

## UMA SEQUÊNCIA DE ENSINO E APRENDIZAGEM PARA ABORDAGEM DE CONCEITOS BÁSICOS DA FÍSICA QUÂNTICA NO ENSINO MÉDIO

A TEACHING AND LEARNING SEQUENCE FOR APPROACHING BASIC CONCEPTS OF QUANTUM PHYSICS IN HIGH SCHOOL

UNA SECUENCIA DE ENSEÑANZA Y APRENDIZAJE PARA ABORDAR LOS CONCEPTOS BÁSICOS DE LA FÍSICA CUÁNTICA EN LA ESCUELA SECUNDARIA

Ana Márcia Lopes Pereira<sup>1</sup> & Maxwell Roger da Purificação Siqueira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Colégio Estadual de Ipiaú, Brasil

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas-Universidade Estadual de Santa Cruz, Brasil  
marciaana5050@gmail.com

**RESUMO** | Um dos desafios do ensino de Física é unir um conteúdo voltado para o cotidiano dos alunos, aos questionamentos relacionados aos avanços científicos, tecnológicos e sociais. Desse modo, a inserção da Física Quântica no currículo do Ensino Médio, de forma efetiva, apresenta-se como uma possibilidade, pois permite discutir não apenas questões relacionadas as tecnologias contemporâneas, como também construir estratégias para selecionar as fontes confiáveis de informações de divulgação científica. Assim, o objetivo desse trabalho é propor uma sequência de ensino e aprendizagem, que foi elaborada na perspectiva de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) e na Teoria da Aprendizagem Significativa com o intuito de se abordar os conceitos iniciais da Física Quântica e a Dualidade Onda-Partícula. A sequência foi implementada em uma turma da 3ª série do Ensino Médio de uma escola pública brasileira e os resultados a evidenciam como ferramenta importante no auxílio do professor na prática docente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Ensino de Física, Física Moderna e Contemporânea, Mecânica Quântica, Aprendizagem Significativa.

**ABSTRACT** | One of the challenges in Physics Education is to unite a content focused on the students' daily lives with questions related to scientific, technological, and social advances. Thus, the effective inclusion of Quantum Physics in the High School curriculum presents itself as a possibility, since it allows discussing not only issues related to contemporary technologies, but also building strategies for selecting reliable sources of scientific information. Thus, the objective of this work is to propose a teaching and learning sequence, which was developed in the perspective of a Potentially Meaningful Teaching Unit (PMEU) and the Meaningful Learning Theory to approach the initial concepts of Quantum Physics and the Wave-Particle Duality. The sequence was implemented in a 12th grade high school class in a public Brazilian school and the results show that it is an important tool to help the teacher in the teaching practice.

**KEYWORDS:** Physics Education, Contemporary and Modern Physics, Quantum Mechanics, Meaningful Learning.

**RESUMEN** | Uno de los retos de la enseñanza de la Física es unir contenidos centrados en la vida cotidiana de los alumnos con cuestiones relacionadas con los avances científicos, tecnológicos y sociales. Así, la inserción de la Física Cuántica en el currículo de la escuela secundaria, efectivamente, se presenta como una posibilidad, que permite discutir no sólo temas relacionados con las tecnologías contemporáneas, sino también construir estrategias para seleccionar fuentes confiables de divulgación de información científica. Así, el objetivo de este trabajo es proponer una secuencia de enseñanza y aprendizaje, que se desarrolló en la perspectiva de una Unidad Didáctica Potencialmente Significativa (UDPS) y de la Teoría del Aprendizaje Significativo para abordar los conceptos iniciais de la Física Cuántica y la Dualidad Onda-Partícula. La secuencia se implementó en una clase de 3º de bachillerato de un colegio público brasileño y los resultados la muestran como una herramienta importante para ayudar al profesor en la práctica docente.

**PALABRAS CLAVE:** Enseñanza de la Física, Física Moderna y Contemporánea, Mecánica Cuántica, Aprendizaje Significativo.

## 1. INTRODUÇÃO

É imprescindível para o aluno ter acesso a informações que permitam a compreensão da evolução científica e tecnológica. Ademais, enquanto protagonista não apenas na construção autônoma do conhecimento, mas principalmente, na conquista da cidadania, que ele se aproprie de valores e princípios éticos e morais, que o possibilite avaliar criticamente e intervir, de forma consciente e construtiva, na sua realidade.

Diante disso, no que se refere ao ensino formal, um fator importante é a renovação curricular, resultado da efetiva inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) e da Física Quântica nas aulas do Ensino Médio. Isso, frente a necessidade de “transformar as demandas teóricas da inovação e atualização curricular, por meio da inserção da FMC, em intervenções práticas nos ambientes reais de sala de aula, visando, em especial, uma melhoria da aprendizagem científica dos estudantes.” (Batista & Siqueira, 2017, p.899).

Por outro lado, tais demandas são corroboradas pelo documento divulgado pelo Conselho Nacional de Educação, referente à Base Nacional Comum Curricular - Etapa do Ensino Médio (Brasil, 2018), enquanto o mais recente conjunto de orientações que buscam nortear os currículos desse nível de ensino, quando traz, dentre as habilidades de aprendizagem a serem desenvolvidas, não apenas a de compreender o funcionamento dos equipamentos que fazem parte das tecnologias contemporâneas, como também a de construir estratégias para selecionar as fontes confiáveis de informações, dentre os textos de divulgação científica.

