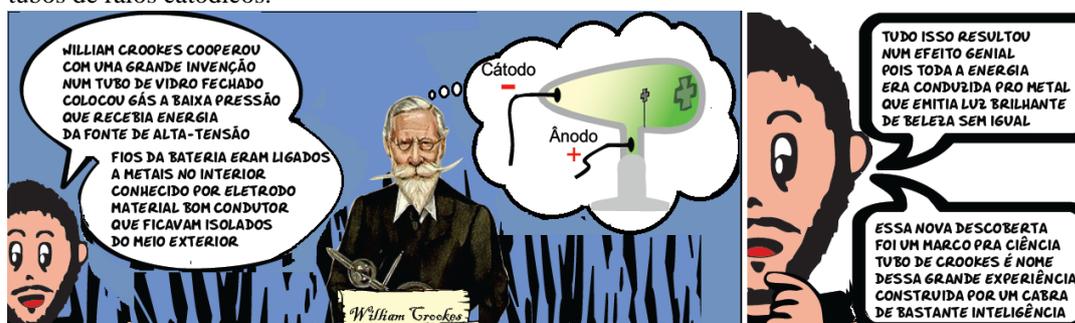


Diante do que foi colocado acima e de acordo com o quadrinho descreva as principais similaridades entre a ideia de átomo proposta pelos filósofos gregos e ao modelo atômico proposto por Dalton. Também explique em que sentido as ideias discutidas pelos atomistas gregos se diferem do que é apresentado no modelo atômico proposto por Dalton.

A segunda questão abordava a contribuição do experimento de Willian Crookes para a descoberta do elétron e qual foi o procedimento experimental realizado por ele.

2º SITUAÇÃO-PROBLEMA

O século XIX chega ao fim com a constatação de que átomo não é o último limite de divisão da matéria. As primeiras indicações de que poderia haver partículas ainda menores na composição dos átomos foi obtido pelo cientista inglês Willian Crookes, ao realizar descargas elétricas com baterias em tubos de raios catódicos.



Descreva o material utilizado por Willian Crookes para realizar suas experiências em tubos de vidros e explique o procedimento experimental realizado por ele. Em seguida fale qual foi o efeito provocado por esse experimento e o que os resultados indicavam.

A terceira questão exigia dos alunos a compreensão da importância do trabalho de Thomson para o desenvolvimento da compreensão da estrutura da matéria.

3º SITUAÇÃO-PROBLEMA

Em 1897 Joseph John Thomson (1856-1940) fez um relato das suas investigações com descargas elétricas em tubos de raios catódicos. Na época haviam divergências quanto a natureza dos raios catódicos. Alguns acreditavam que eram um tipo de onda, outros acreditavam que os raios catódicos eram compostos por partículas. Depois de realizar algumas mudanças no experimento de William Crookes, o físico britânico Joseph John Thomson conseguiu determinar uma relação entre a carga e a massa dos raios catódicos. Então ele concluiu que se tratava de partículas carregadas.

Thomson ainda verificou que esses corpúsculos carregados eletricamente eram exatamente os mesmos, quaisquer que fossem os elementos do catodo, do anodo e do gás dentro do tubo. Então ele demonstrou empiricamente, que os raios catódicos seriam formados por constituintes universais de matéria, ou seja, mostrou que o átomo não é indivisível e tem partículas menores.



A seguir explique qual a partícula descoberta por Thomson e a natureza da sua carga. Descreva o modelo atômico proposto por Joseph John Thomson.

A quarta situação-problema está relacionada ao experimento da folha de ouro realizado por Rutherford, exigindo das equipes o entendimento do processo experimental e as consequências do resultado dessa experiência para o desenvolvimento dos modelos atômicos.

4º SITUAÇÃO-PROBLEMA

Em 1911, através do conhecido experimento da folha de ouro, Rutherford deu uma grande contribuição para a Física de Partículas Experimental. Ele fez incidir um feixe de partículas α (alfa) sobre uma lâmina de ouro no laboratório. Os resultados de suas experiências o levaram a propor um novo modelo atômico.

PRA EXPLICAR O ÁTOMO FORAM MUITAS TENTATIVAS DIVIDINDO-O EM PARTÍCULAS POSITIVAS E NEGATIVAS VÁRIOS MODELOS ATÔMICOS COM IDEIAS CONSTRUTIVAS

MAS UM NOVO EXPERIMENTO QUE EMITIA RADIAÇÃO TRILHOU O CAMINHO PARA OUTRA EXPLICAÇÃO FOLHA DE OURO É O NOME DESSA GRANDE INVENÇÃO

DELE SURTIU O NÚCLEO DE MANEIRA DECISIVA CONTRIBUIÇÃO DE RUTHERFORD USANDO FONTE RADIOATIVA QUE EMITIAM RAIOS ALFA QUE TEM CARGA POSITIVA

ESSE TAL DE RUTHERFORD ERA UM MATUTO INTELIGENTE USOU AS PARTÍCULAS ALFA COMO UM RAIO INCIDENTE NUMA FINA LÂMINA DE OURO ISSO TEVE EFEITO PERTINENTE

PARTE DO RAIO DE PARTÍCULAS CONSEGUIU ATRAVESSAR OUTRO TANTO ATÉ PASSOU MAS TEVE O EFEITO DE DESVIAR TEVE RAIO QUE REFLETIU APÓS BATER E VOLTAR

A EXISTÊNCIA DE UM NÚCLEO FOI ENTÃO EVIDENCIADA POIS AS PARTÍCULAS RADIOATIVAS AO SEREM DIRECIONADAS PARA UMA FINA LÂMINA DE OURO FORAM EM PARTE ESPALHADA.

O ESPALHAMENTO OCORREU DEVIDO A COLISÃO DA RADIAÇÃO COM O NÚCLEO NUMA GRANDE INTERAÇÃO DAS PARTÍCULAS RADIOATIVAS COM AQUELA REGIÃO

UM ÁTOMO COM NÚCLEO RUTHERFORD IMAGINOU NA REGIÃO CENTRAL MAIOR MASSA INDICOU AO REDOR GIRAM ELÉTRONS ASSIM ELE EXPLICOU

Baseado nas informações acima resolva os tópicos a seguir:

- d) Descreva o experimento da folha de ouro realizada por Rutherford.
- e) O que os resultados dessa experiência indicaram?
- f) Explique o modelo atômico proposto por Rutherford.

A quinta questão elaborada para as equipes refletirem aborda as limitações da Física clássica para explicar os fenômenos relacionados a estrutura da matéria, através das inconsistências do modelo atômico proposto por Rutherford.

5º SITUAÇÃO PROBLEMA

Mesmo após as descobertas de Rutherford não foi possível resolver o problema da estabilidade do átomo. Logo se percebeu que o modelo de Rutherford apresentava inconsistências impossíveis de serem explicadas pelas teorias da Física Clássica.

ISSO ENTÃO PROVOCOU UMA GRANDE CONFUSÃO POIS A FÍSICA CLÁSSICA TINHA UMA EXPLICAÇÃO QUE CARGAS EM MOVIMENTO EMITIAM RADIAÇÃO

OS ELÉTRONS ACELERADOS DEVERIAM IRRADIAR UMA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA NO MOVIMENTO CIRCULAR EMITIDA CONTINUAMENTE ATÉ ELE COM O NÚCLEO SE CHOCAR

O MODELO DE RUTHERFORD PARECIA INCONSISTENTE ENTÃO FOI NECESSÁRIO EXPLICAÇÃO MAIS COERENTE AOS POUCOS FOI SURGINDO UMA FÍSICA DIFERENTE

NAQUELE REBULIÇO POR UMA NOVA EXPLICAÇÃO OS CIENTISTAS INICIARAM UMA GRANDE DISCUSSÃO SOBRE ESTRUTURA DA MATÉRIA QUAL SERIA A SOLUÇÃO?

SE O ELÉTRON SÓ GIRAVA SEM PERDER SUA ENERGIA ENTÃO SEU MOVIMENTO RADIAÇÃO NÃO EMITIA E AS LEIS DA FÍSICA CLÁSSICA PARA O ÁTOMO NÃO VALERIA

COMO NÚCLEO POSITIVO E ELÉTRONS AO REDOR FOI A VEZ DE UM CABÓCO CONHECIDO POR NIELS BOHR USA A TEORIA QUÂNTICA E EXPLICAR TUDO MELHOR

Explique as inconsistências que o modelo atômico proposto por Rutherford apresenta quando tentamos explicar o átomo através da teoria clássica.

Diante das etapas realizadas no segundo encontro é possível perceber que a proposta de troca de trabalhos entre as equipes, chamada aqui de atividade colaborativa, e a atividade final do segundo encontro, na qual houve o processo de organização do conhecimento, se aproximam de alguns aspectos facilitadores da aprendizagem significativa. Ambas as dinâmicas realizadas estão dentro do contexto de uma UEPS. Elas estabelecem uma reconciliação integradora por promoverem a troca de ideias entre as equipes e as informações que surgiram ao longo do processo.

A ideia de apresentar eventos históricos, no intuito de subsidiar o conhecimento dos alunos para o ensino de tópicos de mecânica quântica, partindo de questões mais gerais até as mais específicas, fortaleceram o trabalho de diferenciação progressiva e facilitou a interação de ideias novas com a estrutura cognitiva do aprendiz. Moreira (2011), ao descrever os passos de uma UEPS, usa o termo diferenciação progressiva e reconciliação integrativa para destacar a necessidade de facilitar a aprendizagem do conteúdo, interligando ideias e retomando as informações mais gerais e estruturantes.

Também em sintonia com o Moreira (2011), houve a realização de atividades colaborativas, nas quais os alunos negociaram significados. Vale salientar que a sequência desenvolvida neste trabalho tem características próprias, mas busca em a cada

etapa, mesmo que em momentos próprios, promover aspectos didático-metodológicos da UEPS.

5.3 O terceiro encontro

No terceiro encontro, que teve o tempo de uma aula de 45 minutos, foram estudados tópicos dos conteúdos relacionados às interpretações da teoria quântica para os fenômenos que envolvem o comportamento da estrutura da matéria. Nesta etapa se iniciam os trabalhos relacionados à parte dois da HQ.

Seguindo o planejamento da sequência de ensino, o terceiro encontro iniciou-se com a construção de um novo esquema conceitual, tratando das explicações quânticas para a natureza da estrutura da matéria. Em seguida ocorreu a recitação dos versos do quadrinho, introduzindo o conteúdo, e a apresentação de novas situações-problemas.

Ao final desse encontro os alunos levaram para casa as situações-problemas de forma individual para começarem a refletir e pensar soluções para elas.

Diagnostico do conhecimentos prévios e introdução do conteúdo

Após uma explanação dos eventos históricos e das interpretações clássicas relacionados ao desenvolvimento da compreensão dos fenômenos atômicos, trabalhados nos encontros anteriores, em etapas da sequência que buscavam preparar os alunos para terem uma melhor compreensão da teoria quântica, o terceiro encontro começou com a construção de um novo esquema conceitual que durou cerca de 15 minutos.

Para a construção do esquema conceitual foram colocadas algumas perguntas introdutórias, que aparecem listadas abaixo junto com as respostas da turma:

<u>PERGUNTAS</u>
Vocês já ouviram falar sobre Mecânica Quântica? O que vocês entendem, imaginam ou sabem sobre Mecânica Quântica?
Existe relação entre fenômeno atômicos e o surgimento da Física quântica? O que estuda a teoria quântica do átomo?

Os dois motivos descritos acima justificam o fato de alguns dos conceitos colocados pelos discentes apresentarem ideias bem próximas do objetivo de estudo.

Acredita-se que parte dos estudantes já enxergava uma relação entre os fenômenos da radiação, a emissão do espectro de alguns elementos e o surgimento da mecânica quântica. Também já parecia haver um pequeno entendimento da relação entre os fenômenos da espectroscopia, a teoria do quantum e as explicações propostas por Bohr para o átomo. A HQ faz uma abordagem desses tópicos, pois são ideias que contribuíram para o desenvolvimento da teoria quântica do átomo.

