

ABORDANDO A PARTÍCULA LIVRE NA MECÂNICA CLÁSSICA E QUÂNTICA NO ENSINO FUNDAMENTAL: UMA PROPOSTA DIDÁTICA EMBASADA NOS NOVE EVENTOS DE APRENDIZAGEM DE GAGNÉ E TICS

Addressing the Free Particle in Classical and Quantum Mechanics in Elementary Education: A teaching proposal based on Gagné's nine learning events and ICTs

Rodrigo Lima Coelho [rodrigolimacoelh@gmail.com]

Silvana Perez [silperez_1972@hotmail.com]

Universidade Federal do Pará – UFPA Instituto de Ciências Exatas e Naturais – ICEN
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física – MNPEF
Belém, PA. Av. Perimetral 2501, Guamá, PA

Recebido: 16/12/2025

Aceito: 28/03/2026

Resumo

Este artigo apresenta uma investigação sobre a introdução de conceitos fundamentais de Mecânica Quântica (MQ) no Ensino Fundamental, com ênfase na comparação entre o comportamento da partícula livre na Mecânica Clássica (MC) e na MQ. A pesquisa tem como base teórica educacional os Nove Eventos de Aprendizagem de Gagné e utiliza Tecnologias da Informação e Comunicação (TICs), incluindo GIFs animados desenvolvidos no software Maxima e trechos do filme *Homem-Formiga e a Vespa: Quantumania* como elementos motivadores. Foi implementada uma proposta didática em uma turma do 7º ano do Ensino Fundamental de uma escola pública do interior do Pará, analisada sob uma abordagem qualitativa inspirada em Marco Antônio Moreira. Os resultados indicam que a proposta favorece a compreensão inicial de conceitos da física contemporânea e promove o letramento científico, mostrando-se adequada e motivadora para estudantes dessa faixa etária. O produto educacional resultante inclui um texto de apoio ao professor com orientações para a transposição didática dos conceitos.

Palavras-chave: Mecânica Quântica; Ensino Fundamental; Letramento Científico; Transposição Didática.

Abstract

This article presents an investigation into the introduction of fundamental concepts of Quantum Mechanics (QM) in Elementary Education, with emphasis on the comparison between the behavior of a free particle in Classical Mechanics (CM) and QM. The research is based on Gagné's Nine Events of Learning as the educational theoretical framework and uses Information and Communication Technologies (ICTs), including animated GIFs developed in the Maxima software and excerpts from the movie *Ant-Man and the Wasp: Quantumania* as motivational elements. A didactic proposal was implemented in a 7th-

grade class of a public school in the interior of Pará, analyzed using a qualitative approach inspired by Marco Antônio Moreira. The results indicate that the proposal favors the initial understanding of contemporary physics concepts and promotes scientific literacy, proving to be suitable and motivating for students in this age group. The resulting educational product includes a teacher support text guiding the didactic transposition of the discussed concepts.

Keywords: Quantum Mechanics; Elementary Education; Scientific Literacy; Didactic Transposition.

Introdução

A física contemporânea apresenta desafios conceituais significativos, especialmente quando tratada em níveis educacionais iniciais. A partícula livre, conceito presente tanto na Mecânica Clássica quanto na Mecânica Quântica, oferece uma oportunidade para discutir diferenças entre determinismo e probabilismo, bem como introduzir ideias modernas sem recorrer a formalismos matemáticos avançados.

Estudos mostram que estudantes da Educação Básica apresentam dificuldades em compreender a relação entre forças, trajetórias e previsibilidade na MC, o que implica obstáculos adicionais na compreensão da MQ (Carvalho Neto et al., 2008). Assim, explorar esses conceitos desde os anos finais do Ensino Fundamental pode promover maior familiaridade com fenômenos contemporâneos.

Este artigo apresenta uma proposta didática baseada nos Nove Eventos de Aprendizagem de Gagné, utilizando filmes e GIFs como recursos motivadores para discutir o comportamento da partícula livre em diferentes regimes físicos.

Delimitação do Problema

O problema investigado é: como o uso de um filme e GIFs pode contribuir para a compreensão da partícula livre na MC e na MQ no Ensino Fundamental?

A hipótese é que uma abordagem baseada em Gagné pode favorecer o engajamento dos alunos e permitir a construção de significados sobre os conceitos de trajetória clássica e densidade de probabilidade na MQ.