Nesse aspecto, Feitosa et al. (2020) destacam que os documentos oficiais que normatizam e parametrizam o ensino de Física, no Brasil, estabelecem que o estudante, ao término do ciclo básico de educação, deve estar apto a desempenhar criticamente sua cidadania, por conseguinte, o Ensino Médio não pode ser compreendido como apenas uma preparação para a universidade, mas deve buscar prover ao estudante uma formação ampla, crítica e cientificamente fundamentada. (p. 664). Neste contexto, destaca-se a relevância da Física Moderna e Contemporânea e da Física Quântica, tendo em vista a estreita relação com a evolução científica e tecnológica e, particularmente a última, por ser relativamente contraintuitiva e misteriosa para alguns, desperta o interesse que, se não for orientado, pode levar a informações equivocadas ou mesmo a interpretações deturpadas da realidade.

Isto posto, é imperativo a proposição de alternativas para que o ensino da Física Moderna e Contemporânea e da Física Quântica seja efetivado no Ensino Médio, evitando as práticas pedagógicas que se caracterizam pela simples transmissão oral dos conteúdos, priorizando as que proporcionam a participação dos alunos por meio de aulas dinâmicas e motivadoras. Além disso, servir como recurso no entendimento dos conceitos pelos alunos, auxiliando o professor enquanto mediador da aprendizagem. Assim, tornou-se pertinente o desenvolvimento de uma Sequência de Ensino e Aprendizagem com o objetivo de abordar os conceitos básicos da Física Quântica.

A partir dessa discussão, o objetivo desse trabalho é propor uma sequência de ensino e aprendizagem, elaborada na perspectiva de uma Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS) e na Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, contendo aspectos conceituais, históricos e filosóficos da Física Quântica e da Dualidade Onda-Partícula.

Assim, almeja-se que este trabalho sirva como uma alternativa que auxilie os professores de Física do Ensino Médio, na mediação do processo de construção do conhecimento no tema da Física Quântica e, simultaneamente, dê condições para envolver os alunos no mundo da Ciência, difundindo os conhecimentos que a mesma proporciona à humanidade e a tecnologia resultante desse processo.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO E CONTEXTO**

### **2.1. A Teoria da Aprendizagem Significativa**

A Teoria da Aprendizagem Significativa foi formulada por David Ausubel, um representante do cognitivismo, segundo o qual, a aprendizagem resulta da retenção de informações na estrutura cognitiva. Ausubel era também um adepto do construtivismo que, sinteticamente, considera o aluno como agente construtor da aprendizagem, ou seja, é ele quem organiza o próprio conhecimento por meio da reformulação e substituição de saberes.

No que tange ao construtivismo, para Zabala (1998), a aprendizagem é uma construção pessoal de cada aluno, onde ele pode atribuir significado a um objeto de ensino. O autor ressalta que a construção da aprendizagem “implica a contribuição por parte da pessoa que aprende, de seu interesse e disponibilidade, de seus conhecimentos prévios e de sua experiência” (p.63).

Realmente, o que o aluno já sabe é essencial no que se refere à aprendizagem e, em particular, condição indispensável para a efetivação da aprendizagem significativa. Isso, além da predisposição para aprender. É algo que vai além da motivação. Ele deve estar disposto a atribuir significado aos materiais, condizentes com a matéria estudada; disposto a aprender significativamente, associando os novos conhecimentos aos conhecimentos prévios e não apenas uma aprendizagem mecânica baseada na memorização para a prova.

A aprendizagem significativa é o conceito central da teoria da aprendizagem de David Ausubel, segundo a qual, a estrutura cognitiva de um indivíduo seria um conjunto dinâmico e complexo de subsunçores. “Ausubel [via] o armazenamento de informações no cérebro humano como sendo organizado, formando uma hierarquia conceitual, na qual elementos mais específicos de conhecimento são ligados (e assimilados) a conceitos mais gerais, mais inclusivos” (Moreira, 1999, p. 153).

Na prática, os subsunçores seriam os conhecimentos prévios relevantes, os conhecimentos específicos assimilados anteriormente pelo indivíduo e que, por meio da interação com os novos conhecimentos, possibilitam dar significado, sentido às estas novas informações e conseqüentemente, a sua apropriação a estrutura cognitiva.

Para que ocorra aprendizagem significativa, um novo conteúdo deve ser potencialmente significativo, ou seja, deve relacionar-se com a estrutura cognitiva do estudante de forma não arbitrária e não literal. Assim, a nova informação relaciona-se de forma interativa com a estrutura cognitiva do sujeito, adquirindo significados, ficando retida e enriquecendo o conhecimento prévio, que se torna mais elaborado, mais diferenciado, mais capaz de funcionar como ancoradouro cognitivo para novos conhecimentos. (Griebeler, 2012, p.13).

Nos casos em que o aluno não possui os subsunçores, Ausubel sugere o uso dos organizadores prévios, um recurso que visa, intencionalmente, “manipular a estrutura cognitiva, a fim de facilitar a aprendizagem significativa. [...] são materiais introdutórios apresentados antes do material a ser aprendido em si”. (Moreira, 1999, p. 155). Efetivamente, os organizadores prévios são recursos que relacionam o que o aluno já sabe e o que ele precisa saber para que aconteça a aprendizagem significativa.

Outro fator que é considerado fundamental no intuito de facilitar a aprendizagem significativa é a programação eficiente do conteúdo da matéria de ensino, independente da área de conhecimento. Nesse sentido, tem-se os chamados princípios programáticos: da diferenciação progressiva, da reconciliação integrativa, da organização sequencial e da consolidação.

De acordo com o princípio programático da diferenciação progressiva, “as ideias, conceitos, proposições mais gerais e inclusivos do conteúdo devem ser apresentados no início da instrução e, progressivamente, diferenciados em termos de detalhe e especificidade” (Moreira, 1999, p. 160). Ou seja, no processo de ensino, na transmissão do conteúdo para o aluno, deve-se partir do geral para o específico.

A reconciliação integrativa é 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” (Moreira, 1999, p.161), principalmente com o que o aprendiz já conhece. Com isso, na estrutura cognitiva, os conhecimentos já estabelecidos podem ser relacionados com o novo, serem corroborados ou modificados, proporcionando a reorganizando a estrutura cognitiva.