Recitação da HQ parte 2 – Mecânica Quântica

Ainda no terceiro encontro houve a recitação dos versos de Cordel da parte 2 da HQ. Esta etapa durou cerca de quinze minutos e deu início ao ensino dos tópicos mais relevantes do conteúdo, abordando os principais conceitos e fenômenos relacionados à teoria quântica do átomo.

Nos moldes da recitação que ocorreu na parte 1 da HQ, houveram pequenas interrupções da recitação para reforçar as analogias e serem feitas breves explicações sobre os tópicos do conteúdo. Tal dinâmica permitia interligar ideias, retomando informações importantes do conteúdo e organizando o conhecimento. Este trabalho permitiu contemplar aspectos facilitadores da aprendizagem previstos na UEPS.

Em acordo com NOBRE (2017, p. 131) a recitação teve importância estratégica para o processo de ensino-aprendizagem, *“já nos direcionam para pensar que caminho, que sequência de procedimentos, de ensino, devemos seguir para expor os conteúdos desejados. Surgindo aí o declamar como uma etapa essencial para a sequência de ensino proposta.*

O conteúdo apresentado na parte 2 da HQ explica a diferença entre espectro contínuo e discreto, descreve a ideia de Max Planck para esclarecer a radiação espectral emitida por corpos aquecidos, aborda a contribuição de Bohr para justificar a instabilidade do átomo de Rutherford e a sua teoria para os saltos quânticos. Nas últimas páginas da HQ ainda surgem explicações sobre o comportamento ondulatório do elétron, segundo de Broglie, e a teoria ondulatória de Schrödinger para a onda de probabilidade.

Apresentação das situações-problemas relacionadas a parte 2 da HQ

O terceiro encontro foi encerrado com a apresentação das situações-problemas para a turma, durante os 15 minutos finais da aula. Cada estudante já tinha recebido, individualmente, uma folha com as questões que seriam trabalhadas coletivamente no

encontro seguinte. Então foram orientados a levar as questões para casa e iniciarem as reflexões em busca de soluções. Para Moreira (2011, p. 44) “*o papel do professor é o de provedor de situações-problema, cuidadosamente selecionadas, de organizador do ensino e mediador da captação de significados de parte do aluno (Vergnaud; Gowin)*”.

Esta etapa da sequência de ensino, através da apresentação de situações-problemas, tem uma estreita relação com o desenvolvimento histórico de experiências que culminaram com o advento da teoria quântica para explicar a estrutura da matéria. Elas foram elaboradas levando em consideração o processo de construção do conhecimento, aumentando gradativamente o nível de complexidade dos tópicos estudados.

Então a apresentação das situações-problemas não se limitou a uma leitura despreziosa dos versos de cordel. Foi trabalhada de forma a expor os aspectos mais relevantes do conteúdo, relacionando informações, conceitos e significados que ajudaram os estudantes a compreender melhor os conteúdos, dispondo de melhores condições para elaborar as soluções para os problemas propostos.

As etapas realizadas no terceiro encontro estão dentro do contexto de ações que apresentam o conteúdo a ser ensinado, respeitando os conhecimentos prévios dos estudantes. Primeiro através da dinâmica que envolveu a construção do esquema conceitual. Depois houve a recitação da parte 2 da HQ, apresentando novas informações e retomando aspectos relevantes estudados na parte 1 da ferramenta de ensino. Por fim houve a apresentação dos aspectos mais relevantes e específicos do conteúdo, apresentação de situações-problemas que direcionou os tópicos que precisavam ser aprofundados no processo de ensino-aprendizagem.

5.4 O quarto encontro

Neste encontro ocorreu o desenvolvimento de mais três etapas pautadas no trabalho com as situações-problemas apresentadas no terceiro encontro. Inicialmente cada equipe se reuniu para pensar e propor soluções para as questões. Em seguida os trabalhos foram compartilhados entre equipes, no intuito dos grupos poderem complementar e contribuir coletivamente com as soluções para os problemas propostos. Na última etapa desse encontro o professor atuou de forma a organizar o conhecimento e planejar junto aos alunos as atividades dos dois últimos encontros que ocorreriam na semana seguinte.

Trabalhando as situações-problemas em equipe

Após a apresentação dos problemas ocorreu a dinâmica de elaboração de soluções para as questões. Essa atividade foi acompanhada de perto pelo professor, mediando, estimulando e ajudando, sempre que solicitado, nas propostas de soluções dos alunos.

As ações desenvolvidas no terceiro encontro e o trabalho em equipe realizado pelos grupos que elaboraram soluções se aproximam do quarto aspecto sequencial da UEPS. De acordo com Moreira (2011)

4. uma vez trabalhadas as situações iniciais, apresentar o conhecimento a ser ensinado/aprendido, levando em conta a diferenciação progressiva, i.e., começando com aspectos mais gerais, inclusivos, dando uma visão inicial do todo, do que é mais importante na unidade de ensino, mas logo exemplificando, abordando aspectos específicos; a estratégia de ensino pode ser, por exemplo, uma breve exposição oral seguida de atividade colaborativa em pequenos grupos que, por sua vez, deve ser seguida de atividade de apresentação ou discussão em grande grupo; (Moreira ,2011, p. 45)

Segunda atividade colaborativa

O quarto encontro teve início com a reorganização dos grupos para a resolução das situações-problemas relacionadas a parte 2 da HQ. Após cerca de 40 minutos a equipe A trocou o trabalho com a equipe C para compartilhamento de ideias e informações, enquanto as equipes D e B realizavam o mesmo processo. Nos mesmos moldes dos trabalhos desenvolvidos durante a resolução de situações-problemas da parte 1 dos quadrinhos as equipes construíram soluções coletivas e formularam respostas para os fenômenos investigados.

A dinâmica de atividade colaborativa apresenta afinidade com o quinto passo da UEPS, quando Moreira (2011) destaca a necessidade da reconciliação integradora e atividades colaborativas, tudo acontecendo com a mediação do professor. Neste sentido as etapas de apresentação das novas situações-problemas, o trabalho em equipe para propor soluções e a dinâmica de atividade colaborativa são indissociáveis e estão dentro de um contexto dos aspectos sequenciais de uma UEPS. Em Moreira (2011, p. 45) há uma descrição detalhada que relaciona as atividades desenvolvidas na sequência de ensino deste trabalho.

5. em continuidade, retomar os aspectos mais gerais, estruturantes (i.e., aquilo que efetivamente se pretende ensinar), do conteúdo da unidade de ensino, em nova apresentação (que pode ser através de outra breve exposição oral, de um recurso computacional, de um texto, etc.), porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação; as situações-problema devem ser propostas em níveis crescentes de complexidade; dar

novos exemplos, destacar semelhanças e diferenças relativamente às situações e exemplos já trabalhados, ou seja, promover a reconciliação integradora; após esta segunda apresentação, propor alguma outra atividade colaborativa que leve os alunos a interagir socialmente, negociando significados, tendo o professor como mediador; esta atividade pode ser a resolução de problemas, a construção de uma mapa conceitual ou um diagrama V, um experimento de laboratório, um pequeno projeto, etc., mas deve, necessariamente, envolver negociação de significados e mediação docente;(Moreira, 2011, p. 45)

Nova fase de organização do conhecimento

Na última etapa do encontro foi momento de esclarecer o que cada situação-problema tratava e as dúvidas ainda pendentes. Além disso, explicou-se de forma geral os fenômenos abordados na parte 2 da HQ. Isso ocorreu após o acompanhamento das atividades realizada pelos grupos na busca por resposta.

Então esta etapa de organização do conhecimento teve duração de cerca de trinta minutos, com abordagem sobre o conteúdo presente na parte 2 da HQ. Nos moldes do que foi realizado no trabalho com a parte 1 da HQ, houve uma aula mais tradicional, com explicações expositivas e repasse de informações com ênfase nos fenômenos que pudessem ajudar os discentes na superação dos obstáculos para a compreensão do conteúdo. Foi um momento estratégico para a retomada de informações e de conceitos importantes. O sexto passo da UEPS descreve:

6. concluindo a unidade, dar seguimento ao processo de diferenciação progressiva retomando as características mais relevantes do conteúdo em questão, porém de uma perspectiva integradora, ou seja, buscando a reconciliação integrativa; isso deve ser feito através de nova apresentação dos significados que pode ser, outra vez, uma breve exposição oral, a leitura de um texto, o uso de um recurso computacional, um áudiovisual, etc.; o importante não é a estratégia, em si, mas o modo de trabalhar o conteúdo da unidade; após esta terceira apresentação, novas situações-problema devem ser propostas e trabalhadas em níveis mais altos de complexidade em relação às situações anteriores; essas situações devem ser resolvidas em atividades colaborativas e depois apresentada se/ou discutidas em grande grupo, sempre com a mediação do docente; (MOREIRA, 2011, p. 45 e 46)

Vale ressaltar que a organização do conhecimento foi oportuna para mais uma dinâmica de socialização de informações. Houve uma retomada dos conceitos, fenômenos e experiências estudadas. Acredita-se que através disso o aluno teve oportunidade de organizar os significados. Veja que os passos da sequência sempre buscam valorizar o processo de diferenciação progressiva e reconciliação integradora.

Para Moreira (2011, p. 44) a *diferenciação progressiva, a reconciliação integradora e a consolidação devem ser levadas em conta na organização do ensino (Ausubel).*

Planejamento para produção de estrofes de versos de cordel e tirinhas

Antes de finalizar o encontro houve o planejamento dos encontros subsequentes, nos quais os alunos foram reorganizados em grupos para elaborar versos de cordel e tirinhas abordando tópicos do conteúdo estudado.

A seguir estão descritos os principais eventos envolvidos na busca por solução para as situações-problemas trabalhadas no quarto encontro. Seguem as principais indagações, as sugestões das equipes para outros grupos e as propostas de soluções finais.

A situação-problema que inicia as investigações da parte 2 da HQ trabalha a compreensão do espectro. As equipes deveriam descrever conceitualmente o espectro e diferenciar o espectro contínuo do discreto.

6º SITUAÇÃO-PROBLEMA

A luz do sol quando passa por um prisma emite espectro contínuo. O mesmo ocorre com a radiação emitida por corpos opacos (sólido ou fluido muito denso) quando são aquecidos. Já os gases quando passam pelo processo de aquecimento emitem um espectro discreto. O estudo da espectroscopia deu uma grande contribuição para o desenvolvimento da Física Quântica.

NO FINAL DO SÉCULO XIX SE BUSCAVA UMA EXPLICAÇÃO PARA OS GASES AQUECIDOS QUE EMITIAM RADIAÇÃO COM LINHAS COLORIDAS SEPARADAS NO ESPECTRO DE EMISSÃO

QUANDO A ENERGIA RADIANTE TEM SUA LUZ DIRECIONADA PARA UM PRISMA TRANSPARENTE ONDE A LUZ É DESVIADA OCORRE A DISPERSÃO E SUAS CORES SÃO ESPALHADAS

AO AQUECER A AMOSTRAS DE GÁS COM UMA CHAMA TRANSPARENTE BUNSEN E KIRCHHOFF PERCEBERAM A EMISSÃO DE LUZ DISCRETAMENTE MAS OS CIENTISTAS NÃO ENTENDIAM ESPERAVAM EMISSÃO CONTINUAMENTE

O ESPECTRO QUANDO É DISCRETA TEM AS LINHAS ESPAÇADAS QUANDO PRÓXIMAS SÃO CONTÍNUAS E NÃO APARECEM SEPARADAS ENTENDER ESSA CONFUSÃO FOI UMA GRANDE EMPREITADA

ESSE FORMA DE RADIAÇÃO A FÍSICA CLÁSSICA NÃO EXPLICAVA O QUE ISSO PROVOCARIA JAMAIS SE IMAGINAVA NOVAS IDEIAS FORAM SURGINDO E SÓ NISTO SE FALAVA

ESPECTRO DE EMISSÃO

Gás

Bico de Bunsen

Prisma

Espectro de luz discreto

Gás Hidrogênio

Espectro contínuo

Espectro discreto

gás

luz branca

O ESPECTRO COM LINHAS COLORIDAS MUDAVAM PARA CADA GÁS ELAS FICARAM CONHECIDAS COMO RAÍAS ESPECTRAIS CADA ELEMENTO TEM UM ARRANJO ATÉ PARECEM AS DIGITAIS

HIDROGÊNIO

HÉLIO

MERCÚRIO

Kirchhoff

Bunsen

Baseado no que foi estudado até aqui, responda:

- O que é o espectro?
- Explique a diferença entre o espectro contínuo e discreto (descontínuo).