Objetivo Geral

Comparar o comportamento da partícula livre na MC e MQ e propor uma transposição didática desses conceitos para estudantes do Ensino Fundamental, utilizando TICs e os Nove Eventos de Aprendizagem.

Objetivos Específicos

- Estudar a formulação da MQ com foco na função de onda e natureza probabilística.
- Planejar e aplicar uma proposta didática baseada nos NEA de Gagné.
- Analisar os resultados obtidos com estudantes do 7º ano.
- Apresentar um texto de apoio para professores.

Fundamentação Teórica

A teoria de instrução de Robert Gagné organiza o processo educativo em nove eventos voltados a ativar conhecimentos prévios, direcionar a atenção, promover a aprendizagem e avaliar o desempenho dos estudantes. Esses eventos constituem uma sequência estruturada de ações pedagógicas que visam influenciar os processos internos de aprendizagem, sendo amplamente aplicáveis ao contexto da sala de aula.

Essa teoria é fundamental para o campo educacional, abrangendo inclusive o ensino de Física. Gagné foi um importante pesquisador da aprendizagem e da instrução, cuja teoria, frequentemente denominada “Teoria das Hierarquias de Aprendizagem”, descreve os diferentes processos cognitivos envolvidos no aprendizado e orienta o planejamento de práticas pedagógicas eficazes (MOREIRA, 1999).

No contexto deste trabalho, a teoria de Gagné assume papel central na organização da proposta didática, especialmente no que se refere à introdução de conceitos complexos da Física, como o comportamento da partícula livre na Mecânica Clássica e na Mecânica Quântica. A estrutura dos nove eventos permite que esses conceitos sejam abordados de forma gradual, partindo de conhecimentos prévios dos estudantes — como noções intuitivas de movimento — até a construção de ideias mais abstratas, como a descrição probabilística da Mecânica Quântica.

A Aprendizagem segundo Gagné

Segundo Moreira (1999), Gagné define aprendizagem como uma mudança relativamente permanente no comportamento do indivíduo, resultante de suas interações com o ambiente. Ele classifica a aprendizagem em diferentes tipos, como aprendizagem verbal, intelectual e cognitiva, cada uma envolvendo processos específicos no desenvolvimento do conhecimento.

No ensino de Física, esses tipos de aprendizagem podem ser mobilizados de forma complementar. A aprendizagem verbal manifesta-se na aquisição de conceitos como “trajetória”, “posição” e “probabilidade”. A aprendizagem intelectual está relacionada à capacidade de compreender e aplicar princípios, como a distinção entre o comportamento determinístico da Mecânica Clássica e o comportamento probabilístico da Mecânica Quântica. Já a aprendizagem cognitiva envolve processos mais complexos, como a interpretação dessas diferenças e sua aplicação em novos contextos.

Nesse sentido, ao abordar o conceito de partícula livre, o professor pode explorar inicialmente situações em que o movimento é previsível e descrito por trajetórias bem definidas, conforme a Mecânica Clássica. Em seguida, pode introduzir a ideia de incerteza e probabilidade, característica da Mecânica Quântica, promovendo uma transição conceitual que exige dos estudantes não apenas memorização, mas também compreensão e reflexão crítica sobre os limites dos modelos físicos.

A Instrução e o Papel do Professor Segundo Gagné

Uma das principais funções do professor, segundo Gagné (1980), é planejar e executar eventos de ensino que favoreçam a aprendizagem dos estudantes. O docente atua como

mediador, organizando estímulos externos capazes de influenciar os processos internos de aprendizagem.

No ensino de conceitos físicos, esse papel torna-se ainda mais relevante. Ao trabalhar o conceito de partícula livre, o professor deve estruturar a aula de forma que os estudantes possam, inicialmente, reconhecer o movimento como algo previsível e determinístico, conforme a Mecânica Clássica, para, posteriormente, compreender que, no contexto da Mecânica Quântica, esse comportamento é descrito por distribuições de probabilidade.

Essa transição entre diferentes formas de compreender o movimento exige uma mediação cuidadosa, na qual o professor utiliza estratégias didáticas — como recursos visuais e analogias — para facilitar a construção de novos significados. Assim, os eventos de instrução propostos por Gagné contribuem para organizar essa progressão conceitual, favorecendo a aprendizagem significativa.