No que tange ao princípio da organização sequencial, é importante para a efetivação da aprendizagem significativa a organização do conteúdo abordado em uma sequência lógica, considerando a necessidade de se conhecer os assuntos seguindo uma ordem de dependência para o entendimento e assim, proporcionando uma aprendizagem sequencialmente organizada.

Ausubel [argumentava] que a disponibilidade de ideias-âncora relevantes, para uso na aprendizagem significativa e na retenção, pode, obviamente, ser maximizada se tirar-se partido das dependências sequenciais naturais existentes na disciplina e do fato de que a compreensão de um dado tópico, frequentemente, pressupõe o entendimento prévio de algum tópico relacionado. (Moreira, 1999, p.162). Segundo o princípio da consolidação, deve-se ter a garantia de que o aprendiz domina um conhecimento, uma informação, antes que a seguinte lhe seja apresentada.

Nesse sentido, Moreira (2010) destaca que a consolidação tem a ver com o domínio de conhecimentos prévios antes da introdução de novos conhecimentos. É uma consequência imediata da teoria: se o conhecimento prévio é a variável que mais influencia a aquisição significativa de novos conhecimentos, nada mais natural que insistir no domínio do conhecimento prévio antes de apresentar novos conhecimentos. (p. 21).

Na aprendizagem significativa, o processo de ensino e aprendizagem depende, diretamente, da apreensão e permuta de significados, de forma que a linguagem é vista como um importante instrumento de efetivação, tanto para o professor quanto para o aluno. Diante disso, as atividades colaborativas são igualmente importantes nesse processo, uma vez que viabilizam o exercício da linguagem e possibilitam o uso de práticas pedagógicas diversificadas e recursos que oportunizam

aos integrantes do grupo a ajuda mútua, tornando o aluno, e não o professor, o protagonista na organização, reformulação e construção do conhecimento, conforme recomenda a teoria da aprendizagem significativa.

À vista disso, Feitosa et al. (2020) corroboram que “o desenvolvimento de dinâmicas de interação social, trabalhos em equipes, tendo o professor apenas como mediador das ações e organizador do conteúdo, são princípios inerentes ao contexto da UEPS” (p. 672). Ademais, enfatizam que as ações do professor devem estimular a interação entre os estudantes e com o material de estudo, promovendo seu protagonismo no processo de ensino-aprendizagem.

Vale ressaltar também que o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo, ou seja, deve apresentar condições de ser incorporado à estrutura cognitiva do aprendiz.

Na perspectiva da avaliação, a teoria da aprendizagem significativa sugere a adoção de atividades avaliativas não habituais, que demandam a utilização do conhecimento adquirido modificado. “A avaliação da aprendizagem significativa implica outro enfoque, porque o que se deve avaliar é compreensão, captação de significados, capacidade de transferência do conhecimento a situações não-conhecidas, não-rotineiras” (Moreira, 2010, p. 24).

Nesse sentido, a avaliação da aprendizagem significativa é caracterizada, principalmente, pela busca de evidências no decorrer da aprendizagem, estabelecendo-se como formativa e recursiva e não se resumindo a uma avaliação somativa no final do processo.

## **2.2. A Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)**

A UEPS é uma sequência de ensino e aprendizagem proposta pelo professor Marco Antônio Moreira, segundo o qual, as UEPS “são sequências de ensino fundamentadas teoricamente, voltadas para a aprendizagem significativa, não mecânica, que podem estimular a pesquisa aplicada em ensino, aquela voltada diretamente à sala de aula” (Moreira, 2011, p.2).

Percebe-se que, diante da diversidade de contextos escolares, de realidades de sala de aula, de estratégias e metodologias disponíveis e, até mesmo características individuais de aprendizagem, é natural e imprescindível a existência de outras propostas para a realização da prática docente buscando atender às reais necessidades dos educandos.

Nesse sentido, para Zabala (1998), as sequências didáticas são “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos” (p.18).

Diante do exposto, supõe-se uma sequência de ensino e aprendizagem como uma organização sequencial de atividades, envolvendo atividades de aprendizagem e avaliação, planejadas e articuladas, sobre um tema, com o objetivo de ensinar um conteúdo, de forma a tornar mais eficiente o processo de ensino e aprendizagem.

Para a elaboração da UEPS, Moreira (2011) considera a relevância e a influência da situações-problemas. Para o autor, elas servem para despertar o aluno para a aprendizagem significativa, dão sentido aos novos conhecimentos e podem funcionar como organizadores prévios. Situação-problema significa tarefa, não necessariamente problema de fim de capítulo; pode ser a explicação

de um fenômeno, de uma aparente contradição, a construção de um diagrama, as possibilidades são muitas, mas, independentemente de qual for a tarefa, é essencial que o aprendiz a perceba como um problema. (Moreira, 2011, p.11). A elaboração de uma UEPS, de maneira geral, nos pressupostos da aprendizagem significativa, pode ser descrita nas seguintes etapas (Moreira, 2011):

1. Definir o assunto específico a ser abordado, independentemente do número de aulas necessárias.

2. Diagnosticar o conhecimento prévio do aluno. Esse passo é muito importante, não só porque são nestes conhecimentos que os novos saberes irão se ancorar, mas também porque o aluno aprende a partir do que ele já sabe.

3. Propor situações-problemas envolvendo o assunto que se pretende ensinar, de modo a dar-lhe sentido, despertando o aluno para a importância e necessidade dos novos conhecimentos.

4. Apresentação do conteúdo, o que pode acontecer como uma exposição oral, considerando o princípio programático da diferenciação progressiva.