O sétimo tópico trabalhado com os alunos busca provocar as equipes a compreensão da teoria da radiação do corpo negro desenvolvida por Planck e investigar o entendimento do conceito de quantização para o estudo da mecânica quântica.

Um novo e revolucionário conceito foi introduzido na Física por Max Planck (1858-1947), em 1900. Ele propôs que a radiação emitida por um corpo negro só pode assumir determinados valores de energia. Foi estudando a emissão de radiação por corpos aquecidos que Planck conseguiu explicar o espectro de radiação emitido por um corpo negro. As ideias de Planck dão origem ao desenvolvimento da Física Quântica, diante da insuficiência que a Física Clássica apresentava quando tentava explicar os fenômenos que envolviam a compreensão da estrutura dos átomos.

A ORIGEM DA TEORIA QUÂNTICA FOI A MAX PLANCK ATRIBUÍDA AO EXPLICAR QUE A RADIAÇÃO POR UM CORPO TRANSMITIDA OCORRE DE FORMA QUANTIZADA E EM PACOTES É EMITIDA

CALMA QUE AINDA VOU DIZER, O QUE PLANCK QUIS EXPLICAR POR ENQUANTO BASTA SABER QUE ELEMENTOS PODEM IRRADIAR LUZ COM CORES DIFERENTES QUANDO SUA TEMPERATURA AUMENTAR

Temperatura Ambiente	Temperatura 2000K	Temperatura 4000K	Temperatura 6000K
----------------------	-------------------	-------------------	-------------------

O ARRETADO MAX PLANCK ENTÃO PROPÔS UMA SOLUÇÃO NA QUAL A ENERGIA DE UM CORPO SERIA DESCONTINUA NA TRANSMISSÃO POIS SÃO LIBERADAS EM PACOTES CHAMADOS QUANTA DE RADIAÇÃO

FOI DA IDEIA DE MAX PLANCK QUE SURTIU A QUANTIZAÇÃO AO ANALISAR COMO A ENERGIA TEM SUA EMISSÃO EM CORPOS AQUECIDOS QUE EMITIAM RADIAÇÃO

Temperatura 500K	Temperatura 3200K	Temperatura 1750K	Temperatura 5500K
------------------	-------------------	-------------------	-------------------

Explique qual foi a ideia e conceito que surge no estudo de Planck ao explicar a radiação emitida por um corpo aquecido.

A oitava situação-problema foi elaborado no intuito de provocar nos alunos uma investigação sobre a ideia de Bohr para inserir o conceito de quantização nos fenômenos atômicos e a compreensão dos saltos quânticos.

8º SITUAÇÃO-PROBLEMA

As explicações de Planck, tratando da energia emitida por corpos aquecidos, contribuíram para que Bohr desenvolvesse a Teoria Quântica do átomo. O modelo atômico de Bohr resolveu a instabilidade do átomo de Rutherford, explicando a distribuição da energia dos elétrons por camadas.

Leia cuidadosamente os quadrinhos das páginas 7, 8 e 9, apresentados pelo personagem George, e responda.

- a) O que as órbitas representam para os elétrons no modelo atômico de Bohr?
- b) Explique o que são saltos quânticos e em que ocasião o elétron libera o fóton (luz) na forma de radiação?

A questão nove, desenvolvidas para que os alunos compreendessem a ideia do movimento ondulatório do elétron proposta por de Broglie e investigasse como ele justifica os níveis de energia nos átomos.

9º SITUAÇÃO-PROBLEMA

As explicações de Planck, tratando da energia emitida por corpos aquecidos, contribuíram para que Bohr desenvolvesse a Teoria Quântica do átomo. O modelo atômico de Bohr resolveu a instabilidade do átomo de Rutherford, explicando a distribuição da energia dos elétrons por camadas.

Em 1924 De Broglie apresentou uma teoria ondulatória para o movimento do elétron.

EM 1924 DE BROGLIE APRESENTOU UMA NOVA EXPLICAÇÃO PARA O MOVIMENTO DO ELÉTRON QUE APRESENTA OSCILAÇÃO SE COMPORTANDO COMO ONDA FOI UMA GRANDE INTERPRETAÇÃO

COM SEU COMPORTAMENTO ONDULATÓRIO O ELÉTRON VAI DETERMINAR OS DIFERENTES NÍVEIS DE ENERGIA QUE O ÁTOMO PODE APRESENTAR QUANTO MAIS EXTERNA A ÓRBITA MAIS OSCILAÇÕES ELE TERÁ

QUANDO O ELÉTRON OSCILAR VAI PERCORRER UMA DISTÂNCIA REALIZANDO UM MOVIMENTO COM BASTANTE ELEGÂNCIA ENTÃO VAMOS ENTENDER PORQUE ISSO TEM IMPORTÂNCIA

AO COMPLETAR A OSCILAÇÃO O ELÉTRON VAI APRESENTAR CERTOS COMPRIMENTOS DE ONDA QUE IRÃO DETERMINAR CADA NÍVEL DE ENERGIA COM VALOR PARTICULAR

EM 1924 DE BROGLIE APRESENTOU UMA NOVA EXPLICAÇÃO PARA O MOVIMENTO DO ELÉTRON QUE APRESENTA OSCILAÇÃO SE COMPORTANDO COMO ONDA FOI UMA GRANDE INTERPRETAÇÃO

LEONARDO DE BROGLIE

Nível 1
1 comprimento de onda

Nível 2
2 comprimentos de onda

Nível 3
3 comprimentos de onda

Nível 4
4 comprimentos de onda

órbita 1
órbita 2
órbita 3
órbita 4

QUERO DIZER QUE CADA ÓRBITA TERÁ A SUA DIMENSÃO DADA PELO COMPRIMENTO DE ONDA VEZES A QUANTIDADE DE OSCILAÇÃO QUE O ELÉTRON REALIZAR POR TODA A SUA EXTENSÃO

comprimento circunferência

$C = n\lambda$

número de oscilação

comprimento de onda

A CIRCUNFERÊNCIA DA ÓRBITA QUE O ELÉTRON OCUPAR TERÁ MAIOR COMPRIMENTO QUANTO MAIS ELE OSCILAR JÁ NA ÓRBITA MAIS INTERNA UMA OSCILAÇÃO ELE VAI REALIZAR

NO SEGUNDO NÍVEL DE ENERGIA DUAS OSCILAÇÕES O ELÉTRON TERÁ NO TERCEIRO NÃO É DIFERENTE TRÊS VEZES VAI OSCILAR E ASSIM SEGUVE A SEQUÊNCIA PARA CADA ÓRBITA QUE ELE OCUPAR

CADA ÓRBITA TEM COMPRIMENTO E NÍVEL DE ENERGIA QUE É PADRÃO ESSE MOVIMENTO DO ELÉTRON EXPLICA A QUANTIZAÇÃO DA ENERGIA EM CADA NÍVEL QUE É FRUTO DA OSCILAÇÃO

n=1

n=2

n=3

n=4

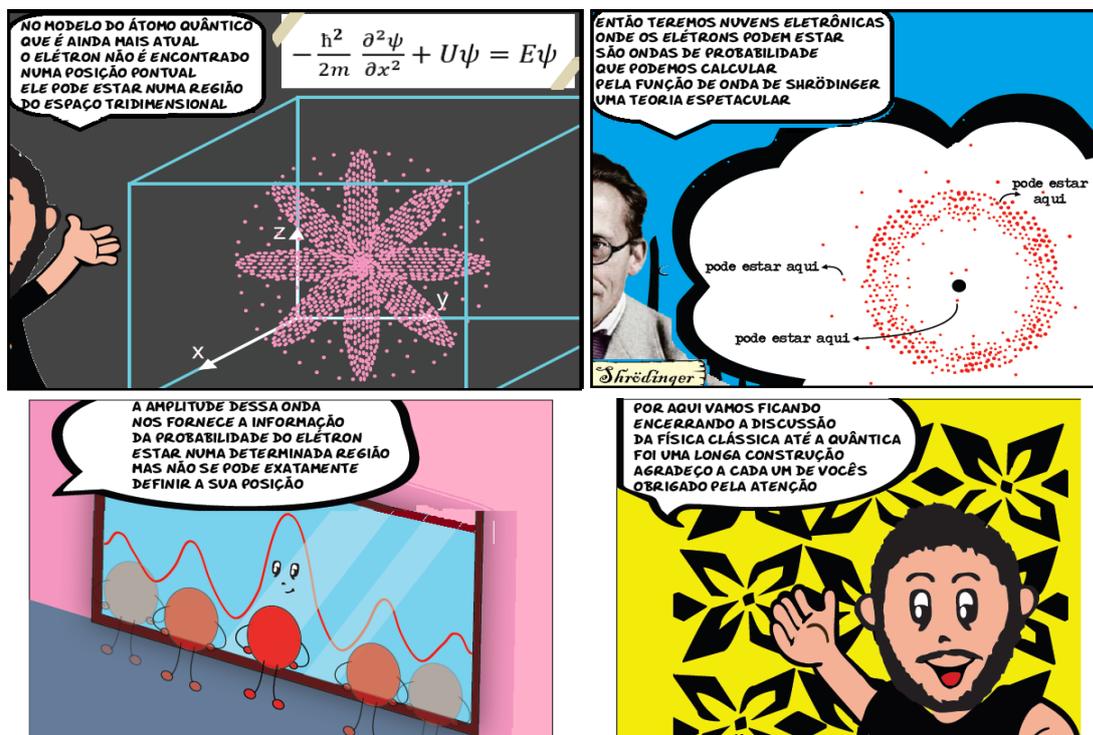
Baseado na história em quadrinhos, resolva as questões colocadas abaixo:

- a) Descreva como de Broglie explica as orbitas dos elétrons e o seu respectivo comprimento.
- b) Qual a relação do movimento ondulatório do elétron e o fato dos níveis de energias serem quantizados em cada camada ou órbita (níveis de energia)?

A última situação-problema busca promover nas equipes uma investigação sobre o comportamento do elétron segundo a teoria ondulatória de Schrödinger e quais informação a amplitude da equação de onda fornece a este respeito.

10º SITUAÇÃO-PROBLEMA

Schrödinger propõe um modelo matemático para o átomo e não um modelo visual. A teoria quântica ondulatória desse cientista discute que o elétron pode estar em qualquer lugar do átomo. Segundo ele não é possível determinar exatamente a posição dessa partícula, sendo apenas possível determinar a probabilidade de o elétron ser encontrado em uma região específica do átomo.



Em um dos quadrinhos acima vemos que o elétron está diante do espelho, ficando mais visível no centro, local no qual a onda apresenta maior amplitude. Neste sentido, o que indica a maior amplitude da onda quando se tenta localizar o elétron em determinada região do átomo?