O Uso de Filmes de Ficção Científica no Ensino de Física

O uso de filmes de ficção científica no ensino de Física tem se mostrado uma estratégia eficaz para despertar o interesse dos estudantes e contextualizar conceitos científicos. Ao explorar narrativas que envolvem fenômenos físicos, esses recursos permitem introduzir discussões de forma acessível e motivadora.

No entanto, sua utilização deve ser acompanhada de uma abordagem crítica, uma vez que esses filmes frequentemente apresentam distorções ou simplificações dos conceitos científicos. Cabe ao professor orientar os estudantes na distinção entre ciência e ficção, promovendo reflexões fundamentadas.

No contexto da proposta didática deste trabalho, o uso de filmes está diretamente relacionado ao primeiro evento de Gagné — ganhar a atenção dos alunos. A partir da exibição de cenas que envolvem fenômenos associados ao mundo quântico, os estudantes são instigados a questionar a previsibilidade do movimento e a natureza dos fenômenos físicos. Esse momento inicial cria condições para a introdução do conceito de partícula livre, permitindo discutir, posteriormente, as diferenças entre a descrição clássica e quântica do movimento.

O Uso de GIFs na Aprendizagem de Física

A utilização de GIFs no ensino de Física constitui uma importante ferramenta para a visualização de fenômenos dinâmicos, especialmente quando se trata de conceitos abstratos. Esses recursos permitem representar processos que envolvem variações no tempo, facilitando a compreensão por parte dos estudantes.

No ensino do conceito de partícula livre, os GIFs desempenham papel fundamental nos eventos de apresentação do conteúdo e orientação da aprendizagem, conforme proposto por Gagné. Por meio desses recursos, é possível representar o movimento determinístico da Mecânica Clássica, no qual a trajetória da partícula é bem definida, e contrastá-lo com o comportamento probabilístico da Mecânica Quântica, caracterizado pela dispersão da função de onda.

Essa visualização favorece a construção de modelos mentais pelos estudantes, permitindo compreender, de forma mais intuitiva, a diferença entre trajetória e probabilidade. Dessa forma, os GIFs atuam como mediadores no processo de aprendizagem, contribuindo para a articulação entre os conceitos físicos e os princípios educacionais adotados.

Mecânica Clássica e Quântica nos Documentos Oficiais

A Mecânica Clássica e a Mecânica Quântica constituem áreas fundamentais da Física, cada uma aplicável a diferentes escalas e fenômenos. No contexto da Educação Básica, a introdução desses conceitos deve ocorrer de forma gradual, respeitando o nível de abstração dos estudantes.

A Base Nacional Comum Curricular (BNCC) orienta o ensino de Ciências no sentido de promover a compreensão dos fenômenos naturais, o desenvolvimento do pensamento científico e a capacidade de interpretar situações com base em modelos explicativos. Nesse contexto, destaca-se a importância de conceitos como incerteza e probabilidade, fundamentais para a compreensão da Mecânica Quântica.

Embora a Mecânica Quântica seja tradicionalmente abordada apenas em níveis mais avançados de ensino, é possível introduzir, nos anos finais do Ensino Fundamental, noções qualitativas sobre o comportamento da partícula livre. Essa abordagem pode ser realizada a partir da comparação com a Mecânica Clássica, explorando a ideia de trajetória no primeiro caso e de probabilidade no segundo.

Ao articular esses conceitos com uma proposta didática baseada nos eventos de Gagné, o ensino torna-se mais estruturado e progressivo, favorecendo a construção do conhecimento. Dessa forma, os estudantes não apenas aprendem conceitos físicos, mas também desenvolvem a capacidade de compreender os limites dos modelos científicos e interpretar fenômenos de maneira crítica.

Quadro 1. Os Nove Eventos de Aprendizagem de Gagné (1980)

Resumo dos Nove Eventos de Robert Gagné	
1- Ganhar a atenção	Despertar a curiosidade e interesse dos alunos com um fato, pergunta ou atividade envolvente.
2- Descrever os objetivos	Comunicar claramente os objetivos de aprendizagem para que os alunos entendam o que irão alcançar.