5. Abordagem do conteúdo que, efetivamente, pretende ensinar, sempre considerando o princípio da diferenciação progressiva, porém em nível mais alto de complexidade em relação à primeira apresentação. Um outro princípio que é indispensável aqui é o da reconciliação integradora. É importante destacar as semelhanças e diferenças, relacionando os conhecimentos já estabelecidos com o novo.

6. Concluindo, o professor deve fazer uma nova apresentação de significados, que pode ser por meio de exposição oral, leitura de texto, recurso audiovisual ou simulação computacional etc., de forma a garantir a ancoragem dos novos conhecimentos nos subsunçores e, conseqüentemente, a aprendizagem significativa.

7. A avaliação da aprendizagem é, principalmente, formativa e contínua, onde o professor deve registrar tudo que possa ser considerado evidência de aprendizagem significativa do conteúdo trabalhado, isso além de uma avaliação somativa individual.

O princípio da consolidação é fundamental para possibilitar a aprendizagem significativa, de maneira que é imprescindível a realização de atividades como a revisão sucinta do conteúdo da aula anterior, o que pode ser oral e antes de se abordar um novo conteúdo.

### **3. DESCRIÇÃO DA PRÁTICA EDUCATIVA E SUA IMPLEMENTAÇÃO**

A Sequência de Ensino e Aprendizagem que por ora se apresenta é composta por 16 aulas e foi implementada em uma turma da 3ª série do Ensino Médio, composta de 17 alunos com faixa etária de 17 anos. Foram encontros semanais de duas aulas de 50 minutos, sendo que as duas aulas finais ficaram separadas, para que a última fosse reservada apenas para a avaliação somativa. A implementação, que ocorreu nos meses de setembro e outubro de 2018 em uma escola pública brasileira, localizada no estado da Bahia, permitiu a avaliação da sequência e a constatação da sua viabilidade notadamente satisfatória, enquanto recurso no processo de ensino e aprendizagem.

Segundo Ostermann et al. (2009), “a dualidade onda-partícula deve ser o conceito central na introdução da física quântica no ensino médio” (p. 1094), e propõem que, “do ponto de vista teórico-metodológico, [...] a ‘porta de entrada’ para o mundo quântico seja a óptica ondulatória” (p.1094).

No que diz respeito à abordagem inicial dos conceitos da Física Quântica no Ensino Médio, Pereira (2019) também destaca que

“a Dualidade Onda-Partícula se faz pertinente por resgatar alguns conteúdos anteriormente abordados, como a Ondulatória, Ótica e Ondas Eletromagnéticas e, ao mesmo tempo, possibilita ao aluno, organizar e construir o conhecimento relacionando os conceitos novos com o que ele já conhece, com o seu conhecimento prévio”. (p.16)

Para identificar o conhecimento prévio (Ondulatória, Ondas Eletromagnéticas e Ótica) optou-se por um questionário com questões conceituais e subjetivas. De início, o nível de acerto nas respostas ao questionário de conhecimentos prévios foi satisfatório. Entretanto, de acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa, o conhecimento prévio é a variável mais importante para a aprendizagem. Assim, diante do fato de alguns conhecimentos externados nesta atividade caracterizaram concepções alternativas, realizou-se uma aula de revisão dos conteúdos do questionário e que seria um dos organizadores prévios necessários para auxiliar na aprendizagem do conteúdo de Física Quântica.

Na etapa seguinte, partiu-se de uma situação-problema inicial, na qual se propôs levantar algumas questões importantes com relação aos produtos e serviços veiculados, principalmente, na internet, que usam a extrapolação de conceitos da Física Quântica, onde os adjetivos “Quântica” e “Quântico” são utilizados pelas pseudociências e o misticismo quântico, conforme esclarecem Machado & Cruz (2016):

“A apropriação do conhecimento científico se dá quando, em parte ou integralmente, incorporamos tais representações em nossa cultura, ou seja, tais simbolismos, sentidos e significados passam a constituir nosso entendimento de mundo. Este é o caso do chamado misticismo quântico, que busca uma resignificação e reinterpretação dos sentidos e dos significados da apropriação da teoria quântica” (Seção 2)

A escolha por esta situação-problema se deve ao fato de ser recorrente a demonstração de curiosidade dos alunos com relação a Física Quântica, o que causa relativa inquietação quanto ao motivo do interesse: seria a Ciência ou a quantidade considerável de produtos e serviços “quânticos” disponíveis para as mais diversas necessidades? Isso impõe a necessidade de esclarecimentos de modo a formar indivíduos conscientes e críticos, diante destas e outras questões. O assunto foi discutido com o grupo, com a intenção de ouvir opiniões e estimular a curiosidade, porém sem uma conclusão ou resposta final.

A opção de iniciar pelos aspectos históricos e conceituais foi por julgar importante que o aluno conheça não apenas as definições, fórmulas, leis e princípios deste ramo da Física, mas também os reconheça, assim como todo o conhecimento científico e tecnológico, enquanto resultado de um processo de construção humano ao longo dos tempos, do qual fazem parte um contexto histórico, social e cultural e que a produção científica e tecnológica é fruto das demandas e circunstâncias sociais, culturais, políticas e econômicas. Enfim, não se trata apenas de ensinar Ciência, mas ensinar sobre Ciência, aspectos históricos e filosóficos.

Na sequência, ocorreu a apresentação do conteúdo, começando com os aspectos mais inclusivos, dando uma visão geral do todo e considerando os princípios de diferenciação progressiva. No entanto, antes de iniciar esta etapa, foi importante o uso de um organizador prévio, que serviu de ponte cognitiva entre o que o aluno já sabe e o que ele deve saber para aprender de

forma significativa. Desse modo, a sugestão foi um vídeo<sup>1</sup> sobre o processo produtivo em uma siderúrgica, no qual pode ser observado o metal incandescente a várias temperaturas e colorações (vermelho, alaranjado, amarelo e branco). Estas cores remetem à luz visível, do espectro eletromagnético, que o aprendiz já conhece e sabe que cada cor corresponde a uma faixa de comprimento de onda e transmite uma quantidade de energia. Com o vídeo ele pode perceber que esta energia, além de luminosa, é térmica. Isso é o que ele precisa saber para entender a energia do corpo negro, um dos conceitos relacionados a história do surgimento da Física Quântica.