5.5 O quinto e sexto encontro

Antes da apresentação do material produzido pelos alunos, versos de cordel e tirinhas, previsto para os últimos encontros, cada equipe deveria entregar as propostas de soluções finais relacionados aos problemas trabalhados nos momentos anteriores da sequência. Em todos os encontros os alunos desenvolveram atividades que demonstravam o avanço na aquisição e retenção de significados, no qual a aprendizagem e a avaliação ocorriam de forma progressiva.

O material produzido ao longo da sequência teve suma importância para avaliar a aprendizagem dos estudantes e para a compreensão das variáveis envolvidas no processo de construção do conhecimento. Sobre a avaliação Moreira (2011, p. 46) escreve na sétima etapa da UEPS que:

7. a avaliação da aprendizagem através da UEPS deve ser feita ao longo de sua implementação, registrando tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado; além disso, deve haver uma avaliação somativa individual após o sexto passo, na qual deverão ser

propostas questões/situações que impliquem compreensão, que evidenciem captação de significados e, idealmente, alguma capacidade de transferência; tais questões/situações deverão ser previamente validadas por professores experientes na matéria de ensino; a avaliação do desempenho do aluno na UEPS deverá estar baseada, em pé de igualdade, tanto na avaliação formativa (situações, tarefas resolvidas colaborativamente, registros do professor) como na avaliação somativa;

Apresentações dos versos de cordel e tirinhas produzidas pelas equipes

Para finalizar a sequência ensino, o quinto e sexto encontro teve o intuito de estimular a capacidade dos estudantes comunicarem os conhecimentos aprendidos, demonstrando compreensão do conteúdo e captação de significados. Então, foi proposto para eles desenvolverem versos de cordel e tirinhas sobre tópicos do conteúdo estudado. A apresentação dos trabalhos de cada equipe não teve o intuito de validar ou não as atividades desenvolvidas. Buscou realizar uma atividade na qual os alunos buscassem relacionar conceitos e fenômenos de forma criativa, em vez de estarem preocupados em apenas decorar respostas prontas. Tal etapa se aproxima do que é colocado por Moreira (2011, p. 46)

8. a UEPS somente será considerada exitosa se a avaliação do desempenho dos alunos fornecer evidências de aprendizagem significativa (captação de significados, compreensão, capacidade de explicar, de aplicar o conhecimento para resolver situações-problema). A aprendizagem significativa é progressiva, o domínio de um campo conceitual é progressivo; por isso, a ênfase em evidências, não em comportamentos finais.

O material produzido pelos discentes permitiu uma melhor interpretação do processo de ensino-aprendizagem. A intenção não foi definir se ocorreu aprendizagem, mas exercitar nos estudantes a capacidade de comunicar e contextualizar os conceitos e fenômenos estudados, através de versos de cordel ou enredo de tirinhas. Com essa dinâmica foi possível compreender com mais clareza o processo de construção do conhecimento, além das possibilidades e limitações do uso da HQ e das atividades desenvolvidas na sequência em aulas de Física.

O primeiro grupo ficou responsável por elaborar tirinhas ou quadrinhos abordando as inconsistências do modelo atômico proposto por Rutherford e tratando de configuração de espectros contínuos e discretos

A segunda equipe ficou responsável por elaborar algo abordando a radiação do corpo negro segundo estudos de Max Planck. O grupo criou seis estrofes de cordel abordando conceitos e características desse tópico do conteúdo. Também tiveram a ideia

criar um personagem, chamado Átomo, para construir uma tirinha e reforçar os principais tópicos da teoria da radiação do corpo negro dentro de outro contexto.

Um terceiro grupo ficou responsável por produzir algo relacionado ao modelo atômico de Bohr e os fenômenos dos saltos quânticos. Esse grupo decidiu construir estrofes típicas de uma quadra, ou seja, construídas em 4 versos, nos quais o primeiro rima com o terceiro e o segundo com o quarto. Ao final da produção eles decidiram colocar o significado de uma das palavras que aparecem nos versos

Para descrever de forma mais detalhada os saltos quânticos a equipe decidiu produzir uma tirinha no qual dois personagens dialogam sobre a luz emitida pelos átomos. Diante de uma interpretação equivocada desse fenômeno um dos personagens consegue explicar para o colega em quais ocasiões o átomo libera fótons devido aos saltos dos elétrons entre camadas.

A quarta e quinta equipe ficaram responsáveis por desenvolver, cada uma, produções que abordassem as contribuições de de Broglie para a explicação dos níveis de energia quantizadas para os elétrons nos átomos e a ideia de amplitude da onda de probabilidade que existe na Teoria de Schrödinger.

Explicando as contribuições de Schrödinger para o comportamento dos elétrons no átomo, os integrantes do grupo desenvolveram uma tirinha.

Através do diálogo entre o aluno e professor aparece a contextualização para explicar que através da teoria ondulatória de Schrödinger é possível determinar a probabilidade de se encontrar o elétron em uma região do átomo.

A última equipe a se apresentar desenvolveu várias estrofes, se envolvendo em relatos da vida de de Broglie e Schrödinger, apresentando de forma contextualizada os principais tópicos de suas respectivas teorias estudados em aulas anteriores. Essa equipe ainda demonstrando uma excelente interpretação daquilo que foi estudado na teoria de de Broglie e Schrödinger ao desenvolver uma tirinha na qual os personagens científicos dialogam sobre a contribuição de suas ideias para a Física Quântica. Com um criativo tom de comédia eles abordam como ambos os cientistas entendiam o comportamento do elétron.

A etapa de produção de versos de cordel e de tirinhas abordando tópicos do conteúdo, por parte dos alunos, surge no intuito de promover e estimular o desenvolvimento da criatividade e da capacidade imaginativa dos discentes. O incentivo a atividades dessa natureza torna o ensino mais dinâmico e lúdico, estimulando os

estudantes a pesquisarem e fazer uso de instrumentos de sua afinidade para relacionar o conteúdo de sala de aula com algo mais prazeroso.

6. Considerações finais

Inovar e superar as dificuldades estruturais das escolas, rompendo com o excesso de aulas expositivas com o professor centradas nas ações de todo o processo, é uma tarefa árdua, porém necessária. Neste sentido, o trabalho com desenvolvimento de versos poéticos típicos da literatura popular e a criação de enredos com ilustrações características das histórias de quadrinhos mostrou-se um excelente recurso didático para o processo de ensino-aprendizagem, por diversificar as aulas de Física, superando os massivos métodos tradicionais e envolvendo os discentes em atividades reflexivas. As atividades foram concretizadas com sucesso devido o estudo prévio e reflexivo para elaboração da uma sequência de ensino, planejada no intuito de colocara os estudantes como protagonistas das ações do processo de ensino-aprendizagem e organizando os tópicos do conteúdo de forma a facilitar a construção do conhecimento.

O trabalho com situações-problemas, exigindo dos discentes interpretações de conceitos e fenômenos indicaram a compreensão do conteúdo ensinados, tendo em vista que para todas as questões trabalhadas as equipes conseguiram apresentar soluções coerentes. Algumas equipes indicaram maior capacidade de contextualização e em nenhuma das questões os discentes indicaram entendimento insatisfatório. Tais resultados foram apresentados de forma qualitativa e quantitativa, procurando apresentar de forma mais fiel possível as soluções propostas por cada grupo.

Do ponto de vista do envolvimento dos alunos nas atividades da sequência e de estímulo ao desenvolvimento da criatividade para o aprendizado de ciências os resultados foram surpreendentes. Pois mesmo diante de temas abstratos os grupos desenvolveram versos de cordel e tirinhas contextualizando os fenômenos e conceitos que envolveram o surgimento da velha mecânica quântica, corroborando com a ideia de que o ensino de ciências relacionado ao campo da cultura e arte pode estimular a capacidade criativa dos estudantes.

Vale ressaltar que a sequência de ensino não deve ser entendida como uma receita que levará ao sucesso da aprendizagem. O professor deve estar preparado para mudanças ao longo do processo, pois a mesma se desenvolve levando em consideração as peculiaridades da turma e da escola. Medidas inovadoras requerem um ambiente

favorável que é possível com diálogo, conquistando a comunidade escolar através da negociação de negociação e não pela imposição de qualquer autoridade.

7. Referências bibliográficas

HEWITT, P. G. “*Física Conceitual*”; Ed. Bookman. RG. 9ª 2002.

MOREIRA; *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS*. Aprendizagem Significativa em Revista, 2011, Vol. 1, N. 2, pp. 43-63

_____; *Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS*.

Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful Learning Review, 1(2), 43-63, 2011.

NOBRE, F. A. S. *Folhetos de Cordel Científicos: Um Catálogo e uma Sequência de Ensino*. São Leopoldo: Trajetos Editorial, 2017.

_____, *Os folhetos de Cordel como ferramenta didática para o ensino das ciências*, p. 149-170. In. VOZES DA CULTURA POPULAR: Tradição, Movência e Ressignificações. Organizado por Daniel Conte e Rafael Hofmeister de Aguiar. Leopoldo-RS: Trajetos editorial, 2015.

PIETROCOLA, M., POGIBIN, A., ANDRADE, R. de, ROMERO, T. R. *Coleção Física em contextos: pessoal, social e histórico*, v. 3. 1. ed. São Paulo: FTD, 2010.

Apêndice

Apêndice A – considerações teóricas

Nesta seção são apresentados argumentos e trabalhos relevantes relacionados a utilização da literatura de cordel e da história em quadrinhos em sala de aula. Ambas as artes enfrentaram dificuldades para ganhar o campo da educação formal, mesmo tendo natureza de ferramentas pedagógico, até se estabelecerem como recursos didáticos.

Na perspectiva de planejar, entender e otimizar o processo de ensino-aprendizagem os tópicos finais da seção descrevem aspectos relevantes da teoria da aprendizagem significativa e os fundamentos teóricos e sequencias para o desenvolvimento de uma UEPS.

1 A Literatura de Cordel no ensino de Física

Neste sentido a abordagem de temas de natureza científica em versos de cordel, numa temática diferente e complementar aos livros didáticos, pode despertar nos estudantes uma maior motivação para estudar temas dessa natureza. Já existem alguns trabalhos que propõem o cordel no ensino de ciências, na perspectiva de contribuir com o processo de ensino-aprendizagem na escola básica, defendendo que os versos de cordel podem possibilitar a contextualização dos conceitos e fenômenos a serem ensinados, facilitando a compreensão dos estudantes.

Lima (2013) destacou a linguagem simples e atrativa da literatura de cordel, enfatizando o seu potencial para o ensino e a comunicação da ciência. No seu trabalho foi realizada uma catalogação e análise dos cordéis científicos no acervo de literatura de cordel na biblioteca *Átila Almeida* da Universidade Estadual da Paraíba. O autor ainda descreve atividades de sucesso realizadas com alunos de escolas públicas no Estado da Paraíba, nas quais foram apresentados conteúdos de Física na linguagem poética da literatura de cordel. No entanto, Lima (2013) deixa claro que o trabalho com cordel não substitui a linguagem formal dos livros didáticos e que o mesmo pode ser utilizado como ferramenta auxiliar para o ensino de Física.