3- Conexão com o conhecimento Anterior	Ativar conhecimentos prévios relevantes para preparar os alunos para o novo conteúdo.
4- Material a ser aprendido através de estímulo	Fornecer o novo conhecimento necessário para atingir os objetivos, usando uma mídia, por exemplo.
5- Aprendizagem orientada	Guiar os alunos com estratégias e instruções passo a passo para ajudá-los a aprender.
6- Situações de desempenho: os novos conhecimentos	Dar aos alunos a oportunidade de tentar aplicar o que aprenderam com orientação.
7- Feedback: retorno sobre o que aprendeu	Oferecer feedback informativo para que os alunos possam corrigir erros e melhorar seu desempenho.
8- Avaliar: Retenção do conhecimento	Avaliar se os alunos atingiram os objetivos de aprendizagem.
9- Retenção e transferência do conhecimento: aplicar exercícios	Fornecer oportunidades adicionais para os alunos aplicarem o que aprenderam em novos contextos.

Fonte: Coelho (2025)

A Partícula Livre na Mecânica Clássica e Quântica

O conceito de partícula na física refere-se a elementos muito pequenas, sendo, na Mecânica Quântica (MQ), associadas a partículas subatômicas. Uma partícula livre é aquela que não sofre ação de forças externas, caracterizando, na Mecânica Clássica (MC), um movimento com velocidade constante descrito pelas leis de Newton e por uma trajetória bem definida. Em contraste, na MQ, o comportamento da partícula é descrito probabilisticamente por meio da função de onda, solução da equação de Schrödinger. O módulo ao quadrado dessa função fornece a densidade de probabilidade de localização da partícula. Nesse contexto, a evolução temporal é representada por um pacote gaussiano, que se dispersa ao longo do tempo. Assim, enquanto a MC prevê previsibilidade determinística, a MQ introduz uma descrição probabilística do movimento.

Mecânica Clássica

A partícula clássica possui estado físico determinado por posição e velocidade, com evolução temporal descrita pela Segunda Lei de Newton.

Na mecânica clássica, por exemplo, sempre é possível hipoteticamente pegar um míssil, e calibrá-lo para atingir um alvo com precisão, que pode estar em outra cidade e até país. A predição estabelecida pela mecânica clássica implica, inclusive, na exatidão da queda do míssil em um determinado ponto. Assim,

“...o estado clássico de uma partícula macroscópica e sua evolução temporal podem ser previstos mediante a Segunda Lei de Newton, a partir das condições iniciais. Desse modo, enfrentou-se uma questão central da Mecânica Clássica: a obtenção das trajetórias a partir da equação do movimento. (Carvalho Neto et al, 2008, p.3)”.

O texto de Carvalho Neto et al. (2008, p. 3) exemplifica perfeitamente o caráter preditivo da Segunda Lei de Newton, onde posição e velocidade iniciais permitem calcular trajetórias exatas, como no caso do míssil. Essa previsibilidade macroscópica fundamenta a física newtoniana, mas revela limites ao lidar com escalas quânticas, onde o conceito de trajetória colapsa.

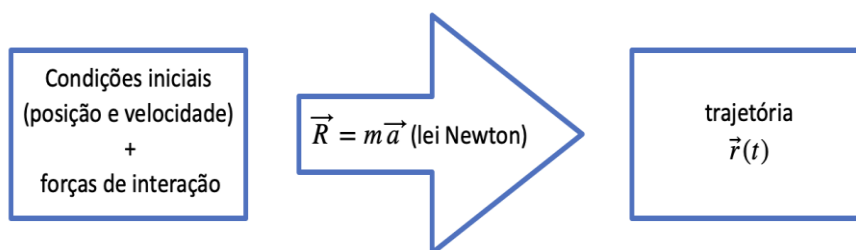


Figura 1. Determinismo e predição na MC

Fonte: Coelho (2025)

Mecânica Quântica

A mecânica quântica é parte da física que estuda o mundo quântico a baixas velocidades, ou seja, partículas minúsculas, presentes na escala atômica e subatômica. Ela estuda as partículas que formam os átomos e as interações entre elas. Nesta escala, os objetos se comportam de maneira muito diferente da MC, e por isso são chamados de “objetos quânticos”.

A partícula quântica é descrita pela função de onda e pela equação de Schrödinger. O comportamento é probabilístico e não determinístico.