Na etapa seguinte, correspondente ao aprofundamento dos conhecimentos, fez-se necessária a abordagem de conceitos iniciais da Física Quântica necessários para a compreensão do tema. Foram abordados os aspectos históricos e conceituais da Teoria Ondulatória e da Teoria Corpuscular; Dualidade Onda-Partícula; o Comportamento Dual da Matéria e o Princípio da Complementaridade de Bohr, respeitando assim, aos princípios da organização sequencial e da diferenciação progressiva. Abordar o comportamento dual da luz, o comportamento dual da matéria e Princípio da Complementaridade de Bohr, nesta ordem, possibilita a reconciliação integrativa.

Para melhor compreensão das concepções que envolvem a Física Quântica, foi apresentado um vídeo sobre o experimento Difração de Elétrons ou Dupla Fenda com Elétrons<sup>2</sup>. O conteúdo do vídeo foi discutido com a turma, já que ele aborda questões filosóficas com relação ao observador, que podem promover um diálogo relevante. Posteriormente, uma atividade individual permitiu a busca de evidências de aprendizagem significativa e, neste caso, sobre o comportamento dual da luz e o Princípio da Complementaridade de Bohr, que envolveu também a transferência de conhecimentos para situações desconhecidas, um preceito da teoria da aprendizagem significativa.

Na sequência, a leitura de um texto sobre o assunto e a construção de um resumo possibilitaram a consolidação (Figura 1).



**Figura 1:** *Leitura de um texto e elaboração de um resumo*

A discussão sobre o vídeo Difração de Elétrons promoveu uma condição propícia para o entendimento do funcionamento do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder no regime quântico, já que ambos tratam do fenômeno de interferência no regime quântico.

<sup>1</sup> Vídeo, Fonte: [https://www.youtube.com/watch?v=bkh\\_0A6hYUM](https://www.youtube.com/watch?v=bkh_0A6hYUM)

<sup>2</sup> Vídeo, Fonte: <https://www.youtube.com/watch?v=PtPGCq1zPtE>



O *software* Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder foi usado como situação-problema, com um nível mais alto de complexidade. Os alunos manusearam o *software* conforme a orientação de um roteiro, observaram e interpretaram o resultado, para então responder as perguntas que constavam no próprio roteiro. Foi uma atividade colaborativa com a mediação docente.

Como uma nova situação-problema, a turma teve acesso ao Interferômetro de Mach-Zehnder experimental (Figura 2), cujo funcionamento é no regime clássico. A atividade teve início com uma exposição oral sobre a história, os componentes e o funcionamento do interferômetro. Na sequência, foi apresentada a situação-problema, como atividade colaborativa, abordando algumas questões sobre o experimento.



**Figura 2:** Atividade experimental: Interferômetro de Mach-Zehnder

Dando continuidade à troca e negociação de significados que garantem a aprendizagem significativa, foi realizada uma exposição oral com *slides* sobre As Quatro Interpretações da Física Quântica. Para atender aos princípios da consolidação e da reconciliação integrativa, os alunos efetuam a leitura de um texto de aprofundamento e preencheram, individualmente, um quadro sinótico sobre o assunto.

Na etapa seguinte abordou as aplicações da Física Quântica, cujos conteúdos, assim como os da Física Moderna e Contemporânea, estão diretamente relacionados com o avanço tecnológico da atualidade e conhecê-los permitiu perceber a complexa relação de cunho social, político, econômico e ético, que envolve a Ciência e a Tecnologia. Esta é a leitura de mundo que dá significado ao conhecimento e permite a compreensão e o posicionamento crítico diante de questões técnico-científicas de interesse social. A alfabetização científica não impõe que o indivíduo saiba tudo sobre Ciência ou métodos científicos, mas o razoável sobre como estes estudos e saberes se revertem em benefícios para a sociedade e como podem ser usados na solução de problemas do cotidiano. “Sendo assim, a alfabetização científica [...] se impõe como uma dimensão essencial de uma cultura de cidadania, para fazer frente aos graves problemas com que a humanidade há de enfrentar hoje e no futuro” (Praia et al., 2007, p.145).

Finalizando, a situação-problema inicial, deixada em suspenso, sobre a extrapolação de conceitos da Física Quântica, o misticismo quântico e o uso dos adjetivos “Quântica” ou “Quântico” em produtos e serviços foi retomada e concluída, por meio de leitura de textos, de produções

textuais dos alunos e discussão sobre o assunto. Na implementação, utilizou-se como recursos vídeos, simulações, textos e slides com imagens, a fim de minimizar a abstração do assunto estudado. Uma abordagem mais qualitativa e conceitual foi privilegiada a um tratamento de cunho matemático, tão característico desta área da Física. A sinopse das aulas elaboradas é apresentada no quadro a seguir:

**Tabela 1- Sinópse das aulas elaboradas**

<b>QUADRO SINÓPTICO DAS AULAS</b>				
<b>Encontro</b>	<b>Habilidades</b>	<b>Conteúdo</b>	<b>Sequência de Atividades e Estratégias Didáticas</b>	<b>Processos Avaliativos</b>
Primeiro Encontro (2 aulas)	-Revisar conteúdos estudados anteriormente.	Partículas, tópicos de Ondas Mecânicas e Eletromagnéticas, Espectro Eletromagnético e Fenômenos Ópticos.	Apresentação Inicial <b>1ª Atividade</b> Questionário de Conhecimentos Prévios <b>2ª Atividade</b> Revisão (Organizador Prévio)	A avaliação será realizada por meio do Questionário Inicial, da participação e interesse.
Segundo Encontro (2 aulas)	-Reconhecer a história da Ciência enquanto construção humana relacionada às demandas sociais, políticas e econômicas de determinada época. -Reconhecer a importância do espectro de radiação do corpo negro para o surgimento da Mecânica Quântica. -Relacionar a quantização de energia com a solução para o problema de radiação do corpo negro.	A Catástrofe Ultravioleta; A Solução de Max Planck e o Surgimento da Física Quântica; Definição de Quantização, Contínuo e Discreto; O campo de estudo da Física Quântica e objeto quântico. (Diferenciação Progressiva)	<b>1ª Atividade</b> Slide Extrapolações da Física Quântica (Situação-problema inicial) <b>2ª Atividade</b> Vídeo Siderúrgica (Organizadores Prévios) <b>3ª Atividade</b> Exposição Oral sobre o conteúdo, com apresentação de slides <b>4ª Atividade</b> Exercícios <b>5ª atividade</b> Leitura do texto	A avaliação será realizada por meio da resolução do exercício com aplicação da Equação de Planck, da participação e interesse.
Terceiro Encontro (2 aulas)	-Reconhecer a Dualidade Onda-Partícula como uma particularidade da Teoria Quântica. -Associar o comportamento dual à luz. -Constatar o caráter inovador e	Aspectos Históricos da Luz; A Teoria Ondulatória; A Teoria Corpuscular; Dualidade Onda-Partícula; Comportamento Dual da Matéria e o Princípio da	<b>1ª Atividade</b> Breve retomada do conteúdo <b>2ª Atividade</b> Exposição Oral sobre o conteúdo, com apresentação de slides <b>3ª Atividade</b> Vídeo Difração de Elétrons	A avaliação será realizada por meio de exercícios sobre o comportamento dual da luz e o Princípio da Complementaridade de Bohr, da participação e interesse.

**QUADRO SINÓPTICO DAS AULAS**

<b>Encontro</b>	<b>Habilidades</b>	<b>Conteúdo</b>	<b>Sequência de Atividades e Estratégias Didáticas</b>	<b>Processos Avaliativos</b>
	reformulador da Teoria Quântica. -Compreender o Princípio da Complementaridade como inerente à descrição completa da realidade física.	Complementaridade de Bohr (Diferenciação Progressiva)	<b>4ª Atividade</b> Avaliação formativa individual <b>5ª atividade</b> Leitura do texto e elaboração do resumo	
Quarto Encontro (2 aulas)	- Reconhecer que no IVMZ no regime quântico, quando a trajetória é indefinida, forma-se o padrão de interferência, logo a luz tem comportamento ondulatório. - Reconhecer que no IVMZ no regime quântico, quando a trajetória é definida, o padrão de interferência desaparece, logo a luz tem comportamento corpuscular.	O comportamento quântico dos objetos microscópicos e a Exploração do Interferômetro Virtual de Mach-Zehnder. (Reconciliação Integradora)	<b>1ª Atividade</b> Breve retomada do conteúdo <b>2ª Atividade</b> Apresentação do Software Interferômetro de Mach-Zehnder Virtual <b>3ª Atividade</b> Roteiro do IVMZ (Situação-problema 1)	A avaliação será realizada por meio da participação, interesse e respostas ao questionário do roteiro do experimento.
Quinto Encontro (2 aulas)	-Compreender que a reflexão da luz pode causar mudança de fase. -Reconhecer no IMZ Clássico, as causas da interferência construtiva e da interferência destrutiva. -Compreender que no IMZ, no regime clássico, a luz apresenta comportamento ondulatório.	O comportamento ondulatório da luz e a Exploração do Interferômetro de Mach-Zehnder Experimental (Regime Clássico) (Reconciliação Integradora)	<b>1ª Atividade</b> Apresentação do experimento IMZ <b>2ª Atividade</b> Roteiro do IMZ Experimental (Situação-problema 2)	A avaliação será realizada por meio da participação, interesse e respostas ao questionário do roteiro do experimento.
Sexto Encontro (2 aulas)	-Distinguir as diferentes interpretações da teoria quântica. -Reconhecer a Interpretação da	As Quatro Interpretações da Física Quântica (Reconciliação Integradora)	<b>1ª Atividade</b> Exposição Oral sobre As Quatro Interpretações <b>2ª Atividade</b> Leitura do Texto	A avaliação será realizada por meio do preenchimento correto do Quadro Síntese.

QUADRO SINÓPTICO DAS AULAS				
Encontro	Habilidades	Conteúdo	Sequência de Atividades e Estratégias Didáticas	Processos Avaliativos
	Complementaridade como a mais aceita.		<b>3ª Atividade</b> Preenchimento do Quadro Síntese	
Sétimo Encontro (2 aulas)	-Perceber as aplicações da Mecânica Quântica no desenvolvimento da tecnologia e sua interpretação nas diferentes áreas do conhecimento.	Aplicações da Física Quântica no Cotidiano	<b>1ª Atividade</b> Diagrama-síntese (Consolidação) <b>2ª Atividade</b> Exposição Oral sobre o conteúdo, com apresentação de slides <b>3ª Atividade</b> Vídeo Computação Quântica <b>4ª Atividade</b> Retomada da Situação-problema inicial Leitura dos Textos	A avaliação será realizada por meio da participação e interesse.
Oitavo Encontro (1 aula)	Reconhecer a importância do entendimento científico para a identificação das extrapolações dos conceitos da Física Quântica.	Extrapolações errôneas dos conceitos da Física Quântica pelas pseudociências.	<b>1ª Atividade</b> Socialização das produções textuais <b>2ª Atividade</b> Leitura do Segundo Texto e Discussão	A avaliação será realizada por meio da participação na discussão e do texto produzido.
Nono Encontro (1 aula)	Avaliação Individual			