Nobre (2017) apresenta um catálogo com alguns cordéis que podem ser utilizados no ensino de ciências, em áreas como Física, Matemática e Química. Ele destaca os aspectos positivos da utilização do cordel científico como ferramenta didática. Além disso, propõe uma sequência de ensino para o uso dos versos em sala de aula, exemplificando o passo a passo dessa sequência e sua contribuição para o processo de

ensino-aprendizagem através de cordéis que tratam de conteúdos da Física. Neste sentido o autor defende que:

os folhetos de cordel não devam ser preservados somente como relíquias da tradição nordestina, ou como Literatura, ou algo pitoresco e visto muitas vezes de forma preconceituosa. Queremos usá-los como disseminadores das ciências, mas também em sala de aula como mais uma ferramenta didática, num processo de ensino-aprendizagem que seja interativo, dialogado e contextualizado, e, ao mesmo tempo, pretendemos incentivar uma maior produção dos chamados *folhetos* científicos. (Nobre, 2017, p. 47)

Além das contribuições que aparecem na citação acima, é possível relatar duas experiências de sucesso que envolve a utilização da literatura de cordéis científicos no ensino de Física. Na primeira delas, Silva, Rafael, Nobre e Araújo (2017) trabalharam a obra *Física Conceitual em Folhetos de Cordel: Transferência de Calor*, de autoria do poeta Ênio José Gondim Guimarães, em uma escola pública da cidade de Juazeiro do Norte – CE. A segunda experiência aparece em Rafael, Silva, Nobre e Vieira (2018), na qual foi trabalhado a obra *Folheto de Cordel: Física conceitual: Calor, Temperatura e Dilatação*, também de autoria do poeta Ênio José Gondim Guimarães, em uma escola pública da cidade de Crato – CE. Em ambos os trabalhos foram desenvolvidas etapas de uma sequência de ensino, para investigar o potencial didático-pedagógico do cordel no ensino de Física. Tais experiências apresentaram resultados que indicaram relevante contribuição para a o envolvimento dos alunos nas atividades desenvolvidas.

Mesmo reconhecendo e valorizando os argumentos e aspectos positivos relatados nas experiências citadas acima, este trabalho suscita o surgimento de novos elementos relevantes para a utilização dos versos poéticos da literatura de cordel no ensino de Física. Aqui se busca analisar também o potencial de desenvolvimento do pensamento criativo e da capacidade imaginativa dos estudantes através da utilização do cordel no ensino de Física, estimulando os alunos a construir versos de cordel sobre os conteúdos trabalhados em sala de aula. Também se trabalha na perspectiva de ilustrar os conceitos e fenômenos descritos nos versos poéticos do cordel para facilitar a interpretação do conteúdo e estimular os discentes para o desenvolvimento destas habilidades.

Entende-se que, enquanto forma de expressão humana, a Ciência e a Poesia pertencem a campos diferentes do conhecimento. Elas apresentam distinção quanto ao método de produção e, geralmente, afloram de formas antagônicas quando o ser reflete e interage com as experiências e fenômenos. A poesia surge de uma expressão subjetiva do sentimento individual, enquanto a construção do conhecimento na ciência,

geralmente, é fruto de ações coletivas, das quais emergem ideias e teorias objetivas que descrevem experiências e fenômenos através de um conhecimento anterior já disseminado. No entanto, poesia e ciência tem berço na criatividade humana e derivam da sua capacidade imaginativa. Para Moreira (2002, p. 17) “*Ciência e poesia pertencem à mesma busca imaginativa humana, embora ligadas a domínios diferentes de conhecimento e valor*”.

Os grandes adventos científicos e o desenvolvimento tecnológico trouxeram transformações para a humanidade, provocando mudanças na forma como as pessoas enxergam, pensam, interagem e se expressam no mundo. Esse processo de influências é perceptível em obras de filósofos, pensadores, autores, pintores, poetas e artistas das mais diversas áreas de expressões humanas.

As produções artísticas e científicas, por estarem dentro do universo de criação e divulgação humana, acabam se influenciando mutuamente. Exemplo disso pode ser verificado no trabalho de Andrade, Nascimento e Germano (2007), no qual se percebe a influência que elementos e ideias da Teoria da Relatividade e da Mecânica Quântica causaram em parte da obra do pintor espanhol Salvador Dali.

O trabalho de Nobre (2017) reforça a entendimento de que poesia e ciência se relacionam e caminham junto com a necessidade de expressão do pensamento humano ao longo dos séculos, pois na coletânea de cordéis presente em seu catálogo aparecem obras de vários poetas que escreveram sobre temas científicos em diferentes épocas. A primeira versão desse catálogo, em constante construção, traz *folhetos* que abordam a Física, a Astronomia, a Química e a Matemática e os grandes vultos das ciências e filosofia.

Almeida, Massarani e Moreira (2016) também catalogaram e fizeram uma análise de 50 cordéis, os quais apresentam em seus versos temas científicos relacionados à biografia de cientistas e questões relacionadas ao meio ambiente. Além disso, através do livro “*Cordel e ciência – a ciência em versos populares*”, os autores apresentam uma coletânea de 22 folhetos que retratam descobertas científicas, temas da área de saúde, eventos astronômicos, meio ambiente e episódios da vida de cientistas.

Já Moreira (2002) analisa diversos temas da Física presentes em vários poemas de autores influentes da literatura portuguesa e brasileira. No referido trabalho também é possível encontrar poemas de grandes pesquisadores do Brasil que expressavam sua arte poética pela influência de temas da Física. De acordo com Moreira (2002, p. 17)

As aproximações entre Ciência e poesia revelam-se, no entanto, muito ricas, se olhadas dentro de um mesmo sentimento do mundo. A criatividade e a imaginação são o húmus comum de que se nutrem. Na origem desses dois movimentos, as incertezas de uma realidade complexa que demanda várias faces que podem transformar-se em versos, em *gedankensou* ser representados por formas matemáticas.

É possível que, o tratamento reducionista e isolado de temas relacionados ao ensino de Ciências nas escolas, trabalhados de forma completamente dissociada de outros processos de criação e expressão humana, desconstrua alguns aspectos encantadores que surgem no ato de estudar Física. Neste sentido, acredita-se ser possível desenvolver ferramenta potencialmente significativa para o ensino de Física através da literatura de cordel, tendo em vista que suas rimas podem proporcionar uma relação da ciência com a poesia na perspectiva de estimular o desenvolvimento da criatividade dos estudantes e professores para a melhoria do processo de ensino-aprendizagem. Em relação a isso Moreira (2002, p. 17) afirma que *“existem relações profundas entre Ciência, cultura e arte no processo de criação humana. No entanto, a discussão integrada dessas dimensões raramente se realiza nas salas de aula”*.

Ao analisar alguns versos poéticos de cordéis que abordam o tema astronomia, Medeiros e Agra (2010) detectam a necessidade do rigor conceitual descritos nas poesias para que o mesmo seja utilizado em sala de aula. Os autores destacam contribuições que essa ferramenta pode trazer ao ensino de ciências, mas também falam sobre as limitações que o cordel pode apresentar quando utilizado com viés pedagógico. Pois se faz necessário a análise da precisão conceitual presente nos versos poéticos. O cuidado com a informação correta, sendo fiel a descrição de conceitos e fenômenos, é um critério exigido em textos pedagógicos.

Medeiros e Agra (2010) defendem que, se a literatura de cordel for utilizada de forma correta, podem enriquecer e trazer beleza no tratamento de conceitos durante a descrição dos conteúdos, com possibilidade ainda de se aprofundar em temas complexos. Diante de uma estrofe na qual o famoso cordelista Gonçalves Ferreira da Silva, através do cordel intitulado *“Trigésimo Aniversário da Conquista da Lua”*, entra na temática da necessária reflexão dos limites da ciência em compromisso com a ética, os autores reconhecem que *“a beleza da veia poética do cordelista se sobressai por vezes ao rigor conceitual científico, mas que consegue paradoxalmente repousar por vezes em terrenos até mesmo mais complexos...”* (Medeiros e Agra, 2010, p. 8).

Os autores citados acima destacam que o potencial pedagógico dos folhetos pode contribuir para despertar a curiosidade do aluno em relação à determinado conteúdo; também podem facilitar a compreensão de conceitos e fenômenos nas aulas de ciências. De acordo com Medeiros e Agra (2010, p. 5)

Certo é, contudo, que o cordel tem o seu espaço garantido enquanto legítima forma de expressão e de valorização da cultura popular. A tensão entre poesia e ciência, entre livre criação artística com ênfase na estética e o esforço para articular argumentos em textos científicos, aparece, portanto, como um elemento vital a ser encarado na definição das potencialidades e das limitações do papel pedagógico do cordel.

Silva e Ribeiro (2012) refletem sobre a possibilidade da utilização da literatura de cordel como material didático auxiliar em aulas de ciências. Argumentam que a literatura popular apresenta estreita relação com a comunicação e divulgação de acontecimentos históricos da região nordeste. Tal peculiaridade possibilita o desenvolvimento de trabalhos interdisciplinares que aproximem a ciência da realidade local, contextualizando conceitos e fenômenos científicos dentro de uma conjuntura que pode tornar o ensino de ciências mais compreensível. De acordo com os autores, o distanciamento do conhecimento produzido pelas ciências naturais de outros saberes e manifestações humanas, como arte e a cultura, acaba por contribuir com a dificuldade de aproximar o ensino de Física do cotidiano do aluno.

Para Silva e Ribeiro (2012) a aproximação entre arte e ciência ainda pode contribuir com o estímulo ao desenvolvimento da criatividade dos estudantes, afirmando que:

A Física ainda é erroneamente considerada por muitos como um campo exclusivo da razão, e para muitos ela ainda se apresenta de forma determinista, evidenciando um rigor descritivo e uma precisão exata. Características essas que talvez ocupem o espaço da sensibilidade e da liberdade de criação que são mais comumente associados à arte. Essa aparente ausência de aspectos próprios de atividades humanísticas, seguramente acaba por tornar a ciência, aos olhos dos estudantes, algo distante da cultura, conseqüentemente, de seu cotidiano. Portanto, utilizar obras artísticas nas aulas de Física, pode favorecer a visualização de aspectos relacionados à estética da Física, pode também possibilitar um reconhecimento do papel da criatividade no fazer científico. (Silva e Ribeiro, 2012, p. 235).

É preciso entender que ciência, tecnologia, arte, religião, cultura e outras formas de saberes e expressões da criação humana, estão presentes na diversidade da sociedade brasileira. Todos esses aspectos são inerentes ao convívio social e convergem dentro do ambiente escolar através das concepções prévias dos alunos e professores. Tentar

contextualizar conteúdos científicos dentro de uma perspectiva mais holística do processo de produção do conhecimento, relacionando poesia, arte e ciência, pode tornar o ensino de Física mais lúdico, interessante, motivador para os estudantes. Então a proposta do uso da Literatura de Cordel no ensino de Física pode auxiliar no processo de ensino-aprendizagem voltado para a promoção da criatividade e do desenvolvimento da capacidade imaginativa. Para Moreira (2002, p. 17) “o professor, com imaginação, dedicação e tempo, poderá com certeza construir seu próprio conjunto de belos e instigantes poemas, todos eles associados a temas científicos.”

2 Quadrinhos no ensino de Física

Nos trabalhos de Caruso, Carvalho, Silveira (2002), utilizando tirinhas e histórias em quadrinhos no ensino de Física, há um destaque do potencial dessa ferramenta para o estímulo ao pensamento criativo dos estudantes no processo de ensino-aprendizagem. Os autores entendem a produção de quadrinho como uma manifestação artística de características particulares e enxergam que a relação arte/educação pode promover o desenvolvimento do pensamento criativo, além de causar um maior estímulo dos discentes em aulas de Física.

Para os autores, a abordagem de temas da Física através da arte dos quadrinhos pode integrar uma metodologia de ensino junto à produção artística. Na concepção deles, ferramentas dessa natureza ultrapassam a ideia de ser apenas mais um instrumento didático para transmitir informações. Ela desponta como uma produção autêntica, inserida dentro de um universo artístico, que pode estimular a criatividade dos alunos e promover desenvolvimento do pensamento científico dos mesmos.

A ciência e a arte são manifestações do pensamento humano, fruto da sua capacidade inventiva. Nesse sentido, abordar temas da Física, através da arte dos quadrinhos, pode ser um método eficiente para auxiliar professores dentro do complexo contexto que envolve os processos de ensino-aprendizagem.