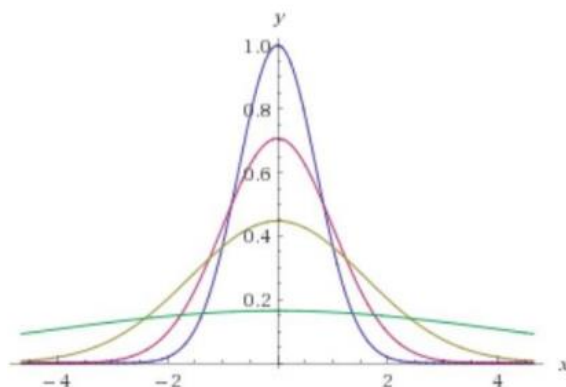


Figura 02. Evolução do pacote gaussiano, para o caso unidimensional

Fonte: Coelho (2025)

Metodologia

Este estudo caracteriza-se como uma pesquisa qualitativa, conforme discutido por Marco Antonio Moreira (2003), por buscar compreender os processos de ensino e aprendizagem a partir das interações em sala de aula. Nessa abordagem, não se parte de hipóteses previamente definidas, mas de suposições iniciais que são desenvolvidas ao longo da investigação.

A pesquisa foi realizada em uma escola pública da rede municipal localizada no município de Cachoeira do Piriá (PA), que apresenta baixos indicadores educacionais (IDEB 3,9 em 2023), evidenciando a necessidade de estratégias pedagógicas que promovam aprendizagens mais significativas.

A proposta didática foi fundamentada na teoria instrucional de Robert Gagné, especialmente nos nove eventos de aprendizagem, os quais orientaram a organização das aulas, desde a motivação inicial até a avaliação e transferência do conhecimento.

A intervenção ocorreu no primeiro semestre de 2025, com uma turma do 7º ano do ensino fundamental composta por 19 alunos, com idades entre 12 e 14 anos. As atividades foram desenvolvidas em sala de aula regular, com o uso de recursos multimídia, como slides, trechos do filme *Homem-Formiga e a Vespa: Quantumania* e GIFs representando o comportamento da partícula livre.

A proposta teve como tema “A Partícula Livre na Mecânica Clássica e Quântica”, abordando, de forma qualitativa, conceitos de mecânica clássica (trajetória, movimento, força e energia) e noções introdutórias de mecânica quântica (probabilidade e ausência de trajetória definida). O uso de recursos audiovisuais buscou facilitar a compreensão de conceitos abstratos, promovendo maior engajamento dos estudantes.

A intervenção foi organizada em nove encontros, estruturados conforme os eventos de Gagné: (i) ganhar a atenção, (ii) informar objetivos, (iii) ativar conhecimentos prévios, (iv) apresentar conteúdo, (v) orientar a aprendizagem, (vi) promover o desempenho, (vii) fornecer feedback, (viii) avaliar a aprendizagem e (ix) favorecer a retenção e transferência do conhecimento.

A coleta de dados foi realizada por meio de um diário de bordo do pesquisador, registros escritos dos alunos e observações das falas durante as atividades. Esses dados possibilitaram analisar o desenvolvimento das concepções dos estudantes ao longo da intervenção.

Foram respeitados os princípios éticos da pesquisa, garantindo o anonimato dos participantes e o consentimento da instituição escolar.

Quadro 3. Os Nove Eventos de Aprendizagem de Gagné (1980), aplicação adaptada em sala

PROPOSTA IMPLEMENTADA ADEQUADA À REALIDADE EM 2025					
EVENTOS DE GAGNÉ	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM PLANEJADO	OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM EXECUTADO	ATIVIDADE PREVISTA	ATIVIDADE EXECUTADA	DATA
1-Ganhar a atenção	Despertar a curiosidade e interesse dos alunos com um fato, pergunta ou atividade envolvente.	Despertar o interesse dos alunos por meio de uma pergunta envolvente	Exibição de trechos do filme que apresentam o Reino Quântico e a multiplicação de vários Homens-Formiga. Discussão preliminar sobre a física envolvida.	Exibição de trechos do filme que apresentam o Reino Quântico e a multiplicação de vários Homens-Formiga. Discussão preliminar sobre a física envolvida.	02 de Abril
2- Descrever os objetivos	Comunicar claramente os objetivos de aprendizagem para que os alunos entendam o que irão alcançar.	Fazer com que os alunos compreendam o que irão aprender na aula	Observar o movimento de um objeto e desenhar sua trajetória para entender como ela é bem definida. Refletir sobre como a força aplicada altera o movimento e a energia do objeto.	Observar o movimento de um objeto e desenhar sua trajetória para entender como ela é bem definida. Refletir sobre como a força aplicada altera o movimento e a energia do objeto.	09 de Abril
3- Conexão com o conhecimento Anterior	Ativar conhecimentos prévios relevantes para preparar os alunos para o novo conteúdo.	Lembrar o que os alunos já sabem para ajudar a entender o novo conteúdo	Apresentar a explicação sobre a diferença entre objetos clássicos e quânticos iniciada na etapa anterior.	Apresentar a explicação sobre a diferença entre objetos clássicos e quânticos iniciada na etapa anterior.	16 de Abril

4- Material a ser aprendido através de estímulo	Fornecer o novo conhecimento necessário para atingir os objetivos, usando uma mídia, por exemplo.	Ensinar o que os alunos precisam saber com ajuda de materiais visuais ou digitais	Análise de cenas do filme onde o Homem-Formiga se move no mundo macroscópico. Discussão breve sobre movimento retilíneo uniforme e acelerado.	Análise de cenas do filme onde o Homem-Formiga se move no mundo macroscópico. Discussão breve sobre movimento retilíneo uniforme e acelerado.	07 de Maio
5- Aprendizagem em orientada	Guiar os alunos com estratégias e instruções passo a passo para ajudá-los a aprender.	Guiar os alunos com explicações fáceis para facilitar o aprendizado	Uso de GIFs para mostrar o comportamento de partículas livres na Mecânica Quântica. Discussão breve sobre probabilidades com o uso de um GIFs.	Uso de GIFs para mostrar o comportamento de partículas livres na Mecânica Quântica. Discussão breve sobre probabilidades com o uso de um GIFs.	07 de Maio
6- Situações de desempenho: os novos conhecimentos	Dar aos alunos a oportunidade de tentar aplicar o que aprenderam com orientação.	Dar aos alunos a chance de tentar fazer sozinhos, com orientação	Roda de conversa sobre as diferenças observadas. Uso de exemplos do filme para ilustrar as duas abordagens.	Roda de conversa sobre as diferenças observadas. Uso de exemplos do filme para ilustrar as duas abordagens.	08 de Maio
7- Feedback: retorno sobre o que aprendeu	Oferecer feedback informativo para que os alunos possam corrigir erros e melhorar seu desempenho.	Ajudar os alunos a entender onde erraram para aprender melhor	Pesquisa sobre tecnologias que utilizam princípios da Mecânica Quântica, como computadores quânticos e microscópios eletrônicos.	Apresentação sobre tecnologias que usam Princípios da MQ, com uso de Power point e trechos do filme	08 de Maio

8- Avaliar: Retenção do conhecimento	Avaliar se os alunos atingiram os objetivos de aprendizagem.	Verificar se os alunos entenderam o que foi ensinado	Divisão da turma em grupos para criar um projeto de apresentação sobre os conceitos aprendidos, utilizando cenas do filme e gifs explicativos.	Roda de conversas para discussão dos conceitos aprendidos, com uso Power point e perguntas com respostas	09 de Maio
9- Retenção e transferência do conhecimento: aplicar exercícios	Fornecer oportunidades adicionais para os alunos aplicarem o que aprenderam em novos contextos.	Permitir que os alunos pratiquem o que aprenderam em novos exemplos	Cada grupo apresenta seu projeto. Discussão final e avaliação formativa sobre o aprendizado dos conceitos de física clássica e quântica.	Apoio de slides em PowerPoint, utilizados como recurso visual. Perguntas problematizadoras favorecendo a aplicação prática dos saberes.	09 de Maio

Fonte: Coelho (2025)

Resultados e Discussão

A aplicação da proposta didática junto a uma turma do 7º ano do ensino fundamental evidenciou um processo gradual de superação das dificuldades iniciais dos estudantes na compreensão de conceitos relacionados à Mecânica Clássica (MC) e à Mecânica Quântica (MQ). Inicialmente, os alunos demonstraram insegurança diante do conteúdo, porém, ao longo da intervenção estruturada com base nos nove eventos de aprendizagem de Gagné, observou-se um aumento progressivo no engajamento e na participação.

As aulas foram conduzidas predominantemente em formato dialógico, favorecendo a interação entre os estudantes e o professor. O uso de recursos multimídia, como trechos do filme *Homem-Formiga e a Vespa: Quantumania*, GIFs e slides, contribuiu significativamente para a compreensão de conceitos abstratos, tornando-os mais acessíveis.



Figura 03: Print de Cena do filme

Fonte: Coelho (2025)

Nos encontros iniciais, buscou-se identificar as concepções prévias dos alunos. Ao serem questionados sobre o conceito de trajetória, a maioria associou o termo a ideias como “um caminho” ou “ida e volta”, evidenciando uma compreensão inicial compatível com a Mecânica Clássica.

Esse tipo de resposta pode ser interpretado como evidência de aprendizagem verbal, conforme a teoria de Gagné, caracterizada pela capacidade de expressar conceitos por meio da linguagem.

Ao longo das aulas, especialmente durante a introdução à Mecânica Quântica, observou-se uma evolução nas respostas dos estudantes. Quando questionados sobre o conceito de trajetória na MQ, muitos passaram a utilizar expressões como “sem caminho”, indicando uma ruptura com a ideia clássica de trajetória bem definida.

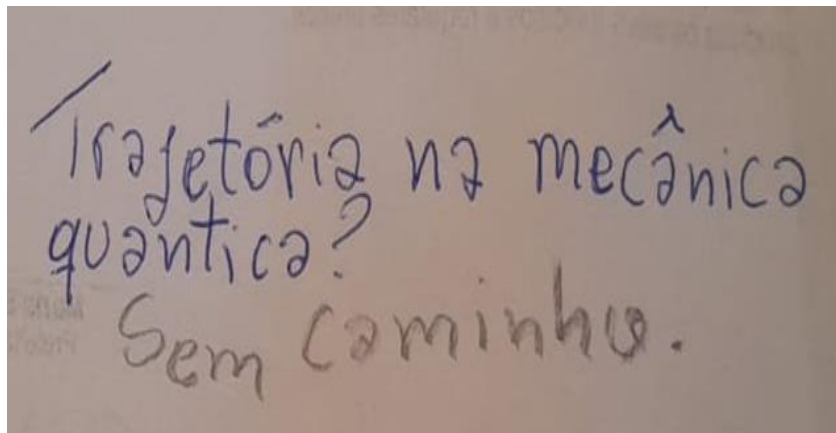


Figura 04. Resposta dos estudantes sobre o conceito de "trajetória" na MQ.

Fonte: Coelho (2025)

Essa mudança sugere o desenvolvimento de uma aprendizagem intelectual, na medida em que os alunos passaram a compreender conceitos mais abstratos, como a ausência de trajetória definida e a natureza probabilística dos fenômenos quânticos.

Além disso, o uso de GIFs para representar o comportamento da partícula livre favoreceu a construção de significados. Um exemplo relevante foi a fala de um estudante ao afirmar que “a partícula se espalhava”, demonstrando uma compreensão intuitiva do comportamento probabilístico.

Outro aspecto significativo foi a participação de um aluno com limitações motoras e de fala, que conseguiu responder corretamente que a mecânica quântica é observada “no átomo”. Esse episódio evidencia a importância de estratégias pedagógicas inclusivas, bem como o potencial da abordagem utilizada para promover a participação de todos os estudantes.

Durante as atividades de comparação entre MC e MQ, os alunos passaram a relacionar os conceitos científicos com situações do cotidiano. Uma estudante destacou que na mecânica clássica observava objetos como bicicleta e bola, enquanto na mecânica quântica conseguia compreender o comportamento da partícula, evidenciando um avanço na construção do pensamento científico.

As atividades desenvolvidas em formato de roda de conversa favoreceram a aprendizagem cognitiva, estimulando a reflexão, o debate e a participação ativa. Esse processo contribuiu para que os estudantes elaborassem estratégias próprias de compreensão, articulando conhecimentos prévios e novos conceitos.

De modo geral, os resultados indicam que a utilização dos nove eventos de aprendizagem de Gagné, associada ao uso de recursos multimídia, favoreceu a construção gradual do conhecimento. Observou-se a presença das três categorias de aprendizagem propostas por Gagné:

- **Aprendizagem verbal:** expressa nas definições iniciais dos conceitos;
- **Aprendizagem intelectual:** evidenciada na compreensão de conceitos abstratos;
- **Aprendizagem cognitiva:** percebida na capacidade de reflexão e aplicação dos conhecimentos.

Apesar dos avanços, algumas dificuldades foram identificadas, como a complexidade dos conceitos quânticos e a necessidade de adaptação da linguagem científica para o nível dos estudantes. Essas limitações indicam a importância de aprofundar futuras investigações.

Em síntese, os resultados demonstram que é possível introduzir conceitos de física moderna no ensino fundamental, desde que mediado por estratégias didáticas adequadas. A proposta contribuiu para a alfabetização científica dos estudantes, promovendo o pensamento crítico e a construção significativa do conhecimento.

Considerações Finais

A presente investigação evidenciou que é possível introduzir, de forma conceitualmente consistente e pedagogicamente adequada, noções iniciais de Mecânica Quântica no Ensino Fundamental, a partir da comparação com a Mecânica Clássica, mesmo em níveis escolares nos quais tradicionalmente esses conteúdos não são abordados. A discussão do conceito de partícula livre mostrou-se particularmente fecunda para explicitar diferenças fundamentais entre os regimes clássico e quântico, sobretudo no que se refere ao determinismo newtoniano e ao caráter probabilístico da descrição quântica.

A organização da proposta didática à luz dos Nove Eventos de Aprendizagem de Gagné revelou-se eficaz para estruturar as atividades de ensino, favorecendo a ativação de conhecimentos prévios, o engajamento dos estudantes e a construção gradual de significados. O uso de Tecnologias da Informação e Comunicação, em especial os GIFs animados e os trechos do filme *Homem-Formiga e a Vespa: Quantumania*, atuou como elemento mediador importante, permitindo a visualização de fenômenos abstratos e promovendo maior interesse e participação dos alunos durante as aulas.

A análise qualitativa dos resultados indica que os estudantes conseguiram diferenciar, ainda que de forma introdutória, a noção de trajetória bem definida presente na Mecânica Clássica do conceito de densidade de probabilidade associado à partícula quântica. Esse avanço conceitual contribui para o desenvolvimento do letramento científico, ao ampliar a compreensão dos limites explicativos da física clássica e ao introduzir ideias centrais da física contemporânea em uma linguagem acessível e contextualizada.

Por fim, destaca-se que o produto educacional elaborado — um texto de apoio ao professor — constitui uma contribuição relevante para a prática docente, oferecendo subsídios para a transposição didática de conceitos complexos da Mecânica Quântica para o Ensino Fundamental. Como perspectiva para trabalhos futuros, sugere-se a ampliação da proposta para outras turmas e níveis de ensino, bem como a incorporação de novos recursos digitais e estratégias avaliativas que permitam aprofundar a análise dos impactos dessa abordagem no processo de ensino-aprendizagem.

7. Referências

Neto, R. A. de C.; Júnior, O. F.; Silva, J. L. P. B. Enfatizando o aspecto preditivo da segunda lei de Newton: análise de uma experiência com alunos do ensino médio. *Experiências em Ensino de Ciências*, v. 3, n. 1, p. 75-86, 2008.

BRASIL. *Base Nacional Comum Curricular: Ensino Médio*. Brasília: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: <https://basenacionalcomum.mec.gov.br/>. Acesso em: 4 nov. 2025.

Brasil. Ministério da educação. Base nacional comum curricular. Brasília: MEC, 2018. disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/images/bncc_ei_ef_110518_versaofinal_site.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.

Paulo, I. J. C. de; Moreira, M. A. Abordando conceitos fundamentais da mecânica quântica no nível medio. Revista brasileira de ensino de física, v. 36, n. 2, p. 123-134, 2014. disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/4082/2646>. Acesso em: 22 set. 2024.

COELHO, R. L. *Abordando a partícula livre na mecânica clássica e quântica no ensino fundamental: uma proposta didática embasada nos nove eventos de aprendizagem de Gagné e TICs*. 2025. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal do Pará, Belém, 2025.

IBGE. instituto brasileiro de geografia e estatística. Censo demográfico 2020. [S.L.: S.N.], 2020. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 22 out. 2024.

Moreira, M. A., 1942 – Teorias de aprendizagem / Marco Antonio Moreira. – São Paulo: EPU, 1999. Gagne, R. M. Princípios essenciais da aprendizagem. Tradução de rute vivian ângelo. Porto Alegre, RS: Globo, 1980.

Oliveira, E. S. de. Simulações de condução de calor unidimensional com o software Maxima. “Revista Brasileira de Física, vol. 45, e20220181 (2023)”.

Perez, S. Mecânica quântica: Um curso para professores da educação básica / Silvana Perez. — São Paulo: editora livraria da física, 2016. — (serie mestrado nacional profissional em ensino de física; v. 3.