#### 4. AVALIAÇÃO DA IMPLEMENTAÇÃO DA PRÁTICA E PRINCIPAIS RESULTADOS

Os paradoxos da Física Quântica podem causar perplexidade, isso ao mesmo tempo em que suas descobertas redefinem a visão de mundo e apresentam fundamentos contraintuitivos para o aluno do Ensino Médio, já que suas aplicações não podem ser facilmente constatadas no cotidiano (Pereira, 2019). Assim, como já era previsto, o comportamento do elétron no experimento da Difração de Elétrons (Dupla Fenda com Elétrons) causou, de início, um misto de descrença e incompreensão dos conceitos da Física Quântica. Contudo, o vídeo não só facilitou a apropriação de alguns significados acerca do comportamento dual, como também instigou os alunos a uma discussão sobre o enfoque filosófico da Física Quântica. O vídeo sugere a possibilidade de a consciência humana ser responsável pela não formação do padrão de interferência. Seria a consciência do observador a culpada pelo colapso da onda? Seria o ato de observar (medir) levado o elétron a se comportar como partícula e não mais como onda? Estas questões foram debatidas

com a turma, porém, não para se chegar a uma conclusão definitiva, mas para mostrar aos alunos a mudança de paradigma que a Física Quântica representa.

Com relação à avaliação da aprendizagem, além da busca de evidências de aprendizagem significativa, um outro aspecto relevante e que também deve ser objeto de avaliação é a interpretação, compreensão e a transferência do conhecimento para situações novas. “A avaliação da aprendizagem significativa implica outro enfoque, porque o que se deve avaliar é compreensão, captação de significados, capacidade de transferência do conhecimento a situações não-conhecidas, não-rotineiras” (Moreira, 2010, p. 24). Para isso, a teoria da aprendizagem significativa sugere a adoção de atividades avaliativas não habituais, que demandam a utilização do conhecimento adquirido modificado. Ademais, “a avaliação da aprendizagem significativa é caracterizada, principalmente, pela busca de evidências no decorrer da aprendizagem, estabelecendo-se como formativa e recursiva e não se resumindo a uma avaliação somativa no final do processo.” (Pereira, 2019, p.60)

De modo geral, as atividades permitiram reconhecer evidências de aprendizagem significativa, por meio das colocações dos alunos durante as aulas e das respostas fornecidas nas atividades, que demonstraram modificação do subsunçor. Como, por exemplo, “*Cheguei à conclusão de que não tenho maturidade para estudar Física Quântica.*” (Aluno A) ou “*Quando vejo um feixe de luz! Já imagino os fótons estão pulando!*” (Aluno B). As falas dos alunos nos permitem inferir que eles perceberam que os significados relacionados à Física Quântica são diferentes dos significados da Física Clássica. Já na resposta fornecida pelo Aluno C: “*A luz é uma onda eletromagnética e também uma partícula, porém, não se manifestam juntas*”, pode-se perceber o aprimoramento do subsunçor. Afinal, até então o aluno apenas conhecia a luz como onda eletromagnética.

No que se refere à transferência do conhecimento para situações novas, os alunos demonstraram, particularmente quando foi abordado o conteúdo “Extrapolações errôneas dos conceitos da Física Quântica pelas pseudociências”, pouca habilidade para tanto. Isso porque alguns alunos concordaram com as ideias dos textos relacionados ao misticismo quântico e demonstraram acreditar na existência de uma ligação entre a Física Quântica e os assuntos alusivos aos temas dos textos. Diante disso, foi distribuído um segundo texto para leitura e esclarecimentos sobre as extrapolaciones dos conceitos da Física Quântica.

Contudo, foi possível concluir que, nesta situação especificamente, talvez tenha sido pelo fato de que, na maioria das vezes, as escolas têm adotado práticas pedagógicas que promovam a aprendizagem mecânica, enquanto os alunos, no geral, utilizam o mesmo tipo de aprendizagem, baseada na memorização sem significado, apenas para passar na prova. Nesse sentido, vale salientar também, que “a passagem da aprendizagem mecânica para a aprendizagem significativa não é natural, ou automática” (Moreira, 2010, p.12). Dessa forma, provavelmente, não foi possível uma transformação considerável, em tempo tão curto, na forma de o aluno entender o significado da aprendizagem.

O software educacional Interferômetro de Mach-Zehnder foi utilizado em uma situação-problema. Foi uma atividade colaborativa que não apenas oportunizou a interação e a troca de significados entre os alunos, como também promoveu a consolidação de alguns conceitos fundamentais em física quântica e uma melhor reconciliação integrativa, já que durante a realização da tarefa foram destacadas as semelhanças e diferenças entre o comportamento corpuscular e

ondulatório, no regime quântico. A atividade contribuiu para tornar os subsunçores mais elaborados e, conseqüentemente, para a aprendizagem significativa.

Com o experimento Interferômetro de Mach-Zehnder, os alunos observaram o comportamento da luz enquanto onda eletromagnética e a formação do padrão de interferência, o que caracteriza o comportamento ondulatório da luz. Inicialmente, por meio de uma exposição oral, houve uma breve explanação sobre conceitos importantes relacionados ao experimento e apresentação dos seus componentes, seguido da explicação do funcionamento, quando todos visualizaram o padrão de interferência.