Criar, escrever, comunicar, interpretar, ilustrar, ensinar e aprender são ações correlacionadas e inerentes ao desenvolvimento do pensamento científico e artístico, além de envolverem a dinâmica de professores e alunos dentro do universo educacional. Nesse contexto é importante desenvolver ferramentas de ensino que busquem motivar o estudante a ler mais e melhorar sua capacidade interpretativa. Na criatividade também mora o campo do imaginário, muitas vezes explorado para o desenvolvimento de teorias

científicas. Então estimular o desenvolvimento do potencial de abstração dos estudantes, quando o concreto não é o caminho mais plausível, é fundamental para o aprendizado. Para Caruso e Silveira (2009, p. 233)

Os quadrinhos e as tirinhas podem ser importante instrumento capaz de motivar o aluno para a leitura e para os estudos. Eles ensinam o aluno a construir uma narrativa, imaginando e criando o que está subentendido entre um quadrinho e outro na sequência da história. Contribuem, portanto, para o desenvolvimento da própria linguagem, do poder de síntese, da criatividade e de conceitos importantes.

Diante disso, utilizar a história em quadrinhos como ferramenta de ensino vai além da mera função de transmitir informações ou apresentar a descrição de determinado conteúdo. Ela pode ser trabalhada em um sentido amplo, no qual ciência e arte se completam no processo de estímulo a criatividade, interpretação e produção do conhecimento. Através da relação entre Arte e Ciência, utilizando-se quadrinhos no ensino de Física, busca-se estimular o desenvolvimento do pensamento criativo. A esse respeito Caruso, Carvalho, Silveira (2005, p. 33) afirmam

Embora as artes se cristalizem no plano sensível, e as ciências no plano do pensamento formal, é preciso não perder de vista que ambas advêm de um pensador criativo que desconstrói a natureza para construir e estudar, respectivamente, fenômenos formalizados na instância cognitiva ou expressos no mundo da experiência estética.

É importante ressaltar que a retenção e aquisição de significados relacionados ao conhecimento científico não está necessariamente dissociada das manifestações criativas da arte, religião, cultura popular e outras formas de saberes e conhecimentos. É importante que os estudantes vivenciem um ensino de ciências no qual o conhecimento a ser adquirido não se limite a uma mera transmissão de informações, conceitos, experiências, fenômenos e métodos aparentemente isolados e dissociados de outras manifestações que são fruto da atividade do pensamento criativo humano.

A produção do conhecimento é inerente ao pensamento criativo e está inserido dentro de uma sociedade dinâmica, que mantém tradições e costumes, enquanto produz novas tendências, necessidades e conhecimentos através da ciência, da arte e da tecnologia. Então, através da percepção de um ensino de ciências dentro de um contexto holístico e multidisciplinar será possível desenvolver inovadoras ferramentas de ensino que permita a contextualização do ensino de Física.

No entanto, produzir alternativas de ensino capazes de provocar um interesse dos estudantes pelo mundo científico é um exercício inquietante para o professor de Física. Na realidade do seu trabalho o profissional de educação sente a necessidade de

planejar metodologias de ensino que resultem em um satisfatório processo de ensino-aprendizagem. Geralmente os aspectos matemáticos que envolvem os fenômenos físicos e a descrição dos mesmos, dificultam o interesse dos alunos por essa Ciência. Então, o profissional que conseguir inserir o contexto científico dentro de uma temática mais conceitual e lúdica pode construir um caminho alternativo para estimular o interesse do aluno pela Física. As múltiplas conexões da arte com a ciência através de histórias em quadrinhos aparece como uma alternativa para auxiliar na dinâmica de sala de aula. Nesse sentido Caruso e Feitas (2009, p. 364) afirmam que

As tirinhas, por seu caráter lúdico, podem ser utilizadas pelo professor como instrumento de apoio em suas aulas capaz de “prender a atenção” dos alunos. Elas têm a vantagem de permitir que qualquer assunto de Física ou de Ciências possa ser abordado sem recorrer, num primeiro momento, à matematização do fenômeno. Levando-se em conta que muitas vezes é a deficiência em Matemática que desestimula o jovem a estudar ciências, recorrer aos quadrinhos pode ser uma decisão efetiva no sentido de motivar o estudante.

A contextualização do conteúdo que aparece na linguagem não verbal das imagens dos quadrinhos tem o potencial de provocar a reflexão do aluno para interpretar conceitos e fenômenos. Os conteúdos descritos nos quadrinhos, através de uma abordagem mais conceitual, lúdica e rica em ilustrações, tendem a colocar o leitor diante de uma narrativa que prende a sua atenção. Dessa forma, o discente não estará na posição de mero receptor de informações que devem ser memorizadas e repetidas através de exercícios.

É fato que o abuso de atividades pautadas na repetição e reprodução de informações e exercícios do livro didático, comuns em metodologias de ensino tradicional, geralmente não consegue conquistar a atenção do aluno e atender a realidade da sala de aula das escolas brasileiras do século XIX. Então, através da história em quadrinhos e de outras ferramentas lúdicas, é possível desenvolver práticas pedagógicas para dinamizar o ensino. Medidas dessa natureza, que priorizam o estímulo à criatividade, podem motivar o aluno a assumir o papel de protagonista da construção do conhecimento. Para Caruso e Feitas (2009, p. 359)

O que torna interessante o uso das Histórias em Quadrinhos como fonte de motivação para os alunos em seus estudos é justamente a sua forma e a sua linguagem características, que misturam elementos específicos e resultam em uma perfeita interação entre palavras e imagens. Em uma sociedade que passa por mudanças cada vez mais velozes e na qual a imagem se impõe de forma marcante, a rápida decodificação dos quadrinhos é um elemento facilitador do aprendizado, pois é fácil notar a diminuição do poder de concentração dos jovens em uma atividade específica, principalmente se ela diz respeito aos estudos.

Dentro do ambiente escolar, os quadrinhos são mais frequentemente encontrados nos materiais didáticos da educação infantil e nas séries iniciais do ensino fundamental, geralmente abordando temas educativos relacionado ao meio ambiente, ética, respeito e coletividade. Esse tipo de ferramenta, também no formato de tirinhas, costuma aparecer em propagandas de produtos ou na educação informal, buscando instruir, conscientizar ou informar crianças, jovens e adultos sobre determinados temas. Testoni (2004) classifica ferramentas dessa natureza, com enredos mais bem elaborados, por histórias em quadrinhos de caráter explicativo. O autor afirma que

A História em Quadrinhos de, com cunho explicativo, é muito utilizada em campanhas publicitárias que almejam a conscientização de grandes massas em um curto intervalo de tempo. Como exemplo pode-se citar as edições que buscam informar a população (principalmente crianças e adolescentes) sobre temas vitais, tais como efeito estufa, economia de energia elétrica, a destruição da camada de ozônio, combate à dengue, entre outros. (Testoni, 2004, p. 25)

Segundo Testoni (2004), quadrinhos ou tirinhas que aparecem nos livros didáticos de Física buscam ilustrar fenômenos, motivar o aluno a pesquisar sobre determinado tema e/ou instigar o discente a pensar e refletir a respeito de determinado assunto. No entanto, histórias em quadrinhos elaboradas no sentido de explicar conteúdos de Física raramente aparecem nos livros ou são trabalhados em sala de aula. Para Testoni (2004, p. 25)

A função explicativa busca representar um conjunto de Histórias em Quadrinhos que, através de um enredo, tentam explicar um fenômeno físico, abordando-o na forma de Quadrinho. Por tentar chegar a uma explanação didática a respeito do assunto, este tipo de HQ ocupa um espaço bem maior que as tiras e Quadrinhos pedagógicos tradicionais, o que faz com que seja pouco encontrada em livros-texto de Física.

A utilização de histórias em quadrinhos em sala de aula se coloca como uma linguagem complementar ao livro didático, tentando facilitar a compreensão dos conteúdos. Ela pode contribuir para ressignificar a compreensão dos alunos que geralmente buscam apenas memorizar as informações e conceitos apresentados nos livros textos.

O aspecto lúdico dos quadrinhos pode proporcionar qualidades relevantes para o contexto educacional, pois suas características linguísticas e imagens suscitam condições didático-pedagógicas relevantes para o processo de ensino-aprendizagem.

A História em Quadrinhos desenvolvida durante esta pesquisa contém um enredo que descreve experiências relevantes desenvolvidas por cientistas, fazendo uso de analogias e metáforas para descrever fenômenos. Para representar graficamente sua narrativa foram desenvolvidas ilustrações criativas que transmitem informações através de uma linguagem não-verbal.

Escrita em versos poéticos de cordel, pressupondo o emprego de uma linguagem mais simples, a história em quadrinhos apresenta analogias e metáforas diante de um enredo com tons humorísticos. Além disso, ela se coloca como um material de fácil interpretação, tendo em vista sua riqueza de imagens na descrição de um conteúdo, assim tenta se distanciar dos processos de memorização mecânica. Neste sentido há uma expectativa de que ela provoque no estudante uma maior disponibilidade para vivenciar o aprender-ensinar. Segundo Caruso, Carvalho, Silveira (2002, p. 5) “*o quadrinho é construído na perspectiva de ser um material lúdico, motivador, passível de releituras e estimulador de novas criações para os alunos e professores.*”

3 A teoria da aprendizagem significativa

A teoria cognitiva da aprendizagem significativa de David Ausubel descreve como se dá o processo de assimilação e retenção do conhecimento, levando em consideração o contexto educacional de sala de aula. Segundo Moreira (1999) a teoria de Ausubel dá ênfase a aprendizagem cognitiva: que trata do “*armazenamento organizado de informações na mente do ser que aprende, e esse complexo organizado é conhecido como estrutura cognitiva.* (MOREIRA, 1999, p. 152).

O termo aprendizagem significativa no meio educacional se aplica ao processo cognitivo no qual uma determinada informação lógica, ao interagir com conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do indivíduo, ganha um significado psicológico. Naturalmente, o caminho mais comum para a aquisição de um novo conhecimento, passa pela necessidade de se ensinar a partir do que o aluno já sabe. Moreira (2016, p. 47) afirma que:

Aprendizagem significativa é o processo através do qual uma nova informação (um novo conhecimento) se relaciona de maneira não arbitrária e substantiva (não-literal) à estrutura cognitiva do aprendiz. É no curso da aprendizagem significativa que o significado lógico do material de aprendizagem se transforma em significado psicológico para o sujeito.

É importante diferenciar o processo de aquisição e retenção de significados de outros processos que envolvem a memorização de informações desenvolvida através de métodos de instrução e de aprendizagem mecânica. A aprendizagem significativa engloba um conjunto de conceitos e assuntos organizados que vão se estruturando hierarquicamente no cognitivo do aprendiz, de forma a promover a produção e construção do conhecimento pela interação de novas informações com os significados existentes na sua estrutura cognitiva. No entanto, a aprendizagem mecânica implica na absorção de informações passivas e não críticas, adquiridas por um processo de memorização. Ausubel (2000, p. 3) afirma que:

É importante reconhecer-se que a aprendizagem significativa não implica que as novas informações formem um tipo de ligação simples com os elementos preexistentes na estrutura cognitiva. Pelo contrário, só na aprendizagem por memorização ocorre uma ligação simples, arbitrária e não integradora com a estrutura cognitiva preexistente. Na aprendizagem significativa, o mesmo processo de aquisição de informações resulta numa alteração quer das informações recentemente adquiridas, quer do aspecto especificamente relevante da estrutura cognitiva, à qual estão ligadas as novas informações. Na maioria dos casos, as novas informações estão ligadas a um conceito ou proposição específicos e relevantes.

Em Moreira (2016) entende-se que a relação não-arbitrária de informações na assimilação e retenção de significados, ocorre quando a novo conhecimento a ser apreendido interage com informações relevantes existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, através de um processo organizado, no qual a nova informação promove novos significados ao conjunto de informações prévias já existentes no cognitivo do indivíduo. Moreira (2012a, p. 2) afirma que:

Assim, a *aprendizagem significativa* ocorre quando novos conceitos, ideias, proposições interagem com outros conhecimentos relevantes e inclusivos, claros e disponíveis na estrutura cognitiva, sendo por eles assimilados, contribuindo para sua diferenciação, elaboração e estabilidade.