O uso de experimento nas aulas de Física, por si só, motiva a aprender, desperta a atenção e auxilia na construção do conhecimento, muitas vezes embasado em modelos intuitivos equivocados e concepções alternativas. Na situação específica do uso do interferômetro de Mach-Zehnder experimental, além desses fatores, foi possível perceber um aumento das indagações, quando, por exemplo, a Aluna D, comparando o padrão de interferência do experimento com o do software estudado anteriormente, indagou: *“A interferência construtiva é a parte clara e a parte escura é interferência destrutiva?”* Ou quando um outro Aluno E pediu para trocar a caneta laser por outra de luz mais intensa, com o intuito de comparar os padrões de interferência obtidos. Tais fatos permitiram concluir que o experimento contribuiu para instigar a busca por novos conhecimentos e aumentar a curiosidade sobre conceitos científicos. Houve também, maior interação e conseqüentemente, troca de significados entre os alunos. Quando um grupo estava observando o padrão, um aluno teve dificuldade de visualizar as faixas claras e escuras e identificar o padrão de interferência. Diante da dificuldade do colega, alguns do grupo buscaram uma forma de auxiliá-lo na interpretação da imagem.

## 5. CONCLUSÕES E IMPLICAÇÕES

À face do exposto, a seqüência de ensino e aprendizagem apresentada pode ser considerada uma proposta cujos recursos e metodologia permitem a efetiva inserção da Física Quântica nas aulas do Ensino Médio, que é o principal objetivo a que se destina este trabalho, qual seja, motivar os alunos a estudar a Física, permitindo um novo olhar sobre a disciplina.

Os alunos relataram, no que concerne ao Interferômetro de Mach-Zehnder, que tanto o virtual quanto o experimental contribuíram na compreensão do assunto. Contudo a maioria declarou preferência pelo interferômetro experimental, alegando que a aula ficou mais dinâmica, possibilitou a participação dos alunos, despertou a curiosidade e permitiu discutir melhor o assunto. Segundo eles, a manipulação direta e prática com o experimento foi mais interessante e melhorou a compreensão do fenômeno estudado.

No que diz respeito a aprendizagem significativa, a atividade com os textos sobre extrapolações dos conceitos de Física Quântica foi uma oportunidade de esclarecimento de significados e de o aluno externar os significados adquiridos nas aulas anteriores. Contudo, a análise qualitativa das discussões e das atividades realizadas pelos alunos não permite afirmar com convicção que houve aprendizagem significativa, mas inferir pela existência de indícios desta e, com isso, constatar a aplicabilidade do projeto e o forte indício da eficácia da seqüência proposta. Os resultados evidenciam que a seqüência de ensino e aprendizagem contribuiu no sentido de

promover a aprendizagem significativa e, com isso, apta a ser aplicada como ferramenta para auxiliar o professor na prática docente, na abordagem da Física Quântica.

Quanto as atividades realizadas na implementação da sequência de ensino e aprendizagem, recomenda-se o uso de mais questões envolvendo cálculos com a equação de Planck e uma quantidade maior de aulas para trabalhar esta atividade, pois estes foram os pontos negativos apontados por alguns poucos alunos, mas que vale a pena destacar e aprimorar.

Finalizando, posto que se almeja que este trabalho venha a servir como uma alternativa que auxilie a prática docente nas aulas de Física do Ensino Médio, na mediação do processo de construção do conhecimento no tema da Física Quântica e, simultaneamente, dê condições para envolver os alunos no mundo da Ciência, potencializando a aquisição de conhecimentos científicos, espera-se a real renovação curricular e a efetiva inserção dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea e de Física Quântica nas aulas do Ensino Médio, haja vista os relatos de alguns alunos nesse sentido.

## REFERÊNCIAS

- Batista, C. A. S. & Siqueira, M. (2017). A inserção da Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais de sala de aula: uma sequência de ensino-aprendizagem sobre radioatividade. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 34(3), 880-902.
- Ministério da Educação (2018). *Base Nacional Comum Curricular – Etapa Ensino Médio* (versão em revisão). Brasília, Brasil: MEC
- Feitosa, S. S.; Araújo, K. M. G.; Silva, M. S. & Nobre, F. A. S. (2020). Uma sequência didática utilizando a literatura de cordel e a arte das histórias em quadrinhos para inserção de tópicos de Física Quântica no Ensino Médio. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 37(2), 662-694.
- Griebeler, A. (2012). *Inserção de Tópicos de Física Quântica no Ensino Médio através de uma Unidade de ensino Potencialmente Significativa*. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física. Instituto de Física. Porto Alegre-RS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Machado, S. S. L., Cruz, F. F. S. (2016). A Teoria Quântica e a Apropriação do Conhecimento Científico: O uso da História e Filosofia da Ciência pelos Misticismos. *Anais Eletrônicos do 15º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia*. UFSC.
- Moreira, M. A. (1999). *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária.
- Moreira, M. A. (2010). O que é afinal aprendizagem significativa? Texto da Aula Inaugural do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Naturais, Instituto de Física, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, MT. Aceito para publicação, *Qurriculum*, La Laguna, Espanha, 2012. Disponível em: <[www.if.ufrgs.br/~moreira](http://www.if.ufrgs.br/~moreira)>. Acesso em: 23ago2018.
- Moreira, M. A. (2011). Unidades de Ensino Potencialmente Significativas - UEPS. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 1(2), 43 – 63.
- Ostermann, F., Cavalcanti, C. J. H., Prado, S. D., Ricci, T. F. (2009). Fundamentos da física quântica à luz de um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. REEC. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 8, 1094-1116.
- Pereira, A. M. L. (2019). *A Física Quântica no Ensino Médio: O Interferômetro de Mach-Zehnder no Ensino da Dualidade Onda-Partícula*. Dissertação de Mestrado Profissional em Ensino de Física. Ilhéus-BA: Universidade Estadual de Santa Cruz
- Praia, J., Gil-Pérez, D., Vilches, A. (2007). O Papel da Natureza da Ciência na Educação para a Cidadania. *Revista Ciência & Educação*, 13(2), 141-156.
- Zabala, A. (1998). *A Prática Educativa. Como ensinar*. Porto Alegre: ARTMED.