Para Ausubel (2000) a aprendizagem mecânica geralmente ocorre através de fragmentos de informações triviais que se relacionam de forma arbitrária e superficial com a estrutura cognitiva do aprendiz. Geralmente este tipo de aprendizagem possui utilidade limitada e não contribui para o aumento do conhecimento. Já na aprendizagem significativa há condições específicas que a diferencia dos processos de memorização, através de variáveis de motivação, desenvolvimento e prontidão que levam a recepção e retenção de significados que vão interagir com a estrutura cognitiva do aprendiz.

Ainda de acordo com o autor existem condições, mesmo em aulas expositivas, que corroboram no processo de aprendizagem e retenção de significados no contexto da

sala de aula. Nessas condições o autor destaca a necessidade de conhecer a estrutura cognitiva existente no estudante, pois nela se encontram os conhecimentos prévios, ou seja, aquilo que o aprendiz já sabe. Sobre esse aspecto Ausubel (2000, p. 5) descreve:

Também contrariamente a convicções expressas em muitos âmbitos educacionais, a aprendizagem por recepção verbal não é necessariamente memorizada ou passiva (tal como o é frequentemente na prática educacional corrente), desde que se utilizem métodos de ensino expositivos baseados na natureza, condições e considerações de desenvolvimento que caracterizam a aprendizagem por recepção significativa.

São os conhecimentos prévios a variável principal para a aquisição e retenção de novos conhecimentos. Para Ausubel (2000) os conhecimentos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, chamados de “subsunçores”, funcionam como “âncoras” que vão relacionar uma nova informação com um conceito já existente no cognitivo do indivíduo, contribuindo para a aquisição e produção de novos conhecimentos. Para Moreira (2016, p. 47)

O conhecimento prévio serve de matriz ideacional e organizacional para a incorporação, compreensão e fixação de novos conhecimentos quando estes “se ancoram” em conhecimentos especificamente relevantes (subsunçores) preexistentes na estrutura cognitiva. Novas ideias, conceitos, proposições, podem ser aprendidos significativamente (e retidos) na medida em que outras ideias, conceitos, proposições, especificamente relevantes e inclusivos estejam adequadamente claros e disponíveis na estrutura cognitiva do sujeito e funcionem como pontos de “ancoragem” aos primeiros.

Segundo Ausubel (2000), mesmo na aprendizagem mecânica há uma interação das informações com a estrutura cognitiva do aprendiz, mas esse processo não gera a aquisição de novos significados e ocorre apenas diante de tarefas simples que envolvem um processo de memorização. Neste sentido a interação da aprendizagem mecânica com a estrutura cognitiva do aprendiz ocorre de forma arbitrária e literal, ficando retida no cognitivo por um curto período de tempo. A esse respeito Moreira (2016, p. 48) escreve que *“a diferença básica entre aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica está na relacionabilidade à estrutura cognitiva: não arbitrária e substantiva versus arbitrária e literal (ibid.). Não se trata, pois, de uma dicotomia, mas de um contínuo no qual elas ocupam os extremos.”*

Quando não há subsunçores ou quando os mesmos não estão sendo mais usados na estrutura cognitiva do aprendiz a aprendizagem significativa pode ocorrer pela utilização de organizadores prévios. Segundo Moreira (2012a, p.2) eles atuaram como *“ancoradouros provisórios para a nova aprendizagem e levam ao desenvolvimento de conceitos, ideias e proposições relevantes que facilitem a aprendizagem subsequente.”*

Eles serão facilitadores da aprendizagem significativa, utilizados estrategicamente de forma introdutória, antes da apresentação do conhecimento a ser apreendido, destacando certos aspectos do conteúdo. Neste sentido Moreira (2016, p. 63) afirma que

Provavelmente, o maior potencial didático dos organizadores está na sua função de estabelecer, em um nível mais alto de generalidade, inclusividade e abstração, relações explícitas entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio do aluno já adequado para dar significado aos novos materiais de aprendizagem. Isto porque mesmo tendo os subsunçores adequados muitas vezes o aprendiz não percebe sua relacionabilidade com o novo conhecimento.

Quando a nova informação não encontra subsunçores na estrutura cognitiva do indivíduo o organizador prévio utilizado é definido como expositivo. Caso o organizador prévio apresenta alguma relação com o que o aprendiz dispõe no cognitivo será denominado de organizador comparativo. Moreira (2012a, p. 2 e 3) afirma que:

No caso de material totalmente não familiar, um organizador “expositivo”, formulado em termos daquilo que o aprendiz já sabe em outras áreas de conhecimento, deve ser usado para suprir a falta de conceitos, ideias ou proposições relevantes à aprendizagem desse material e servir de “ponto de ancoragem inicial”. No caso da aprendizagem de material relativamente familiar, um organizador “comparativo” deve ser usado para integrar e discriminar as novas informações e conceitos, ideias ou proposições, basicamente similares, já existentes na estrutura cognitiva.

Ausubel (2000) ainda ressalta a importância da repetição de informações para a aquisição e retenção significativa, no entanto as ideias e conceitos devem aparecer dentro de contextos que tragam significados relevantes a estrutura cognitiva do aprendiz. Porém, a repetição de uma informação ou conceito dentro da perspectiva da aprendizagem significativa terá maior valor se for trabalhada de forma multicontextual, ou seja, evitando que a informação ocorra sempre dentro de um mesmo contexto.

Ele também fala da importância de se trabalhar com materiais de instrução apropriados, que serão chamados de ferramentas potencialmente significativas. Então o processo de aprendizagem significativa, no contexto escolar, está relacionado ao aprendizado de novos significados para o educando, a partir da utilização de materiais potencialmente significativos, elaborados de forma organizada para possibilitar a interação entre as informações do conteúdo a ser aprendido e os aspectos relevantes existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Para uma aprendizagem por recepção significativa em aulas expositivas, que é método de ensino mais comum dentro do contexto de escolas e universidades, é necessário o uso adequado dessas ferramentas no contexto de sala de aula. Ausubel (2000, p. 1) afirma que:

A aprendizagem por recepção significativa envolve, principalmente, a aquisição de novos significados a partir de material de aprendizagem apresentado. Exige quer um mecanismo de aprendizagem significativa, quer a apresentação de material *potencialmente* significativo para o aprendiz. Por sua vez, a última condição pressupõe (1) que o próprio material de aprendizagem possa estar relacionado de forma *não arbitrária* (plausível, sensível e não aleatória) e *não literal* com *qualquer* estrutura cognitiva apropriada e relevante (i.e., que possui significado 'lógico') e (2) que a estrutura cognitiva *particular* do aprendiz contenha ideias *ancoradas* relevantes, com as quais se possa relacionar o novo material.

Mesmo diante de uma ferramenta potencialmente significativa, o processo de aquisição e retenção de significados exige um mecanismo apropriado para que o aprendiz possa aprender significativamente. Neste sentido, o processo de ensino-aprendizagem deve provocar uma interação de novos significados potenciais com as ideias ancoradas relevantes já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

Para Ausubel (2000) o reconhecimento da estrutura cognitiva existente no estudante é essencial para várias práticas que envolvem o contexto da aprendizagem escolar. A apropriação de conceitos, o desenvolvimento da criatividade, o aprimoramento de habilidades para a resolução de problemas e a reflexão crítica do aprendiz diante do conteúdo estudado são práticas que envolvem a necessidade de reconhecimento de sua estrutura cognitiva. Tais práticas ganham significados por meio da relação de conhecimentos prévios com novas ideias; através de um mecanismo que possibilite a interação de novos e antigos conceitos, fazendo o uso de ferramentas potencialmente significativas.

O processo de aprendizagem significativa é longo, crescente e faz emergir novos significados, aumentando a composição do conhecimento. Esse processo é fruto da interação de materiais de instrução, que carregam significados potenciais, com as ideias existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. É neste sentido que a aprendizagem significativa permite a construção e apropriação de novos significados. Então, para o contexto da realidade das salas de aula, nos quais há a predominância de aulas expositivas, se faz necessário refletir o processo de ensino-aprendizagem pelo desenvolvimento de metodologias e práticas pedagógicas que estejam relacionadas ao uso de materiais didáticos e ferramentas de ensino que se apresentem potencialmente significativas para a realidade dos discentes. Ausubel (2000, p. 6) afirma:

A natureza e as condições da aprendizagem por recepção significativa activa também exigem um tipo de ensino expositivo que reconheça os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora nos materiais de instrução e que também caracterize a aprendizagem, a retenção e a organização do conteúdo das matérias na estrutura cognitiva do aprendiz. O

primeiro princípio reconhece que a maioria da aprendizagem e toda a retenção e a organização das matérias é hierárquica por natureza, procedendo de cima para baixo em termos de abstracção, generalidade e inclusão. A reconciliação integradora tem a tarefa facilitada no ensino expositivo, se o professor e/ou os materiais de instrução anteciparem e contra-atacarem, explicitamente, as semelhanças e diferenças confusas entre novas ideias e ideias relevantes existentes e já estabelecidas nas estruturas cognitivas dos aprendizes.

Moreira (2016) entende que a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora estão inseridas pedagogicamente no contexto da aprendizagem significativa como facilitadores do processo de aprendizagem. A assimilação e retenção de significados serão facilitadas em termos substantivos e programáticos. Substantivamente é necessária uma análise crítica e detalhada do conteúdo, adequando suas informações mais importantes aos os conhecimentos prévios dos estudantes. Então, em termos substantivos a facilitação da aprendizagem significativa passa pela atenção com o conteúdo, aquilo que se vai ensinar, e com a estrutura cognitiva do aprendiz.

Segundo o autor a facilitação programática está dividida em quatro fatores: diferenciação progressiva, reconciliação integrativa, organização sequencial e consolidação. Inicialmente, conteúdo a ser ensinado deve aparecer a partir de conceitos e ideias mais gerais e inclusivas, aparecendo progressivamente os temas mais específicos e os detalhes. Este facilitador programático é denominado de diferenciação progressiva. Moreira (2016, p. 64) descreve que *“diferenciação progressiva é o princípio segundo o qual as ideias e conceitos mais gerais e inclusivos do conteúdo da matéria de ensino devem ser apresentados no início da instrução e, progressivamente, diferenciados em termos de detalhe e especificidade.”*

A reconciliação integrativa, também chamada de integração reconciliadora, consiste da necessidade de se descrever e apresentar o conteúdo de forma integrada, relacionando os conceitos, definições, experiências, fatos históricos e fenômenos. Moreira (2016, p. 64) afirma que *“a reconciliação integrativa é, então, o princípio programático segundo o qual a instrução deve também explorar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças importantes e reconciliar discrepâncias reais ou aparentes.”*

Ainda no âmbito da programação do conteúdo a ser ensinado é preciso manter a coerência na ordem sequencial das informações, conceitos, ideias, experiências, fenômenos e fatos históricos. A construção do conhecimento naturalmente passa pela organização lógica do conteúdo, chamada aqui de organização sequencial. Segundo

Moreira (2016, p. 31) “*a organização sequencial é o princípio programático segundo o qual se deve tirar partido das dependências sequenciais naturais existentes na matéria de ensino.*”

O último princípio programático, denominado de consolidação, passa pela apropriação das informações apresentadas. Antes de passar para novas etapas da construção do conhecimento é necessário que o aprendiz demonstre domínio do que já foi ensinado. Segundo o autor isso está relacionado ao fato de que um novo conhecimento é aprendido a partir do que o indivíduo já sabe. Para Moreira (2016, p. 64):

O princípio da consolidação, por sua vez, é aquele segundo o qual insistindo-se no domínio (ou mestria) do que está sendo estudado, antes que novos materiais sejam introduzidos, assegura-se contínua prontidão na matéria de ensino e alta probabilidade de êxito na aprendizagem sequencialmente organizada. O fato de Ausubel chamar atenção para a consolidação é coerente com sua premissa básica de que o fator isolado mais importante influenciando a aprendizagem é o que o aprendiz já sabe.

Percebe-se que a produção de um material potencialmente significativo deve ser pensada substantivamente e programaticamente, dentro do contexto da aprendizagem significativa. Então, estudar bem o conteúdo para adequá-lo à realidade do aluno e apresentá-lo dentro de uma organização sequencial lógica de ensino, levando em consideração a diferenciação progressiva e reconciliação integrativa, são condições determinantes para facilitar a aquisição, retenção e organização do conhecimento na estrutura cognitiva do aprendiz. Dentro do contexto da aprendizagem significativa esses fatores devem estar bem definidos e estabelecidos no processo de ensino-aprendizagem, cujas etapas só podem ser concluídas respeitando a consolidação do que foi ensinado. Segundo Ausubel (2000, p. 6)

A aprendizagem por recepção significativa é, por inerência, um processo activo, pois exige, no mínimo: (1) o tipo de análise cognitiva necessária para se averiguarem quais são os aspectos da estrutura cognitiva existente mais relevantes para o novo material potencialmente significativo; (2) algum grau de reconciliação com as ideias existentes na estrutura cognitiva – ou seja, apreensão de semelhanças e de diferenças e resolução de contradições reais ou aparentes entre conceitos e proposições novos e já enraizados; e (3) reformulação do material de aprendizagem em termos dos antecedentes intelectuais idiossincráticos e do vocabulário do aprendiz em particular.

Outro aspecto relevante para que ocorra a aprendizagem significativa de determinado conteúdo é a repetição de informações dentro de contextos diferentes, com a retomada de conceitos e fenômenos relevantes para a organização dos significados na estrutura cognitiva do aprendiz. Para Ausubel (2000) um material potencialmente

significativo deve ser produzido levando em consideração a retomada de informação, relacionando os conceitos mais gerais do conteúdo com os mais específicos.

A motivação também é um fator determinante para a aprendizagem significativa, pois o aluno só aprende quando está pré-disposto a aprender. Então é necessário que as ferramentas de ensino utilizadas para apresentar o conteúdo disponham de aspectos lúdicos que provoquem a curiosidade dos discentes e apresentem condições que levem o indivíduo a se motivar para aprender. Deve estar associado ao recurso didático uma metodologia de ensino que instigue a participação do estudante no desenvolvimento de atividades, pois os discentes devem ser protagonistas no processo de construção do seu conhecimento.

4 A Unidade De Ensino Potencialmente Significativa - UEPS

Tendo como marco teórico teorias cognitivas de aprendizagem e partindo do pressuposto filosófico de que só há ensino se houver aprendizagem significativa, Moreira (2011) desenvolveu a sequência didática denominada de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS). Segundo o autor as práticas clássicas de ensino, na qual o professor apresenta o conteúdo através de narrativas e os alunos copiam e repetem as informações mecanicamente, são comuns nas instituições de ensino, sendo um modelo a ser superado, tendo em vista que as informações trabalhadas não interagem significativamente com a estrutura cognitiva do aprendiz. Neste sentido a UEPS apresenta passos na tentativa de modificar as práticas clássicas predominantes.

Para Moreira (2011) o desenvolvimento da aprendizagem significativa passa pela utilização de materiais potencialmente significativos e que os passos da UEPS, definidos por ele de aspectos sequenciais, facilitam o processo de construção do conhecimento: sejam eles declarativos e/ou procedimentais.

Existem alguns princípios que norteiam os passos de desenvolvimento de uma UEPS, sendo o planejamento das aulas uma atividade de responsabilidade do professor. Então cabe a este profissional respeitar tais princípios quando for trabalhar o conteúdo em sala de aula.

Ainda de acordo com Moreira (2011), a construção da aprendizagem em uma sequência didática dessa natureza também passa pela predisposição do aluno em aprender, cabendo ao professor articular métodos de apresentação do conteúdo que

permita uma interação das novas informações com os conhecimentos prévios existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Dessa forma, as atividades de ensino em uma UEPS buscam facilitar a aprendizagem através de ferramentas e estratégias de ensino potencialmente significativas.

Os aspectos substantivos e programáticos, facilitadores da assimilação e retenção significativa, aparecem como princípios da UEPS e devem ocorrer em atividades que contemplem a reconciliação integradora, a diferenciação progressiva e a organização sequencial de matérias, sempre respeitando a consolidação da aprendizagem. Desenvolver dinâmicas de interação social, o trabalho em equipe, tendo o professor como mediador das ações e organizador do conteúdo são princípios inerentes ao contexto da UEPS. Além das questões descritas acima, Moreira (2011) destaca a importância de se trabalhar situações-problemas que possibilitem os alunos desenvolverem modelos e estratégias de solução.

Tratando-se da ordem cronológica dos aspectos sequenciais da UEPS, Moreira (2011) sugere que se inicie a sequência didática com a definição da estratégia procedimental e que no segundo momento se realize uma atividade que permita aos discentes externalizar os conhecimentos prévios. Dando andamento, o autor define no terceiro passo, a necessidade de se trabalhar situações-problemas que funcionem como organizadores prévios e possibilitem a introdução do conteúdo a ser estudado. Apenas no quarto passo da UEPS é que se deve apresentar de forma organizada, dando destaque aos tópicos mais aprofundados do conteúdo, o conhecimento central do processo de ensino-aprendizagem.

Moreira (2011) propõe que após a apresentação do conteúdo seja desenvolvida alguma dinâmica de atividade colaborativa, retomando partes importantes do conteúdo trabalhado para que os discentes troquem informações que complementem o aprendizado. Esta seria a segunda apresentação do conteúdo. Para a sexta etapa o autor sugere trabalhar novas situações-problemas de forma coletiva, exigindo maior grau de compreensão dos estudantes. Para os dois últimos passos da UEPS, Moreira (2016) prever a avaliação do conhecimento aprendido pelos discentes e a validação da sequência, que será exitosa caso demonstre indícios de assimilação e retenção de significados por parte do público envolvido. Se apresente necessidade, o autor destaca a importância de se fazer reformulação de atividades para a UEPS desenvolvida.

Moreira (2011) chama de aspectos transversais a necessidade de se trabalhar materiais e estratégias diversificadas de ensino durante os passos da UEPS, sempre provocando questionamentos e provocações aos discentes para que construam soluções ao invés de se buscarem respostas prontas para as perguntas. Também é importante propor que os discentes desenvolvam situações-problemas relativos ao conteúdo estudado. Por fim, mesmo privilegiando a avaliação progressiva e coletiva é importante analisar o processo de construção da aprendizagem de forma individual.

5 Referências

- AUSUBEL, David. P. *Aquisição e Retenção de Conhecimentos: Uma Perspectiva Cognitiva*. Lisboa: Plátano, 2000.
- CARUSO, Francisco; CARVALHO, Miriam; SILVEIRA, Maria Cristina. *Uma proposta de ensino e divulgação de ciências através dos quadrinhos*. *Ciência & Sociedade*, Rio de Janeiro, n.8. 2002.
- _____; CARVALHO, Miriam; SILVEIRA, Maria Cristina. Ensino não-formal no campo das ciências através dos quadrinhos. *Ciência & Cultura*, Campinas, ano 57, n.4, p. 33-35, out.-dez. 2005.
- _____; FEITAS, Nilton. *FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO: O ESPAÇO-TEMPO DE EINSTEIN EM TIRINHAS*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física. v. 26, n. 2: p. 355-366, ago. 2009.
- _____; SILVEIRA, Cristina. *Quadrinhos para a cidadania*. *História, Ciências, Saúde - Manguinhos*, v. 16, n. 1, jan-mar, 2009, pp. 217-236.
- _____; OGURI, V., *Física Moderna, Origens Clássicas e Fundamentos Quânticos*, Editora Campus, 2006.
- GERMANO, M. G. ; ANDRADE, R. R. D. ; NASCIMENTO, R. S. *INFLUÊNCIAS DA FÍSICA MODERNA NA OBRA DE SALVADOR DALÍ*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 24, n. 3: p. 400 - 423, dez. 2007.
- LIMA, J. M. *Literatura de cordel e ensino de Física: uma aproximação para a popularização da ciência*. 2013. 113f. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.
- MEDEIROS, A. e AGRA, J. T. N. *A astronomia na literatura de cordel*. *Física na Escola*, v.11, n.1, p.5-8, 2010.
- MOREIRA, I. C. *Poesia na sala de aula de ciências? A literatura poética e possíveis usos didáticos*. *Física na Escola*, v. 3, n. 1, 2002.
- MOREIRA, I. C.; MASSARANI, L.; ALMEIDA, C. *Representações da ciência e da tecnologia na literatura de cordel. Bakhtiniana*, São Paulo, 11 (3): 5-25, Set./Dez. 2016.

- MOREIRA, M. A. *Aprendizagem significativa*. Brasília: Ed. da UnB, 1998.
- _____; A Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel. In: _____. **Teorias da Aprendizagem**. 1. Ed. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária – EPU, 1999. Cap. 10.
- _____. *Subsídios Teóricos para o Professor Pesquisador em Ensino de Ciências. A Teoria de Aprendizagem significativa*; Instituto de Física, UFRGS, 2009 (1ª edição), 2016 (2ª edição revisada) Porto Alegre, Brasil.
- _____; *Organizadores Prévios e Aprendizagem Significativa*(Advancedorganizersandmeaningfullearning); Revista Chilena de Educación Científica, ISSN 0717-9618, Vol. 7, N°. 2, 2008 , pp. 23-30. Revisado em 2012a.
- _____; *Unidades de Ensino Potencialmente Significativas – UEPS*. Aprendizagem Significativa em Revista, 2011, Vol. 1, N. 2, pp. 43-63
- _____; *Unidades de Enseñanza Potencialmente Significativas – UEPS*. Aprendizagem Significativa em Revista / Meaningful Learning Review, 1(2), 43-63, 2011.
- NOBRE, F. A. S. *Folhetos de Cordel Científicos: Um Catálogo e uma Sequência de Ensino*. São Leopoldo: Trajetos Editorial, 2017.
- _____, *Os folhetos de Cordel como ferramenta didática para o ensino das ciências*, p. 149-170. In. VOZES DA CULTURA POPULAR: Tradição, Movência e Ressignificações. Organizado por Daniel Conte e Rafael Hofmeister de Aguiar. Leopoldo-RS: Trajetos editorial, 2015.
- _____; SILVA, R. M. ; RAFAEL, R. F. ; ARAÚJO, K. M. G. *ESTUDANDO TRANSFERÊNCIA DE CALOR UTILIZANDO FOLHETOS DE CORDEL CIENTÍFICOS*. Revista do Professor de Física. Brasília, vol. 1, n. 1, 2017.
- _____; SILVA, R. M. ; RAFAEL, R. F. ; VIEIRA, L. A. *O ESTUDO DA TERMODINÂMICA COM O USO DE FOLHETOS DE CORDEL*. Experiências em Ensino de Ciências V.13, No.1, 2018.
- PEREIRA, M. L. A. A. ; OLENKA, O. ; OLIVEIRA, P. E. D. F. Física em ação através de tirinhas e histórias em quadrinhos. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 3, p. 896-926, dez. 2016.

SILVA, M. S., RIBEIRO, D. M. S. *Ensino de Física no Sertão: Literatura de cordel como ferramenta didática*, Revista Semiárido De Visu, v.2, n.1, p.231-240, 2012.

SILVA, J. J. A. *A utilização da literatura de cordel como instrumento didático-metodológico no ensino de geografia*. 2012. 157f. Dissertação (Mestrado) - UFPB/CCEN, João Pessoa.

TESTONI, L. A. *Um corpo que cai: as Histórias em Quadrinhos no Ensino de Física*. 2004. 158p.:II. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo.