

Uma Revisão Sistemática da Literatura na Pós-Graduação Brasileira Acerca da Integração de História e Filosofia da Ciência e Aspectos da Natureza da Ciência no Ensino de Mecânica Quântica

A Systematic Literature Review in Brazilian Graduate Studies on the Integration of History and Philosophy of Science and Aspects of the Nature of Science Into the Teaching of Quantum Mechanics

Una Revisión Sistemática de la Literatura en el Posgrado Brasileño Sobre la Integración de la Historia y Filosofía de la Ciencia y Aspectos de la Natureza de la Ciencia en la Enseñanza de la Mecánica Cuántica

Guilherme Emerim Nunes,  e Luiz Orlando de Quadro Peduzzi 

Resumo

Esta revisão sistemática da literatura na pós-graduação brasileira investigou como a Mecânica Quântica (MQ), aliada ao uso de História e Filosofia da Ciência (HFC) e Natureza da Ciência (NdC), tem sido abordada nessas produções, entre 2010 e 2024. A seleção dos estudos foi realizada consultando a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e o Catálogo de Teses e Dissertações da Capes, seguida por um processo de triagem. O corpus final, composto por 11 trabalhos, foi submetido à Análise de Conteúdo de Bardin, permitindo elencar categorias emergentes para os padrões observados. A tendência dos estudos aponta uma abordagem textual, tratando sobre temas como dualidade onda-partícula, princípio da incerteza e complementaridade, enquanto o ensino de viés essencialmente instrumentalista ainda se destaca como prática mais comum, inibindo discussões profícuas acerca de controvérsias, disputas teóricas e conceituais sobre a MQ. Constata-se a existência de um amplo e ainda inexplorado campo de pesquisa relativo a um período histórico crucial para o desenvolvimento da MQ, como o da década entre 1925 e 1935, efervescente em ideias e interpretações filosóficas que contribuíram para a estrutura da teoria.

Palavras-chave: Mecânica Quântica, Pós-Graduação, História e Filosofia da Ciência, Natureza da Ciência

Abstract

This systematic literature review in Brazilian graduate studies investigated how Quantum Mechanics (QM), combined with the use of History and Philosophy of Science (HPS) and Nature of Science (NOS), has been approached in these productions between 2010 and 2024. The selection of studies was carried out by consulting the Brazilian Digital Library of Theses and Dissertations (BDTD) and the CAPES Catalog of Theses and Dissertations, followed by a screening process. The final corpus, composed of 11 works, was submitted to Bardin's Content Analysis, allowing the listing of emerging categories for the observed patterns. The trend in the studies points to a textual approach, dealing with themes such as wave-particle duality, the uncertainty principle, and complementarity, while teaching with an essentially instrumentalist bias still stands out as the most common practice, inhibiting fruitful discussions about

controversies, theoretical and conceptual disputes about QM. It is evident that there is a vast and still unexplored field of research realting to a crucial historical period for the development of QM, such as the decade between 1925 and 1935, which was vibrant with ideas and philosophical interpretations that contributed to the structure of the theory.

Keywords: Quantum Mechanics, Graduate Studies, History and Philosophy of Science, Nature of Science

Resumen

Esta revisión sistemática de la literatura en el posgrado brasileño investigó cómo la Mecánica Cuántica (MC), combinada con el uso de la Historia e Filosofía de la Ciencia (HFC) y la Natureza de la Ciencia (NDC), ha sido abordada en estas producciones entre 2010 y 2024. La selección de estudios se realizó consultando la Biblioteca Digital Brasileña de Tesis y Disertaciones (BDTD) y el Catálogo de Tesis y Disertaciones de CAPES, seguido de un proceso de selección. El corpus final, compuesto por 11 trabajos, se sometió al Análisis de Contenido de Bardin, lo que permitió enumerar las categorías emergentes para los patrones observados. La tendencia en los estudios apunta a un enfoque textual, que trata temas como la dualidad onda-partícula, el principio de incertidumbre y la complementariedad, mientras que la enseñanza con un sesgo esencialmente instrumentalista sigue destacando como la práctica más común, inhibiendo discusiones fructíferas sobre controversias y disputas teóricas sobre la MC. Es evidente que existe un vasto campo de investigación aún inexplorado relacionado con un período histórico crucial para el desenvolvimiento de la MC, como la década comprendida entre 1925 y 1935, que estuvo repleta de ideas e interpretaciones filosóficas que contribuyeron a la estructura de la teoría.

Palabras clave: Mecánica Cuántica, Posgrado, Historia y Filosofía de la Ciencia, Naturaleza de la Ciencia

Introdução

O cenário da pesquisa em Ensino de Ciências, sobretudo nas duas últimas décadas, tem conferido destaque ao ensino de tópicos de Mecânica Quântica (MQ). O interesse crescente pelo tema reflete-se em uma significativa produção de estudos e publicações, o que reforça a pertinência do assunto (Bitzenbauer, 2021; Greca et al., 2001; Kalkanis et al., 2003; Silva & Almeida, 2011).

A qualificação do profissional para a sala de aula perpassa por um conjunto de práticas e especificidades relacionadas à área de ensino (Leone & Leite, 2012; Souza, 2023). Dessa forma, compreende-se que o percurso formativo do sujeito — desde a graduação até uma possível pós-graduação — configura uma rede de saberes interligados, que contribuem para a construção de uma prática pedagógica mais crítica e contextualizada. Assim, é relevante pensar em que sentido se estrutura a formação específica de professores e pesquisadores, em nível de pós-graduação, voltada ao ensino de MQ.

A teoria quântica, em seu vasto enredo de construção teórica e conceitual, permitiu, através de anos de estudos e pesquisas, a compreensão de sistemas microscópicos, impactando diretamente no avanço da tecnologia. A contribuição dos fundamentos da MQ na previsão do comportamento de átomos, elétrons e do amplo domínio do microcosmo transformou radicalmente a tecnologia dos séculos XX e XXI. Instrumentos e dispositivos como o laser, a TV (especialmente modelos LCD/LED), celulares, computadores e materiais com tecnologia de alta precisão, como o relógio atômico, são decorrentes de aplicações dos princípios da teoria quântica.

O desenvolvimento tecnológico baseado na teoria quântica ilustra como a física pode influenciar aspectos sociais e culturais da humanidade. Entretanto, os problemas relacionados ao ensino de conceitos de MQ ainda comprometem de forma expressiva o cenário educacional. Nas duas últimas décadas, revisões bibliográficas (Cuesta Beltrán, 2018; Greca & Moreira, 2001; Pantoja et al., 2011; Souza et al., 2021) indicam uma forte e justificada preocupação em relação a como esse conteúdo pode chegar na sala de aula em todos os níveis de ensino.

Essa literatura especializada mostra problemas que persistem no ensino de MQ, como a ênfase em uma abordagem instrumentalista, com poucas discussões de cunho histórico-filosófico, uma demanda por ferramentas didáticas associadas a uma abordagem de caráter conceitual, uma tendência em estabelecer vínculos com a física clássica por meio da linguagem utilizada para explicar os fenômenos da teoria, etc.

O uso da História e Filosofia da Ciência (HFC), à luz de uma historiografia contemporânea, pode representar um recurso didático relevante para a compreensão de conceitos da MQ, sobretudo no que se refere ao desenvolvimento histórico da teoria e às suas repercussões culturais. A articulação entre a HFC e o ensino, de modo geral, contribui para uma educação crítica, reflexiva, que visa promover um interesse pela produção do conhecimento científico enquanto fator cultural, além de revelar o caráter multifacetado da ciência (Damasio & Peduzzi, 2017; Foratto, Pietrocola & Martins, 2011; Matthews, 1994; Santos & Eugenio, 2025). Essa perspectiva, aliás, pode favorecer reflexões sobre aspectos relativos à Natureza da Ciência (NdC)¹ ao possibilitar discussões sobre a dinâmica da prática científica e as trocas dialógicas entre os cientistas envolvidos na formulação e desenvolvimento da teoria quântica. A NdC permite promover um maior envolvimento de estudantes nas aulas, aproximando-os de contextos históricos, filosóficos, sociológicos da ciência atribuindo à atividade científica, noções epistemológicas (Abd-El-Khalick, 2013; Lederman & Abd-El-Khalick, 1998; McComas et al., 1998; Moura, 2014; Peduzzi & Raicik, 2020; Raicik, 2020, 2024).

Dentro deste abrangente e intrincado cenário envolvendo o ensino de tópicos de MQ, especialmente no âmbito de uma abordagem histórico-filosófica, é mister continuar refletindo sobre como o ensino de MQ aliado ao uso de HFC e de aspectos relativos à NdC permeia, inclusive, a formação continuada de professores responsáveis

¹ A Natureza da Ciência (NdC) pode ser entendida como um conjunto de saberes relacionados ao empreendimento científico e que trata de aspectos históricos, filosóficos, sociológicos e até mesmo psicológicos do processo de construção do conhecimento (Moura, 2014).

por veicular esse conhecimento em sala de aula. Afinal, em que pese a relevância do tema neste segmento da formação, reitera-se a escassez de pesquisas sobre o assunto. Quando se trata do ensino de tópicos relacionados à teoria quântica, o foco recai sobre a graduação, sem maiores aprofundamentos no âmbito da formação continuada.

Nesse contexto, procedeu-se a uma revisão sistemática de trabalhos incluídos em duas bibliotecas específicas da pós-graduação brasileira: a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e o Catálogo de Teses e Dissertações da Capes, a fim de responder à seguinte questão de pesquisa: **Como a Mecânica Quântica, integrada ao uso da História e Filosofia da Ciência e da Natureza da Ciência, tem sido abordada em teses e dissertações nacionais entre 2010 e 2024?** Com este propósito, o artigo tem como **objetivo** apresentar uma revisão sistemática de trabalhos dessa natureza presentes na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e no Catálogo de Teses e Dissertações da Capes, situando os principais temas discutidos no âmbito da teoria quântica, as abordagens utilizadas e as discussões envolvendo HFC e NdC para o seu ensino. De modo a alcançar esse objetivo, foram inicialmente selecionadas 55 produções acadêmicas (teses e dissertações) publicadas no período e incluídas nesses dois locais de pesquisa.

O artigo está dividido em seis seções. Seguindo a presente **Introdução**, a seção **O contexto da pesquisa em ensino de Mecânica Quântica** apresenta um panorama geral da literatura sobre os aspectos metodológicos e conceituais do ensino desta matéria. A seção seguinte, **Metodologia**, especifica e detalha o desenho estrutural da revisão oriunda de trabalhos de pós-graduação encontrados na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e no Catálogo de Teses e Dissertações da Capes. Os dados são apresentados a seguir, na seção de **Resultados**. A **Discussão** dos achados compõe a quinta seção. Por fim, as **Considerações Finais** contemplam reflexões pertinentes ao tema, salientando a sempre necessária e indispensável continuidade de pesquisas que possam contribuir para um ensino significativo da MQ, em especial aqueles vinculados ao uso de HFC.

O Contexto da Pesquisa em Ensino de Mecânica Quântica

A literatura tem elencado uma série de desafios e possibilidades relacionados ao ensino de MQ, sobretudo a respeito de concepções dos estudantes e das abordagens utilizadas para sua implementação em sala de aula. No delineamento de novas pesquisas, é de suma importância que estas levem em conta os problemas constatados, implementem sugestões e recomendações, e suscitem novas ações, metodologias e caminhos. Nesse sentido, elencam-se algumas pesquisas na área com foco no tema, o que possibilita visualizar um panorama sobre o assunto e refletir a importância de pesquisas que abordem investigações, inclusive, no contexto da pós-graduação.

Por meio de uma revisão de literatura de artigos que abordam o ensino de conceitos fundamentais de MQ publicados entre 2010 e 2016, no âmbito nacional e internacional, Rocha, Herscovitz e Moreira (2018) analisaram oitenta artigos/estudos agrupados em cinco categorias, divididos entre propostas pedagógicas teóricas, propostas

didáticas implementadas, estudos sobre a concepção de estudantes e professores acerca de tópicos fundamentais de MQ, análise de material didático e estudos sobre formação continuada. Com destaque para um número crescente de trabalhos para a segunda e a terceira categorias, nota-se uma inclinação para pesquisas que apontam reflexões sobre a compreensão conceitual da MQ e das concepções adotadas pelos estudantes. Além disso, os autores identificam uma tendência ao aprofundamento teórico em níveis mais avançados, voltado ao ensino em cursos de bacharelado e pós-graduação. A situação difere quanto a trabalhos com ênfase conceitual para o Ensino Médio. Embora haja uma preocupação voltada para o ensino secundário, não se encontram propostas conceituais adequadas, o que configura mais um desafio para o ensino de MQ. Os autores indicam que o pequeno número de artigos tratando sobre o tema na formação continuada de professores mostra a relevância da oferta de cursos para os docentes. Dentro do contexto da pesquisa, a formação continuada refere-se a um conjunto de práticas e saberes necessários ao professor da rede pública de ensino básico, visando a atualização curricular relacionada a conceitos de FMC. A revisão sinaliza para a importância de pesquisas na área, reforçando abordagens de cunho teórico, destacando a relevância de estudos sobre o tema.

Galvão et al. (2024) apresentam um levantamento bibliográfico sobre práticas de ensino de computação quântica no Ensino Médio utilizando diferentes enfoques: conceitual, instrumental e sociocientífico. Esses enfoques estão relacionados às habilidades características das práticas associadas ao ensino, o que permitiu aos autores elaborar uma matriz de orientação para guiar possíveis práticas sobre computação quântica no Ensino Médio. Como uma das justificativas para o ensino de computação quântica, os autores trazem a pertinente discussão sobre os desafios da realidade atual, cada vez mais permeada por elementos da ciência e tecnologia, e sobre a problemática envolvendo a escassa presença de temas de FMC no ensino de física. A abordagem de tópicos de MQ, como componente da FMC, torna-se preocupante diante da desatualização do currículo escolar, pois inviabiliza uma formação mínima sobre aspectos conceituais da física moderna. Isso impacta diretamente na capacidade de formar sujeitos críticos, que possam pensar sobre as relações envolvendo ciência e tecnologia.

Em um trabalho sobre o estado da arte do ensino da física quântica entre 1986 e 2016, Cuesta Beltrán (2018) elenca sete tendências para possíveis melhorias do ensino de fundamentos da MQ. A partir da sistematização dos trabalhos, destaca, entre outros problemas, abordagens essencialmente algorítmicas no ensino, com pouca ou quase nenhuma reflexão conceitual sobre o tema. Pensando em uma forma de minimizar a apresentação com foco em cálculos matemáticos, sugere, de forma articulada ao ensino de conceitos da teoria, elementos ligados à NdC na formação inicial e continuada de professores, por permitir um caráter interpretativo-reflexivo. Da mesma forma, a análise realizada levantou a problemática associada a um ensino sem contextualização histórica, ou, no máximo, pautado por narrativas superficiais que invisibilizam os debates, as querelas entre os cientistas, as reformulações teóricas e conceituais. Esse tipo de narrativa, geralmente, pode ser encontrado em livros didáticos.

A partir de uma revisão sistemática da literatura, Souza et al., (2021) propõem reflexões sobre o ensino de MQ em cursos de graduação. Mediante análise de nove estudos empíricos sobre o tema — considerando o conteúdo ministrado nos cursos, as bases teórico-metodológicas utilizadas e as sínteses obtidas — o trabalho incorpora também achados de outros levantamentos da área, reafirmando a necessidade da formulação de cursos de MQ que estejam mais adequados à realidade da sala de aula. A pesquisa recomenda a necessária cautela para estudos que busquem investigar a implementação de abordagens voltadas à formação em MQ com atenção às inovações didáticas e a relação dos conceitos estudados com os interesses dos alunos, a fim de que, em uma situação de ensino e aprendizagem, o conteúdo possa fazer sentido para os estudantes. Os autores destacam a necessidade de reavaliação dos currículos de graduação no que se refere à MQ, considerando a predominância de cursos que optam por uma prática centrada na operacionalização matemática da teoria e na resolução de problemas, demonstrando pouco interesse na discussão conceitual. Essa lacuna quanto à dimensão conceitual aparece como um dos entraves salientados pelo estudo, que também mostra o panorama das investigações no Brasil, apontando a escassez de trabalhos que tratem do tema. Como um dos desafios inerentes à atuação docente e à pesquisa na área, a revisão apresentada ressalta a dificuldade de reformulação curricular no ensino de MQ, indicando a necessidade de uma formação crítica, que promova uma educação científica capaz de permitir aos alunos estabelecer conexões com elementos culturais e históricos, ampliando, assim, as contribuições da física para a construção de visões de mundo.

Com base em uma (re)visita histórico-epistemológica referenciada na visão de Karl Popper (1902–1994), especialmente em seu pós-escrito à obra *A Lógica da Descoberta Científica*, no qual discute a Interpretação de Copenhague da MQ, Massoni e Alves-Brito (2021) argumentam a respeito do ensino de física na contemporaneidade, destacando a importância da inserção de física quântica na educação básica. Popper tece críticas às formas de visualização dos objetos atômicos, defendida por Niels Bohr (1885–1962) ao recorrer às imagens clássicas para validar a dualidade ou complementaridade. Para Popper, esse tipo de interpretação implica em dificuldades para compreender a teoria e, conseqüentemente, prejudica o seu ensino. Apesar de reconhecer que nem todos os integrantes da chamada Escola de Copenhague concordavam entre si sobre a interpretação probabilística, a crítica de Popper de que a realidade objetiva entre medições desaparece, trazendo elementos de subjetividade para a física quântica, pode impactar diretamente na sua compreensão e nos reflexos sociais da teoria. O estudo afirma que tais contribuições, como as do filósofo britânico, quando associadas a aspectos históricos, podem suscitar reflexões pertinentes sobre o processo de construção de uma teoria na ciência, suas implicações sociais e as distinções de posturas subjetivistas que parecem ser a base para interpretações e formulações de “maus usos da mecânica quântica” (p. 346). Os autores defendem que o ensino de MQ deve se apoiar em fundamentos conceituais, históricos e epistemológicos articulados entre si, promovendo uma formação crítica capaz de prevenir posturas negacionistas diante da ciência, além de combater a propagação de *fake news* e distorções tanto sobre o tema quanto sobre questões científicas em geral.

Olavo et al. (2022) apresentam um formalismo alternativo para o estudo de partículas de spin semi-inteiro, propondo um modelo que permita (a) aprender, (b) explicar e (c) compreender características do sistema alvo e se aprofundar na própria teoria quântica. Para tanto, propõem uma análise do spin utilizando o espaço de fase, por meio de equações diferenciais que descrevem a evolução temporal da função de onda. Os autores ainda mostram uma equação de Schrödinger capaz de “descrever qualquer sistema de spins semi-inteiros” (p. 9) e associam a possibilidade de relacionar o spin com propriedades dinâmicas e não intrínsecas das partículas. A abordagem ressalta a importância do uso de modelos físicos nas formulações teóricas, o que provoca discussões de natureza histórica sobre o processo de construção da teoria quântica. O estudo destaca a necessidade de apresentar contextos epistemológicos bem fundamentados, alinhados ao desenvolvimento de um formalismo que contemple o operacionalismo matemático adequado. Embora a literatura apresente poucas propostas ao ensino de MQ, tanto na graduação quanto na pós-graduação, que articulem simultaneamente os eixos epistemológico e matemático, os autores reforçam a relevância de integrar essas dimensões, promovendo a problematização da trajetória histórica da teoria e buscando a compreensão das estruturas microscópicas por meio do raciocínio analítico.

Bertoni e Londero (2021) analisam como a disciplina de MQ é inserida nos currículos de licenciatura em física na região sudeste do Brasil e apontam que a formação de professores ainda merece atenção quando o tópico é o ensino dessa disciplina, indicando uma preocupação quanto à reorganização da disciplina nos cursos, com foco em discussões que promovam reflexões conceituais e pedagógicas sobre o seu ensino. Apesar de constar nas diretrizes da educação do Brasil, o ensino de física do século XX parece encontrar dificuldades quanto à sua implementação, o que impede discussões sobre tópicos de MQ. O estudo concentra-se na forma como a MQ é ofertada nos cursos de graduação, analisando três aspectos: tempo didático, momento de oferta e conteúdos abordados com maior ênfase. A investigação identificou 88 cursos, totalizando 100 disciplinas—entre obrigatórias e optativas—que contemplam temas de MQ. Constatou-se que, na região sudeste, aproximadamente 78% dos cursos incluem essa área como componente curricular específico. Entretanto, destaca-se a necessidade de criação de disciplinas dedicadas exclusivamente à MQ, já que grande parte das matérias de física moderna aborda simultaneamente outros tópicos, como a relatividade geral e restrita. Além disso, verificou-se que os conteúdos relacionados à MQ em geral não contemplam discussões metodológicas, afetando diretamente a reflexão conceitual e pedagógica na formação de futuros professores.

Em uma dissertação do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF), Almeida (2022) propõe uma sequência de ensino-aprendizagem (SEA) para a discussão de postulados da MQ em uma turma do 3º ano do Ensino Médio. Utilizando um experimento de baixo custo para ensinar a lei de Malus, a proposta visa problematizar a natureza determinística representada pela mecânica clássica e a interpretação probabilística da MQ. A implementação da sequência didática contou

com aulas expositivas dialogadas, nas quais a docente apresentou e discutiu com os estudantes do que trata a teoria quântica, de forma introdutória. Conforme destaca a pesquisa, foram trabalhados temas como a equação de Maxwell, polarização da luz, lei de Malus, experimento de Stern-Gerlach e os postulados da MQ. Nesse contexto, a SEA se mostrou uma ferramenta capaz de aproximar os alunos dos fenômenos físicos, por meio da atividade experimental, facilitando a elaboração de hipóteses e considerações a respeito dos conceitos estudados.

Moura (2024) investigou a potencialidade do uso de artigos publicados sobre o ensino de física quântica para a inserção do tema no Ensino Médio. A pesquisa categorizou e classificou artigos sobre o assunto na Revista Brasileira de Ensino de Física e no Caderno Brasileiro de Ensino de Física e desenvolveu um material didático, em formato de *E-book*, intitulado “Física Quântica no Ensino Médio: abordagens, metodologias e uma sugestão de Módulos Didáticos”. A partir da seleção dos artigos, fundamentou-se uma sequência didática baseada na Teoria Antropológica do Didático, com foco para a formação de professores. A pesquisa com artigos sugerindo aplicações, ferramentas de ensino e propostas didáticas apontou para um aprendizado dos licenciandos em relação a conceitos de MQ e metodologias de ensino consideradas eficazes para esses conteúdos. A autora argumenta que os licenciandos foram capazes de preparar sequências em forma de Módulos Didáticos para o ensino de tópicos de MQ.

Arelado aos desafios apresentados, existe ainda a onda de desinformação e conteúdos pseudocientíficos que utilizam a teoria quântica como imagem para disseminar falsas informações a respeito do assunto. De acordo com Saito (2019), o fenômeno conhecido como “misticismo quântico” assola a *internet* e faz uso de diferentes conceitos e interpretações que extrapolam a física quântica. Eventualmente, a veiculação de informações desse tipo pode alcançar os estudantes, colaborando para falsas visões sobre conteúdos estudados pela MQ moderna e impactando diretamente na educação científica. Esse fenômeno abre espaço para discussões sobre a natureza da ciência, sobre os fundamentos da física quântica e suas implicações para a educação (Saito, 2021; Lima e Bailas, 2025). Essa visão idealista e espiritualista relacionada ao estudo da teoria quântica emerge, particularmente, da interpretação de von Neumann-Wigner, que sustenta que a consciência do observador influencia no colapso da função de onda. Embora tenha sido proposta originalmente por von Neumann e reformulada por Wigner, essa interpretação tomou maiores proporções com autores como Henry Stapp e Amit Goswami, físicos de formação e proponentes do espiritualismo quântico. Abordagens como estas, acabam disseminando interpretações idealistas da realidade que não são sustentadas pelo formalismo da MQ, conforme ressalta Pessoa Jr (2001, 2011).

Diante do exposto, ressalta-se a importância de pesquisas que tenham como foco uma abordagem centrada na formação de professores, também e inclusive, no âmbito da pós-graduação, visando uma educação científica crítica e de qualidade, especialmente no âmbito da teoria quântica.

Metodologia

O presente estudo caracteriza-se como uma revisão sistemática de trabalhos presentes em duas bibliotecas específicas da pós-graduação brasileira: a Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e o Catálogo de Teses e Dissertações da Capes. A pesquisa foi delineada para identificar e analisar produções acadêmicas oriundas da pós-graduação sobre a interseção entre a MQ, HFC e NdC no contexto do ensino. O rigor metodológico buscou minimizar vieses e garantir a transparência do processo de seleção e análise dos dados. Optou-se por focar exclusivamente em dissertações de mestrado e teses de doutorado, justificando o escopo da pesquisa no âmbito da formação de professores e pesquisadores, excluindo produções como artigos em periódicos, trabalhos apresentados em eventos e monografias de especializações.

Procedimento de Levantamento Bibliográfico

O levantamento bibliográfico foi realizado por meio da busca direta de teses e dissertações, no período de 2010 a 2024, nas seguintes plataformas de acervo digital: Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e Catálogo de Teses e Dissertações da Capes. Essas bases foram escolhidas por serem repositórios relevantes para a pesquisa em educação e ensino de ciências no Brasil.

A estratégia de busca envolveu a combinação das seguintes palavras-chave: *Ensino de Mecânica Quântica; História e Filosofia da Teoria Quântica; Natureza da Ciência e Teoria Quântica*. A busca foi realizada por meio de títulos e resumos. Em casos de dúvidas sobre a relevância do trabalho, a leitura integral foi realizada para confirmar a sua inclusão. Esse procedimento garantiu uma triagem rigorosa dos documentos.

Seleção dos Estudos

A busca inicial, realizada nas bases BDTD e Catálogo CAPES no período de 2010 a 2024, resultou em um total de 55 pesquisas que mencionavam os descritores selecionados. Desse total, 44 consistiam em dissertações e 11 eram teses. Na primeira etapa de triagem, verificou-se que 9 dissertações não puderam ser acessadas (oito por não estarem disponibilizadas em formato digital e uma por não possuir autorização de divulgação). Assim, o *corpus* de trabalhos potencialmente elegíveis foi reduzido para 46 pesquisas (35 dissertações e 11 teses).

Para a seleção final, foram aplicados os seguintes critérios:

Critérios de inclusão:

- Formato: teses de doutorado e dissertações de mestrado;
- Foco principal: o trabalho deveria ter como foco o ensino de tópicos de MQ;
- Abordagem: o estudo deveria, obrigatoriamente, incorporar elementos da HFC e/ou discussões sobre NdC.

Crêterios de exclusão:

- Formato: artigos de periódicos, livros, capítulos de livros ou anais de eventos;
- Foco secundário: trabalhos que apenas mencionavam MQ, mas não a tinham como foco central;
- Ausência de conexão: Produções que não explicitavam a conexão com HFC ou NdC.

A aplicação desses cr terios, levou à exclusão de 33 trabalhos do *corpus* elegível. Esta exclusão foi detalhada em 31 dissertações e 2 teses por não atenderem aos cr terios de Foco Principal ou Abordagem. Após essa triagem, o número de trabalhos remanescentes foi reduzido a 13.

Uma análise aprofundada da leitura integral dos resumos e textos destes 13 trabalhos identificou 2 produções de doutorado que foram descartadas por não contemplarem a MQ como foco central ou por apresentarem ligações tangenciais com HFC e NdC. Excluídos esses 2 trabalhos, o *corpus* final de análise foi composto por 11 trabalhos de p s-graduação (sete teses e quatro dissertações). A Figura 1 detalha o fluxo de seleção dos estudos, desde a busca inicial nas bases de dados até a definição do *corpus* final de análise.

Figura 1*Processo de Triagem e Seleção dos Estudos*

Etapas de seleção	Descrição da Ação	Exclusões	Inclusões
Busca Inicial	Pesquisa nas bases BDTD e Catálogo CAPES (2010–2024) com os descritores selecionados.	-	55 (44 Dissertações + 11 Teses)
Triagem de Acessibilidade	Verificação da disponibilidade dos trabalhos em formato digital.	9 Dissertações (Não acessíveis ou sem autorização de divulgação).	46 (35 Dissertações + 11 Teses)
Aplicação dos Crêterios de Elegibilidade	Análise de Título, Resumo e Palavras-chave com base nos Crêterios de Inclusão (Foco Principal em MQ e Abordagem HFC/NdC) e Crêterios de Exclusão.	33 Trabalhos (31 Dissertações + 2 Teses) por não atenderem aos cr�terios de Foco Principal ou Abordagem.	13 trabalhos
Análise Aprofundada	Leitura integral dos 13 trabalhos remanescentes.	2 trabalhos (teses de doutorado) por apresentarem ligações tangenciais com HFC/NdC ou não terem MQ como foco central	11 Trabalhos
Corpus de Análise Final	Trabalhos elegíveis e alinhados � questão de pesquisa.	-	11 Trabalhos

Análise dos Dados

Os trabalhos selecionados foram submetidos à Análise de Conteúdo Qualitativa, segundo as diretrizes de Bardin (2016), com o objetivo de identificar e categorizar os principais temas, abordagens e contribuições. A metodologia seguiu as três fases propostas pela autora:

1) Pré-Análise: consistiu na leitura flutuante para a extração de dados e a sistematização descritiva do *corpus*.

2) Exploração do material: envolveu uma leitura aprofundada para identificar padrões e recorrências nos temas e nas estratégias pedagógicas.

3) Tratamento dos resultados e Inferência: nesta fase, as categorias temáticas surgiram de forma indutiva (ou emergente) a partir do material explorado.

As categorias temáticas identificadas foram:

- Abordagens de HFC no Ensino da Mecânica Quântica: focando em como episódios históricos e debates filosóficos da MQ promovem implicações educacionais.
- Dimensões da Natureza da Ciência: centrando em aspectos da NdC que são explicitamente abordados ou desenvolvidos por meio do ensino de MQ.
- Impacto no entendimento conceitual e epistemológico dos alunos: avaliando as contribuições dos estudos para uma compreensão conceitual da MQ e para o desenvolvimento de visões mais sofisticadas de NdC/ciência pelos estudantes.
- Metodologias Didáticas e Propostas de Intervenção: detalhando as estratégias de ensino e os materiais didáticos propostos ou avaliados nos trabalhos.
- Percepções e desafios de professores e estudantes: investigando visões e obstáculos enfrentados pelos atores envolvidos no processo de ensino-aprendizagem.

O conjunto final de categorias foi construído de modo a garantir os princípios de exclusão mútua (cada elemento pertence a uma única categoria) e homogeneidade (um único princípio de classificação). A análise prosseguiu com a sistematização dos achados de cada estudo dentro dessas categorias, permitindo uma discussão pormenorizada das tendências, lacunas e implicações para a pesquisa e a prática pedagógica.

Resultados

Um sumário geral dos 11 trabalhos incluídos nesta revisão é apresentado nas Figuras 2 e 3. A distribuição temporal dos estudos, no período de 2010 a 2024, não aponta para uma tendência clara de crescimento contínuo. Embora se observem momentos de maior incidência de produção em 2012 (2 trabalhos), 2016 (2 trabalhos) e 2020 (2 trabalhos), os demais anos apresentam uma contribuição mais esparsa, indicando que a produção acadêmica sobre o tema ocorre de forma pontual. As Figuras 2 e 3 detalham características de cada estudo, incluindo autor, ano, tipo de publicação, foco temático e aspectos de HFC e NdC abordados.

Figura 2*Síntese dos estudos incluídos na revisão*

Ano	Autor	Tipo de Publicação	Título	Foco Temático Principal	Aspectos de HFC/ NdC Abordados
2010	Murr, C. E.	Dissertação Programa de Pós-Graduação em Filosofia do Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal de Santa Catarina	Física Quântica e objetividade científica. Algumas ideias filosóficas de Erwin Schrödinger	Filosofia da Ciência, Interpretações da MQ	Objetividade científica, papel do observador, realismo
2012	Santos, M. A. B.	Tese Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física e História da Ciência, Universidade Federal da Bahia	A Mecânica Quântica no processo de formação de licenciandos em Física: um estudo de caso	Ensino de MQ, Formação de Professores	NdC (natureza provisória do conhecimento, papel da interpretação)
2012	Pereira, A. P.	Tese Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Distribuição conceitual no ensino de física quântica: uma aproximação sociocultural às teorias de mudança conceitual	Ensino de MQ, HFC, NdC – com ênfase em aspectos epistemológicos e socioculturais do conhecimento científico	Controvérsia histórica (complementaridade, incerteza, Copenhagen); NdC (mudança conceitual, pluralidade, construção social)
2013	Rocha, T. U.	Dissertação Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e em Matemática, Setor de Ciências Exatas, Universidade Federal do Paraná	As contribuições da história e filosofia da ciência para o ensino de física quântica na educação básica	Ensino de MQ; HFC e NdC; Proposta Didática	HFC (ferramenta para aprendizagem, desenvolvimento de conceitos); NdC (epistemologia contemporânea, natureza do trabalho científico)

Figura 2

Síntese dos estudos incluídos na revisão (continuação)

Ano	Autor	Tipo de Publicação	Título	Foco Temático Principal	Aspectos de HFC/ NdC Abordados
2016	Melo, S. G. E	Tese Programa de Pós-Graduação em Ensino das Ciências, Universidade Federal Rural de Pernambuco	A Natureza da Ciência na formação inicial de professores de Física: contribuições do teatro científico-experimental	Natureza da Ciência (NdC); Ensino de MQ; HFC/Filosofia da Ciência; Metodologias Didáticas (Teatro Científico)	NdC (noções emergentes); Filosofia da Ciência (anarquismo epistemológico de Feyerabend); HFC (contribuição para NdC)
2016	Sé, D. S.	Dissertação Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Estadual da Feira de Santana	Ensinando tópicos de natureza da ciência a partir de uma história do conceito de fóton no ensino médio	Natureza da Ciência (NdC); HFC; Ensino de MQ (Física Moderna e Contemporânea - FMC); Proposta Didática	NdC (construção social da ciência, pensamento crítico); HFC (evolução do conceito de fóton, realismo vs. antirealismo, discussões epistemológicas)
2018	Mussato, G.	Tese Programa de Pós-Graduação em Educação em Ciências e Matemática, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul	Ontologia e Epistemologia na educação científica	Filosofia da Ciência (Ontologia e Epistemologia); Ensino de MQ; Natureza da Ciência (NdC) - com ênfase em conceitos fundamentais da MQ	Ontologia (fóton, dupla-fenda, dualidade, materialidade); Epistemologia (incerteza, determinismo, conhecimento absoluto, verdade); Diálogo ciência-filosofia
2020	Hoernig, A. F.	Dissertação Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul	Física Quântica e História e Filosofia da Ciência: conceitos, vida, crenças e religiosidade como motivadores na aprendizagem de física	Ensino de MQ; HFC/Filosofia da Ciência; Natureza da Ciência (NdC); Aspectos Socioculturais e Pessoais da Ciência	HFC (viés histórico-filosófico, Feyerabend); NdC (críticidade, relação ciência-crenças/ religiosidade, papel do pesquisador)

Figura 2*Síntese dos estudos incluídos na revisão (continuação)*

Ano	Autor	Tipo de Publicação	Título	Foco Temático Principal	Aspectos de HFC/ NdC Abordados
2020	Souza, R. S.	Tese Programa de Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História das Ciências, Universidade Federal da Bahia	Análise de uma proposta didática para o ensino de mecânica quântica por meio de contextualização histórica na formação de professores de Física	Ensino de MQ; HFC; Formação de Professores; Proposta Didática	HFC (contextualização histórica, narrativa histórica-temática, perspectiva reflexiva e construtiva); Aprendizagem de MQ
2022	Silva, A. A.	Tese Programa de Pós-Graduação em Filosofia, Universidade de São Paulo	Teoria Quântica de Campos, Filosofia e História na Perspectiva de Thomas S. Kuhn	HFC (Filosofia de Thomas Kuhn); Ensino de MQ (TQC); Natureza da Ciência (NdC)	Filosofia de Thomas Kuhn (revolução científica, paradigma); Desenvolvimento histórico da TQC; NdC (rupturas conceituais, não dogmatismo)
2024	Basilio, G. S.	Tese Programa de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências, Universidade de São Paulo	Causalidade e Mecânica Quântica: o desenvolvimento do trabalho de Erwin Schrödinger (1918–1926)	HFC (História Cultural; Filosofia da Causalidade); Ensino de MQ; NdC (papel do cientista, contexto sociocultural)	HFC (análise histórico-filosófica da causalidade em Schrödinger, História Cultural); NdC (cientistas como agentes ativos, influência cultural/intelectual na construção do conhecimento)

Figura 3

Conteúdos de Mecânica Quântica dos trabalhos analisados

Trabalho	Conteúdo
Murr (2010)	Dualidade onda-partícula; Experimento das duas fendas para a luz/para elétrons; O gato de Schrödinger; Interpretações da Teoria Quântica. Objetividade Científica; Schrödinger x Copenhague; Princípio da Incerteza; Causalidade; Distinção sujeito/objeto
Santos (2012)	Discussão dos conceitos fundamentais da MQ; Interpretações da MQ; Objeções de Einstein aos princípios da Complementaridade e da Incerteza; O problema da medição; O paradoxo do gato de Schrödinger; O teorema de Bell; O experimento de Aspect.
Pereira (2012)	Interpretação de Copenhague e Princípio da Incerteza
Rocha (2013)	Estrutura da Matéria; Modelo atômico de Bohr; Princípios fundamentais da mecânica quântica
Melo (2016)	Complementaridade e Princípio da Incerteza
Sé (2016)	Fóton, efeito fotoelétrico, efeito Comptom, dualidade onda-partícula, experimento HBT e noções de óptica quântica
Mussato (2018)	Conceito de fóton, dupla fenda, complementaridade e incerteza.
Hoernig (2020)	Aspectos gerais da mecânica quântica
Souza (2020)	Completude, não localidade e realismo; Notação de Dirac; Postulados da MQ; Experimento de Stern-Gerlach; Paradoxo EPR e o Paradoxo do gato; Desigualdades de Bell; Problema da Medida; As diversas interpretações da MQ.
Silva (2022)	Teoria Quântica de Campos
Basilio (2024)	Causalidade e equação de Schrödinger

Das onze produções, oito têm como tema central o ensino de MQ, enquanto três (Basílio, 2024; Murr, 2010; Mussato, 2018) investigam abordagens filosóficas e conceituais que, em maior ou menor grau, trazem alguma implicação para o ensino. A análise permitiu identificar padrões e tendências nas abordagens didáticas e nos temas explorados. A seguir, são destacados os principais achados em relação ao papel da HFC e da NdC no ensino e o aprofundamento em aspectos filosóficos e epistemológicos da MQ.

O papel da HFC e da NdC na formação de licenciandos e professores emerge como um tema central em quatro trabalhos (Melo, 2016; Pereira, 2012; Santos, 2012; Souza, 2020) que discutem diretamente a formação de educadores para abordar esses tópicos no âmbito do ensino de MQ, de forma mais crítica e reflexiva. Além disso, verifica-se que a utilização de sequências didáticas, tanto em pesquisas com implementação no Ensino Médio como na graduação, surge como a estratégia mais comum para integrar HFC

e NdC nas aulas de MQ (Melo, 2016; Sé, 2016; Silva, 2018; Souza, 2020). Compondo essa metodologia de ensino, destacam-se o uso de narrativas históricas, debates sobre controvérsias e o teatro científico experimental. Isso revela um esforço para ir além da teoria e utilizar elementos da HFC em práticas pedagógicas.

Ademais, observa-se uma tendência de aprofundamento em aspectos filosóficos da MQ, com três estudos voltados a temas como objetividade, ontologia e causalidade (Basílio, 2024; Murr, 2010; Mussato, 2018), que exploram as epistemologias de autores da moderna filosofia da ciência, como Thomas S. Kuhn (Silva, 2022) e Paul K. Feyerabend (Hoernig, 2020; Melo, 2016) para discutir a história e a filosofia da MQ e subsidiar o ensino dos conceitos de física quântica.

Em relação aos conteúdos de MQ, a Figura 2 mostra que as pesquisas estão menos preocupadas em abordar o tema de forma puramente matemática e mais interessadas em usar aspectos conceituais, filosóficos e experimentais como ponto de partida para a discussão em sala de aula. Observa-se uma tendência com foco nas interpretações e nos aspectos filosóficos da MQ, com a dualidade onda-partícula sendo abordada em oito trabalhos. Apesar de não serem o ponto principal de alguns estudos e, por isso, não constarem diretamente na Figura 2, os princípios da complementaridade de Bohr e da incerteza de Heisenberg são os temas mais mencionados no conjunto dos trabalhos analisados.

Outros temas, como o paradoxo Einstein-Podolsky-Rosen (EPR), a desigualdade de Bell e o experimento de Aspect ainda são abordados em menor escala por pelo menos três trabalhos (Murr, 2010; Santos, 2012; Souza, 2020). Contudo, a ênfase recai sobre experimentos clássicos, como o experimento da dupla fenda e o paradoxo do gato de Schrödinger, que servem como ferramentas didáticas fundamentais para abordar a estranheza da MQ.

Três dos onze trabalhos (Hoernig, 2020; Rocha, 2013, Sé, 2016) concentram-se em tópicos como a estrutura da matéria, o modelo atômico de Bohr e princípios fundamentais da MQ, conteúdos relevantes à compreensão de temas mais avançados.

Discussão

Esta seção discute os resultados apresentados na presente revisão, interpretando os achados e suas implicações para o ensino de MQ. A análise, organizada por categorias temáticas, explora as abordagens, contribuições e lacunas da literatura sobre a HFC e a NdC em sala de aula. Embora as categorias apresentem relações de similaridade entre si, para fins de análise e de organização, adotou-se uma divisão entre elas para favorecer uma descrição lógica e detalhada acerca de cada tópico.

Os estudos analisados indicam que o aumento de produções envolvendo o interesse pelo ensino de MQ está atrelado ao avanço do desenvolvimento tecnológico. A justificativa para a escolha do tema parece permear a importância da compreensão de fenômenos estudados pela teoria quântica com a finalidade de conhecer, ainda que de forma mais geral, o papel da física no contexto do avanço da tecnologia.

Em um cenário dinâmico, as pesquisas são guiadas por referenciais metodológicos distintos e que, em sua maioria, prezam pela utilização de ferramentas auxiliares para a discussão dos conceitos em sala de aula. Entre elas, destacam-se textos de apoio, modelos computacionais, como *softwares* para a visualização de fenômenos, questionários, documentários e abordagens menos usuais, como o uso de uma peça de teatro. É possível perceber a existência de uma pluralidade e potencialidade de diversos suportes pedagógicos utilizados na abordagem dos conceitos da quântica.

Abordagens de HFC no Ensino da Mecânica Quântica

A totalidade dos estudos selecionados, isto é, as sete teses e quatro dissertações, sublinha a importância da aproximação de temas de MQ com abordagens de HFC. Consta-se que, em Murr (2010), Mussato (2018) e Basílio (2024), o foco principal recai em promover questões teórico-filosóficas e de cunho conceitual. Efetivamente, discussões do ponto de vista histórico-filosófico podem contribuir para uma aprendizagem conceitual, fomentando debates profícuos no âmbito da educação científica (Freire Jr., 2025; Matthews, 1989; Vilas Boas et al., 2013).

Em Hoernig (2020), Melo (2016), Rocha (2013), Sé (2016) e Souza (2020), observou-se uma tendência em desenvolver sequências de ensino e implementá-las. As sequências envolviam discussões com foco nos seguintes temas: controvérsias históricas a respeito da postura dos físicos envolvidos na concepção de assuntos como a complementaridade, o princípio da incerteza, causalidade e equação de Schrödinger.

Ainda que alguns trabalhos não explorem uma proposta didática explícita com implementação em sala de aula ou discussões sobre possíveis sequências didáticas, eles revelam que uma análise filosófica da MQ pode ser um recurso fundamental para um ensino contextualizado. Pelo menos três estudos (Basílio, 2024; Murr, 2010; Mussato, 2018) abordam a filosofia da ciência, utilizando o desenvolvimento da teoria quântica como pano de fundo. Essas pesquisas viabilizam discussões a respeito do processo de humanização da ciência, ao considerar que as teorias não surgem de modo linear, mas sim que se configuram como resultados de debates, influências culturais, aportes e decisões filosóficas de figuras envolvidas no processo de construção da teoria quântica. O fato de pelo menos três trabalhos se concentrarem teoricamente em uma análise filosófica, sem uma proposta didática de intervenção, sugere que programas de pós-graduação com diferentes focos/eixos centrais de pesquisa (vide Figura 1) também acolhem investigações de natureza epistemológica bastante específicas como parte da formação e podem trazer implicações educacionais.

Dentro da totalidade dos trabalhos investigados, é possível inferir que, em sua maioria, não apresentam um interesse específico pelo desenvolvimento histórico da teoria quântica, particularmente, entre 1925 e 1927, e que se estende até 1935. O decorrer destes anos marca um momento efervescente entre os debates teóricos, conceituais e matemáticos da construção da MQ moderna (Jammer, 1974; Pessoa Jr, 2006). A escassez de abordagens didáticas e de discussões sobre este período no ensino de MQ reforçam, em

certa medida, a valorização de um ensino pautado na apresentação de modelos prontos dentro da ciência, sem espaço para maiores considerações a respeito do desenvolvimento da teoria. Apenas quatro estudos (Hoernig, 2020; Mussato, 2018; Rocha, 2013; Sé, 2016) demonstram um interesse histórico pela velha MQ. A carência de pesquisas relativas ao período acima mencionado é inquietante. Por que esse período de grande impacto não somente na ciência como em todas as aplicações que se sucederam a partir desse momento, não suscita maiores considerações em abordagens envolvendo HFC para o ensino de MQ? Essa lacuna sugere a necessidade de futuras pesquisas, especialmente em nível de pós-graduação (mas não somente), que explorem este período crucial para fornecer aos professores, pesquisadores e a comunidade educacional em geral uma visão menos “pronta” e mais crítica sobre o desenvolvimento da MQ.

Dimensões da Natureza da Ciência (NdC)

A fim de estabelecer as principais abordagens envolvendo as dimensões da NdC nos trabalhos selecionados, a análise focou nas seguintes subcategorias emergentes: os aspectos da NdC mais abordados (provisório, subjetivo, empírico); a conexão com a filosofia da ciência, seus autores e conceitos; a qualidade e profundidade da abordagem de NdC (reflexiva vs superficial); e a articulação entre filosofia da ciência e NdC para o ensino de MQ.

Os estudos selecionados abordam a NdC de forma diversificada. Em geral, há um claro interesse por questões relativas aos aspectos subjetivos, sociais e culturais da produção científica, distanciando-se de uma visão tradicional de ciência puramente empírica. Essa predominância é evidenciada em trabalhos que exploram ativamente as nuances do conhecimento científico, questionando a visão clássica e simplista da ciência como algo puramente objetivo e linear (Basilio, 2024; Melo, 2016; Murr, 2010; Mussato, 2018; Rocha, 2013; Santos, 2012; Silva, 2022; Souza, 2020).

Além disso, é notável a conexão com a filosofia da ciência, demonstrando uma articulação entre conceitos da NdC e a filosofia da ciência para o ensino de MQ. O interesse por essa abordagem também se reflete no uso de autores como Feyerabend (Hoernig, 2020; Melo, 2016) e Kuhn (Silva, 2022), que trazem à tona reflexões sobre o processo de construção do conhecimento.

Embora a maioria dos trabalhos apresente uma proposta didática de intervenção, a análise revela uma importante lacuna crítica nessas abordagens: a ausência de discussões mais específicas e fundamentadas sobre NdC no ensino de MQ. Essa crítica é explicitada por alguns dos estudos, que apontam o problema de abordagens essencialmente instrumentalistas (Santos, 2012; Souza, 2020) e reforçada na análise de Cuesta Beltrán e Suárez (2017), que indicam um interesse dos estudantes pelos tópicos e suas relações, envolvendo o caráter social, histórico e cultural no decorrer da construção teórica da MQ.

Apesar desse problema, as estratégias adotadas por Rocha (2013), Melo (2016), Sé (2016), Hoernig (2020) e Souza (2020) integram discussões sobre o caráter não-linear do conhecimento científico, identificando disputas teóricas entre os cientistas, conflitos internos acerca da compreensão de alguns fenômenos e conceitos quânticos e suas principais divergências. Essa abordagem está em consonância com os princípios defendidos, já há algum tempo, pela literatura na área (Clary & Wandersee, 2013; Fouad et al., 2015; Forato, Martins & Pietrocola, 2012; Lederman, 2013), que destaca que uma abordagem reflexiva e historicamente contextualizada permite um ensino de ciências mais eficaz. Embora os autores desses artigos não abordem especificamente a MQ, os achados indicam que as mesmas estratégias são aplicáveis e relevantes para um tópico tão complexo como a teoria quântica.

A análise dos estudos revela que, para uma abordagem mais crítica da NdC no ensino de MQ, a conexão com a moderna filosofia da ciência se mostra um caminho promissor, como evidenciado pelos estudos que utilizam autores como Feyerabend e Kuhn para aprofundar o debate sobre a articulação entre esses domínios. Nesse contexto, perguntas-chave emergem, como: (a) É possível integrar discussões significativas envolvendo elementos de NdC nas aulas de física, e na teoria quântica em particular, sem uma relação, ou referência mais explícita, com a moderna filosofia da ciência? Em caso afirmativo, quais fundamentos apoiariam tal iniciativa? A natureza desse questionamento implica em um processo ainda mais intrincado envolvendo o ensino da teoria quântica, pois a dependência de um aporte filosófico mais estruturado pode ser uma barreira para professores com uma formação mais técnica, limitando a aplicação de abordagens de NdC a um nicho restrito de pesquisadores.

A relevância do contexto histórico na abordagem de NdC também se fez presente em alguns estudos, nos quais a revisão de eventos e disputas conceituais se mostrou essencial para aprofundar o debate. Nessa perspectiva, torna-se relevante indagar: (b) como fomentar debates relacionados a elementos de NdC em cursos de MQ sem uma revisão histórica, ainda que mínima e adequada, sobre o tema? A inclusão de abordagens históricas no ensino da teoria quântica não se limita a um adorno acadêmico; a história da ciência configura uma estrutura pela qual é possível compreender a relevância dos debates conceituais e epistemológicos acerca do tema a ser estudado em sala de aula. A revisão histórica, portanto, se configura como o prisma essencial pelo qual a NdC se torna inteligível e debatível em profundidade.

A articulação entre elementos de HFC e NdC pode levantar questões práticas para o contexto da sala de aula. Os trabalhos que conseguiram conectar com sucesso esses domínios apontam para indícios de um entendimento mais completo sobre o desenvolvimento de alguns dos conceitos estudados pela teoria quântica. Nesse sentido, cabe a seguinte questão: (c) Até que ponto seria possível compreender significativamente os processos históricos do desenvolvimento da teoria quântica sem uma abordagem pautada em elementos de HFC articuladas à NdC? A questão é complexa e a partir dela é possível refletir sobre o papel de discussões envolvendo análises históricas,

epistemológicas e sociológicas para o ensino de MQ. No entanto, a análise do *corpus* de estudos mostra uma lacuna relativa à falta de pesquisas no âmbito da pós-graduação, com tendências a discussões superficiais sobre NdC.

Evidentemente, as relações dessas reflexões e a importância de uma abordagem que se distancie do ensino pautado na máxima “*shut up and calculate*” perpassa pela formação de professores. A complexidade dessas abordagens filosóficas, embora crucial para a NdC, sugere que é na pós-graduação o espaço no qual o professor pode se aprofundar e dominar conceitos que podem ser discutidos, posteriormente, em sala de aula. A forma como a MQ é ensinada tem um impacto significativo não somente no entendimento dos alunos, mas em como a própria disciplina de física é percebida.

Impacto no Entendimento Conceitual e Epistemológico dos Alunos

Para compreender as implicações relativas ao entendimento conceitual e epistemológico dos alunos, delineou-se três subcategorias principais: os conteúdos de MQ mais frequentemente discutidos, os conteúdos filosóficos e da NdC abordados e as dificuldades conceituais e epistemológicas identificadas.

Em geral, os estudos analisados revelam uma alta recorrência de temas fundamentais. Os conteúdos mais explorados são aqueles de natureza mais filosófica e interpretativa, como a dualidade onda-partícula, o princípio da incerteza e o princípio da complementaridade, presente em seis estudos (Melo, 2016; Murr, 2010; Mussato, 2018; Pereira, 2012; Santos, 2012; Sé, 2016). Destaca-se o interesse em paradoxos conceituais, como o gato de Schrödinger, mencionado em três estudos (Murr, 2010; Santos, 2012; Souza, 2020). Ao considerar as possibilidades de ensino dos conceitos mencionados pelos estudos, é premente pensar em como a predominância de temas filosóficos e interpretativos da teoria quântica pode explicitar condições para uma possível e desejável integração de HFC e NdC nas propostas didáticas, visando uma melhor compreensão conceitual.

Novamente, identificou-se uma forte inclinação para discussões que envolvem HFC, particularmente pelo uso das epistemologias de Kuhn e Feyerabend. Essa tendência é evidente em trabalhos como o de Silva (2022), que utiliza o conceito de paradigma, revoluções e não dogmatismo para analisar a construção da TQC. Por sua vez, Melo (2016) e Hoernig (2020) se baseiam em Feyerabend e nas discussões sobre realismo x antirrealismo para questionar o dogmatismo e a neutralidade da ciência. O fato de os estudos se aproximarem desses autores e de suas ideias indica uma visão de NdC que valoriza o conhecimento científico como provisório, o que se alinha com a necessidade de afastar uma visão dogmática das aulas, particularmente relevante para o ensino da MQ.

As pesquisas com implementação ou observação em sala de aula mostram que as principais dificuldades relativas ao ensino da teoria quântica não se limitam ao formalismo matemático, mas se estendem a desafios conceituais e epistemológicos, que revelam problemas que os estudantes enfrentam para entender os conceitos de MQ, como os que são elencados abaixo:

- **Natureza do Fóton e Comprimento de Onda:** Há uma notável dificuldade em compreender a natureza do fóton e em associá-lo ao conceito de comprimento de onda.
- **Dualidade Onda-Partícula e Princípios Fundamentais:** A assimilação da dualidade onda-partícula se mostra difícil. Isso se estende à compreensão dos princípios da complementaridade e da incerteza, que são fundamentais na MQ.
- **Diferença entre Observáveis Clássicos e Quânticos:** Os alunos têm problemas para distinguir um observável clássico de um observável quântico, o que prejudica a interpretação de estado quântico, especialmente no que tange à compreensão do princípio de superposição de estados quânticos.

Os estudos apontam para a resistência inicial dos alunos em discutir o papel da subjetividade na física, demonstrando a dificuldade em aceitar uma visão de ciência menos objetiva, como explica Melo (2016). Santos (2012) aborda a falta de conexão com discussões a respeito da HFC e NdC, apontando o impacto negativo no entendimento conceitual de futuros professores para lidar com esses temas nas aulas de MQ. Sé (2016) indica a dificuldade dos alunos em compreender os postulados da MQ, que desafiam suas concepções intuitivas. Ainda assim, apesar desses achados, alguns estudos não deixam suficientemente claras quais são as principais dificuldades conceituais e epistemológicas para debater esses tópicos em sala de aula. Santos (2012) e Sé (2016) sugerem que as dificuldades conceituais dos estudantes não são apenas inerentes ao conteúdo, mas sim potencializadas pela lacuna na formação de professores para integrar HFC e NdC. Essa deficiência na formação inicial justifica a importância e o foco dos trabalhos de pós-graduação analisados.

Esses achados sinalizam a necessidade de propostas didáticas contextuais nas aulas de MQ, bem como discussões que evidenciem a importância de não focar apenas no formalismo matemático e em uma apresentação de história utilitarista da teoria quântica. De fato, conforme apontam Garritz (2013), Souza et al., (2021), a integração de HFC e NdC nas aulas, impulsionada pela discussão dos temas mais filosóficos, pode promover um entendimento mais profundo e menos limitado/equivocado da teoria, bem como uma visão conceitual e epistemológica mais sofisticada.

Metodologias Didáticas e Propostas de Intervenção

Para investigar as principais abordagens pedagógicas presentes nos estudos considerados, estruturou-se a análise em subcategorias, como estratégias de ensino abordadas em sala de aula, uso de experimentos virtuais, recursos didáticos utilizados e ênfase experimental vs. teórica. Vale ressaltar que os estudos utilizam diferentes enfoques metodológicos e ferramentas de ensino, situando-os, por vezes, em mais de uma subcategoria.

A análise das estratégias didáticas e dos recursos de ensino indicou uma ênfase no uso de materiais textuais e audiovisuais, com destaque para três trabalhos (Hoernig, 2020; Rocha, 2013; Souza, 2020) que recorrem ativamente a textos sobre a história da teoria quântica, utilizando excertos de referências primárias e secundárias para contextualizar o conteúdo em sala de aula. Essa estratégia permite levantar discussões sobre disputas de ideias entre cientistas e como isso moldou a teoria. Outras ferramentas, como artigos de divulgação científica (Sé, 2016; Souza, 2020) e documentários (Sé, 2016) também foram utilizadas para captar a atenção e interesse dos alunos. Melo (2016) destaca-se ao utilizar o teatro científico experimental como recurso, com base em referências primárias e secundárias que narram discussões entre cientistas como Niels Bohr (1885–1962) e Werner Heisenberg (1901–1976).

Em contraste com as abordagens textuais, a análise revelou que a ênfase experimental é pouco recorrente nas propostas didáticas. Os poucos exemplos se dividem entre experiências práticas, como as investigadas por Hoernig (2020), que utiliza um microscópio e um experimento de difração de elétrons, e o uso de simuladores para experiências virtuais, como o experimento da dupla fenda, explorado por Souza (2020).

Em linhas gerais, a presente revisão aponta para um uso limitado de metodologias didáticas de intervenção no ensino de MQ. Os dados sugerem que as propostas existentes privilegiam estratégias baseadas em recursos textuais, como referências primárias (textos originais de cientistas) e secundárias, como artigos acadêmicos, em detrimento de uma ênfase experimental mais robusta. É possível constatar que o aprofundamento filosófico e histórico sobre o tema na formação de professores demanda o uso de textos. O foco em propostas didáticas de natureza textual/histórica apresentado pelos estudos investigados, reflete a necessidade de primeiro estruturar a base epistemológica do professor (em nível avançado) antes de focar na intervenção puramente prática/experimental.

Percepções e Desafios de Professores e Estudantes

A presente revisão analisou quais estudos descrevem as percepções e os desafios de professores e estudantes envolvidos em pesquisas com implementação em sala de aula. Os resultados dessa categoria temática revelam as principais abordagens e a ausência delas, em relação aos elementos que impactam no ensino e aprendizado de MQ.

Pelo menos um estudo (Santos, 2012) faz uma crítica contundente ao ensino de física em cursos de licenciatura essencialmente centrados no formalismo matemático da teoria quântica. Essa abordagem, ao inviabilizar discussões histórico-filosóficas e discussões sobre NdC, influencia negativamente a visão de futuros professores. De maneira similar, essa percepção corrobora os apontamentos de Olavo et al. (2022), que ressaltam a pertinência de um ensino de física que integre o conteúdo matemático a uma análise epistemológica, possibilitando um maior interesse pelos conteúdos abordados na disciplina.

Nesse sentido, a literatura da área (Greca & Freire Jr., 2014; Karakostas & Hadzidaki, 2005; Schulz & Kalman, 2023) destaca as contribuições de uma abordagem histórico-filosófica para o ensino de MQ. Dos onze estudos, dois apontam para resultados profícuos em relação ao entendimento e à participação de alunos. Melo (2016), com sua proposta de teatro científico experimental, demonstrou que as reflexões sobre o processo de construção do conhecimento instigam a curiosidade dos estudantes. De forma semelhante, Sé (2016) enfatiza que o uso de HFC pode ser um elemento motivador que promove uma postura mais ativa dos alunos em discussões sobre a NdC.

Apesar da ampla literatura que defende a inserção de conteúdos de HFC aliados às discussões sobre a NdC (Allchin, 2017; Clough & Olson, 2008; Gil-Pérez et al., 2001; Höttecke & Silva, 2011; Silva & Moura, 2008; Stadermann & Goedhart, 2021), a presente revisão, em teses e dissertações, revela um ponto importante: a pouca discussão em relação às dificuldades enfrentadas, em geral, por professores e estudantes para debater acerca do papel da NdC no ensino de MQ.

Conclusões e Implicações

A presente revisão sistemática na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD) e no Catálogo de Teses e Dissertações da Capes buscou mapear e responder como a Mecânica Quântica (MQ), aliada à História e Filosofia da Ciência (HFC) e à Natureza da Ciência (NdC), tem sido abordada em teses e dissertações no Brasil entre os anos de 2010 a 2024. A análise do *corpus* — composto por 11 trabalhos e categorizado pela Análise de Conteúdo de Bardin (2016) — delineou um panorama geral das tendências e lacunas para o ensino de MQ. O número reduzido de estudos, por si só, aponta para uma notória escassez de pesquisas sobre o tema na área.

A investigação revela uma exploração majoritária de temas conceituais clássicos no estudo da MQ, como dualidade onda-partícula, princípio da incerteza e complementaridade. Embora o uso de HFC e NdC se faça presente, a análise aponta para uma tendência ao instrumentalismo da teoria, onde os aspectos filosóficos e contextuais são abordados superficialmente, inibindo discussões aprofundadas sobre as controvérsias e disputas conceituais que marcaram o desenvolvimento da MQ.

Primeiramente, os resultados confirmam um potencial da HFC como um elemento motivador e conceitual para o debate sobre MQ em sala de aula, dividindo-se entre a análise filosófica pura e propostas de intervenção didática. No entanto, as categorias elaboradas a partir de Bardin (2016) destacam que o uso de HFC e as discussões sobre NdC abre ampla margem para a exploração de períodos históricos cruciais que impactaram o desenvolvimento da MQ, sobretudo a década entre 1925 e 1935, período essencial de construção de ideias e interpretações que contribuíram para a estrutura da teoria. Embora haja interesse nos conceitos desenvolvidos nesse período, as pesquisas negligenciam as discussões histórico-filosóficas que configuraram as bases do formalismo matemático e conceitual da MQ. Essa ausência levanta a questão de como defender o uso da HFC sem abordar esse momento crucial para o desenvolvimento da teoria.

Em segundo lugar, no que tange à NdC, observa-se uma forte inclinação para o debate de aspectos socioculturais da produção científica, articulada ao uso de referenciais da moderna filosofia da ciência (como Kuhn e Feyerabend). Apesar disso, as abordagens sobre NdC ainda são, por vezes, superficiais ou dependentes de um aporte filosófico excessivamente complexo. Em terceiro lugar, a predominância de estratégias didáticas textuais — que priorizam a leitura de referências primárias e secundárias — demonstra a importância da pós-graduação em contribuir para estruturar a base epistemológica de professores para trabalhar temas de MQ em sala.

Os resultados encontrados convergem para um ponto de inflexão no entendimento das dificuldades de ensino e aprendizagem da MQ: os desafios não se limitam ao formalismo matemático, mas residem essencialmente em questões conceituais e epistemológicas. A alta recorrência de temas filosóficos nos estudos investigados confirma que a integração de HFC e NdC tende a ser um caminho promissor para promover um entendimento mais completo da teoria. No entanto, a complexidade desse aporte filosófico, aliado à lacuna na formação inicial de professores, reforça a importância central da pós-graduação como um espaço fundamental para o aprofundamento e a reflexão sobre esses temas.

É nessa perspectiva crítica que se manifesta a relevância social da pesquisa, pois o ensino contextualizado de MQ por meio da NdC configura-se como uma ferramenta indispensável para o letramento científico, fornecendo aos estudantes a capacidade reflexiva necessária para combater *fake news* e charlatanismos que se apropriam indevidamente da teoria quântica.

Com base nessas reflexões, sugere-se que futuras investigações e práticas de ensino possam se concentrar em: (i) aprofundar o uso de tópicos de NdC, explorando a produção do conhecimento científico, tal qual a MQ, como um processo em contínuo estágio de evolução; (ii) explorar os acontecimentos históricos, como a proposta da mecânica matricial de Heisenberg e a mecânica ondulatória de Schrödinger, bem como o debate Einstein-Bohr sobre a completude da MQ; (iii) expandir o uso de referências primárias e secundárias que permitam um estudo histórico e filosófico robusto, superando o viés instrumentalista. Reconhece-se que a limitação da pesquisa reside no escopo das bases de dados (focadas apenas em teses e dissertações brasileiras), mas acredita-se que este mapeamento oferece um bom ponto de partida para novas intervenções, desejáveis e necessárias, (mas não somente) no âmbito da pós-graduação.

Reitera-se que não há uma preocupação sistemática, dentro da literatura do ensino de física, em investigar as produções sobre o tema na pós-graduação. Os resultados aqui apresentados e discutidos sublinham, portanto, a necessidade de um permanente e contínuo esforço no tratamento didático de um tema complexo como a MQ. Diante das lacunas e das tendências identificadas, observa-se a urgência de que a pesquisa sobre o ensino de MQ aliada à HFC e à NdC seja intensificada em todos os níveis de ensino. Afinal, a sala de aula carece de profissionais que integrem essas discussões para a formação de sujeitos mais críticos, capazes de compreender o contexto histórico e o significado dos conceitos, entendendo o papel não linear do desenvolvimento científico e as inúmeras contribuições da teoria quântica para o avanço da tecnologia.

Contribuições dos Autores

Administração do projeto: Nunes, G. E., Peduzzi, L. O. Q.; **Análise formal:** Nunes, G. E., Peduzzi, L. O. Q.; **Conceituação:** Nunes, G. E., Peduzzi, L. O. Q.; **Gerenciamento de dados:** Nunes, G. E., Peduzzi, L. O. Q.; **Escrita — Primeira versão:** Nunes, G. E., Peduzzi, L. O. Q.; **Escrita — Revisão e edição:** Nunes, G. E., Peduzzi, L. O. Q.; **Investigação:** Nunes, G. E.; **Metodologia:** Nunes, G. E., Peduzzi, L. O. Q.; **Obtenção de financiamento:** Nunes, G. E., Peduzzi, L. O. Q.; **Supervisão:** Peduzzi, L. O. Q.; **Validação:** Nunes, G. E., Peduzzi, L. O. Q.; **Visualização:** Nunes, G. E., Peduzzi, L. O. Q.

Disponibilidade de Dados de Pesquisa

Todos os conteúdos subjacentes ao texto da pesquisa estão contidos no manuscrito.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior — Brasil (CAPES) — Código de Financiamento 001. À Profa. Dra. Anabel Cardoso Raicik, pelos apontamentos e valiosas sugestões para a melhoria do texto. À Profa. Elen Maria Santos Peduzzi pela revisão normativa e ortográfica do trabalho.

Referências

- Allchin, D. (2017). Casos de investigação histórica para o aprendizado da natureza da ciência. *Cadernos de História da Ciência*, 13(2), 101–126. <https://doi.org/10.47692/cadhiscien.2017.v13.33802>
- Abd-El-Khalick, F. (2013). Teaching with and about nature of science, and science teacher knowledge domains. *Science & Education*, 22(9), 2087–2107. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9520-2>
- Almeida, F. da S. (2022). *Sequência de ensino-aprendizagem para ensinar os postulados da mecânica quântica no ensino médio* (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal Fluminense). Repositório Institucional da Universidade Federal Fluminense. <http://app.uff.br/riuff/handle/1/25934>
- Bagdonas, A., Zanetic, J., & Gurgel, I. (2017). Quem descobriu a expansão do universo? Disputas de prioridade como forma de ensinar cosmologia com uso da história e filosofia da ciência. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 39(2), e2602. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2016-0257>
- Bardin, L. (2016). *Análise de conteúdo*. Edições 70.

- Basilio, S. G. (2024). *Causalidade e mecânica quântica: o desenvolvimento do trabalho de Erwin Schrödinger (1918–1926)* (Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo). Biblioteca Digital de Teses e Dissertações. <https://doi.org/10.11606/T.81.2024.tde-13032025-162439>
- Bertoni, E. D., & Londero, L. (2021). A mecânica quântica nos currículos de Licenciatura em Física do sudeste do Brasil. *Revista de Enseñanza de la Física*, 33(2), 205–212. <https://doi.org/10.55767/2451.6007.v33.n2.35207>
- Bitzenbauer, P. (2021). Quantum physics education research over the last two decades: A bibliometric analysis. *Education Sciences*, 11(11), 699. <https://doi.org/10.3390/educsci11110699>
- Boaro, D. A., & Massoni, N. T. (2018). O uso de elementos da história e filosofia da ciência (HFC) em aulas de física em uma disciplina de estágio supervisionado: alguns resultados de pesquisa. *Investigações em Ensino de Ciências*, 23(3), 110–144. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2018v23n3p110>
- Clary, R., & Wandersee, J. (2013). ARGUING HISTORY: Teaching historical scientific controversies to engage students in discourse and the nature of science. *The Science Teacher*, 80(5), 39–43. <http://www.jstor.org/stable/43557815>
- Cuesta Beltrán, Y. J., & Suárez, C. J. M. (2017). Algunas reflexiones en torno a las implicaciones de la NdC en educación en ciencias: el caso de la enseñanza de la mecánica cuántica. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 40(1), 921–927. <https://revistas.upn.edu.co/index.php/TED/article/view/4834>
- Cuesta Beltrán, Y. J. (2018). Estado del arte: tendencias en la enseñanza de la física cuántica entre 1986 y 2016. *Tecné, Episteme y Didaxis: TED*, 44, 147–166. <https://doi.org/10.17227/ted.num44-8995>
- Clough, M. P., & Olson, J. K. (2008). Teaching and assessing the nature of science: An introduction. *Science & Education*, 17(2), 143–145. <https://doi.org/10.1007/s11191-007-9083-9>
- Damasio, F., & Peduzzi, L.O.Q. (2017). História e filosofia da ciência na educação científica: para quê?. *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 19, 77–95. <https://doi.org/10.1590/1983-21172017190103>
- Forato, T. C. de M., Pietrocola, M., & Martins, R. de A. (2011). Historiografia e natureza da ciência na sala de aula. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(1), 27–59. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n1p27>
- Forato, T. C. de M., Martins, R. de A., & Pietrocola, M. (2012). History and nature of science in high school: Building up parameters to guide educational materials and strategies. *Science & Education*, 21(5), 657–682. <https://doi.org/10.1007/s11191-011-9419-3>

- Freire Jr., O. (2025). História e ensino de física nas páginas da RBEF: anotações sobre o passado recente e desafios atuais. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 47(1), e20240434. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0434>
- Fouad, K. E., Masters, H., & Akerson, V. L. (2015). Using history of science to teach nature of science to elementary students. *Science & Education*, 24(9), 1103–1140. <https://doi.org/10.1007/s11191-015-9783-5>
- Galvão, L. Q., da Rosa, S. E., & Cruz, C. (2024). Possibilidades e desafios da inserção da computação quântica no ensino médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 46, e20240213. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2024-0213>
- Garritz, A. (2013). Teaching the philosophical interpretations of quantum mechanics and quantum chemistry through controversies. *Science & Education*, 22(7), 1787–1807. <https://doi.org/10.1007/s11191-012-9444-x>
- Gil-Pérez, D., Fernández, M. I., Alís, J. C., Cachapuz, A., & Praia, J. (2001). Para uma imagem não deformada do trabalho científico. *Ciência & Educação*, 7(2), 125–153. <https://doi.org/10.1590/S1516-73132001000200001>
- Greca, I. M., & Moreira, M. A. (2001). Uma revisão da literatura sobre estudos relativos ao ensino da mecânica quântica introdutória. *Investigações em Ensino de Ciências*, 6(1), 29–56. <https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/view/585>
- Greca, I. M., Moreira, M. A., & Herscovitz, V. E. (2001). Uma proposta para o ensino de Mecânica Quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 23(4), 444–457. <https://doi.org/10.1590/S0102-47442001000400010>
- Greca, I. M., & Freire Jr., O. (2014). Teaching introductory quantum physics and chemistry: caveats from the history of science and science teaching to the training of modern chemists. *Chemistry Education Research and Practice*, 15(3), 286–296. <https://doi.org/10.1039/C4RP00006D>
- Hadzidaki, P. (2008). The Heisenberg microscope: a powerful instructional tool for promoting meta-cognitive and meta-scientific thinking on quantum mechanics and the “nature of science”. *Science & Education*, 17(6), 613–639. <https://doi.org/10.1007/s11191-006-9057-3>
- Hoernig, A. F. (2020). *Física quântica e história e filosofia da ciência: conceitos, vida, crenças e religiosidade como motivadores na aprendizagem de física* (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul). LUME – Repositório Digital da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://hdl.handle.net/10183/211521>
- Höttecke, D., & Silva, C.C. (2011). Why Implementing History and Philosophy in School Science Education is a Challenge: An Analysis of Obstacles. *Science & Education*, 20, 293–316. <https://doi.org/10.1007/s11191-010-9285-4>

- Jammer, M. (1974). *The philosophy of quantum mechanics: The interpretations of quantum mechanics in historical perspective*. John Wiley and Sons.
- Kalkanis, G., Hadzidak, P., & Stavrou, D. (2003). An instructional model for a radical conceptual change towards quantum mechanics concepts. *Science Education*, 87(2), 257–280. <https://doi.org/10.1002/sce.10033>
- Karakostas, V., & Hadzidaki, P. (2005). Realism vs. Constructivism in Contemporary Physics: The Impact of the Debate on the Understanding of Quantum Theory and its Instructional Process. *Science & Education*, 14(7–8), 607–629. <https://doi.org/10.1007/s11191-004-5156-1>
- Lederman, N., & Abd-El-Khalick, F. (1998). Avoiding De-Natured Science: Activities that Promote Understandings of the Nature of Science. In W. F. McComas (Org.), *The Nature of Science in Science Education: Rationales and Strategies* (pp. 83–126). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/0-306-47215-5_5
- Lederman, N. G. (2013). Nature of science: Past, present, and future. In S. K. Abell & N. G. Lederman (Eds.), *Handbook of research on science education* (pp. 831–879). Routledge.
- Leone, N. M., & Leite, Y. U. F. (2012). O início da carreira docente: implicações à formação inicial de professores. *Revista Eletrônica Pesquiseduca*, 3(6), 236–259. <https://periodicos.unisantos.br/pesquiseduca/article/view/195>
- Lima, N. W., & Bailas, G. (2025). Para além das confusões quânticas: uma oportunidade para aprender ciências e sobre ciências. *A Física na Escola*, 23(spe), e240281. <https://doi.org/10.59727/fne.v23iEspecial.281>
- Martins, A. F. P. (2012). História, filosofia, ensino de ciências e formação de professores: desafios, obstáculos e possibilidades. *Educação: Teoria e Prática*, 22(40), 5–25. <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/educacao/article/view/6268>
- Massoni, N. T., & Alves-Brito, A. (2021). Física Quântica e o Ensino de Física na contemporaneidade: reflexões à luz da história e da epistemologia revisada de Popper. *Experiências em Ensino de Ciências*, 16(1), 331–348. <http://hdl.handle.net/10183/233067>
- Matthews, M. R. (1989). History, philosophy, and science teaching: A brief review. *Synthese*, 80(1), 1–7. <https://doi.org/10.1007/BF00869945>
- Matthews, M. R. (1994). Historia, filosofía y enseñanza de las ciencias: la aproximación actual. *Enseñanza de las Ciencias: Revista de Investigación y Experiencias Didácticas*, 12(2), 255–277. <https://raco.cat/index.php/Ensenanza/article/view/21364>
- McComas, W. F., Almazroa, H., & Clough, M. P. (1998). The nature of science in science education: An introduction. *Science & Education*, 7, 511–532. <https://doi.org/10.1023/A:1008642510402>

- Melo, É. G. S. de. (2016). *A natureza da ciência na formação inicial de professores de física: contribuições do teatro científico-experimental* (Tese de Doutorado, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, Pernambuco). Biblioteca Digital de Teses e Dissertações. <http://www.tede2.ufrpe.br:8080/tede2/handle/tede2/7456>
- Moura, B. A. (2014). O que é natureza da ciência e qual sua relação com a história e filosofia da ciência?. *Revista Brasileira de História da Ciência*, 7(1), 32–46. <https://doi.org/10.53727/rbhc.v7i1.237>
- Moura, V. P. de S. (2024). *Física quântica no ensino médio: reflexão sobre artigos publicados e o potencial para formação de professores* (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Minas Gerais). Repositório Institucional da Universidade Federal de Uberlândia. <https://repositorio.ufu.br/handle/123456789/43295>
- Morais, A., & Guerra, A. (2013). História e a filosofia da ciência: caminhos para a inserção de temas física moderna no estudo de energia na primeira série do Ensino Médio. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 35(1), 1–9. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172013000100018>
- Murr, C. E. (2010). *Física quântica e objetividade científica: algumas ideias filosóficas de Erwin Schrödinger* (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina). RI – Repositório Institucional da Universidade Federal de Santa Catarina. <http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/93910>
- Mussato, G. A. (2018). *Ontologia e epistemologia na educação científica* (Tese de Doutorado, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul). Biblioteca Digital de Teses e Dissertações. <https://tede2.pucrs.br/tede2/handle/tede/8408>
- Olavo, L. S. F., Ferreira, M., & Amorim, R. G. G. de A. (2022). A questão dos modelos no ensino de Mecânica Quântica: a equação de Schrödinger para partículas de spin semi-inteiro. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 44, e20220109. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2022-0109>
- Pantoja, G. C. F., Moreira, M. A., & Herscovitz, V. E. (2011). Uma revisão da literatura sobre a pesquisa em ensino de mecânica quântica no período de 1999 a 2009. *Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia*, 4(3), 1–34. <http://dx.doi.org/10.3895/S1982-873X2011000300001>
- Peduzzi, L. O. Q., & Raicik, A. C. (2020). Sobre a Natureza da Ciência: Asserções comentadas para uma articulação com a História da Ciência. *Investigações em Ensino de Ciências*, 25(2), 19–55. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2020v25n2p19>
- Pereira, A. P. de. (2012). *Distribuição conceitual no ensino de física quântica: uma aproximação sociocultural às teorias de mudança conceitual* (Tese de Doutorado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul). LUME – Repositório Digital da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. <http://hdl.handle.net/10183/72101>

- Pessoa Jr., O. (2001). O sujeito na física quântica. In E. C. Oliveira (Org.), *Epistemologia, lógica e filosofia da linguagem–Ensaio de filosofia contemporânea* (pp. 157–196). Núcleo de Estudos Filosóficos – UEFS.
- Pessoa Jr., O. (2006). Introdução histórica à teoria quântica, aos seus problemas de fundamento e às suas interpretações. *Caderno de Física da UEFS*, 4(1–2), 89–114.
- Pessoa Jr., O. (2011). O fenômeno cultural do misticismo quântico. In O. Freire Jr., O. Pessoa Jr., & J. L. Bromberg (Orgs.), *Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais* (pp. 281–304). EdUEPB; Livraria da Física.
- Popper, K. R. A. (1972). *A lógica da descoberta científica*. Editora Cultrix.
- Raíck, A. C. (2020). Nos embalos da HFC: discussões sobre a experimentação e aspectos relativos à NdC em UEPS. *Experiências em Ensino de Ciências*, 15(2), 164–197.
- Raíck, A. C. (2024). Explorando a Natureza da Ciência na entrevista cedida por Niels Bohr em 1962: implicações ao ensino de ciências. *Ciência & Educação (Bauru)*, 30, e24020. <https://doi.org/10.1590/1516-731320240020>
- Rocha, C. R., Herscovitz, V. E., & Moreira, M. A. (2018). Uma revisão da literatura em publicações de 2010 a 2016 sobre o ensino de conceitos fundamentais de mecânica quântica. *Latin-American Journal of Physics Education*, 12(1), 1306–1–1306–20. http://www.lajpe.org/mar18/1306_Rocha.pdf
- Rocha, T. U. (2013). *As contribuições da história e filosofia da ciência para ensino de física quântica na educação básica* (Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná). Biblioteca Digital de Teses e Dissertações. <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/31084>
- Saito, M. T. (2019). *A gênese e o desenvolvimento da relação entre Física Quântica e misticismo e suas contribuições para o Ensino de Ciências* (Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo). Biblioteca Digital de Teses e Dissertações da Universidade de São Paulo. <https://doi.org/10.11606/T.81.2019.tde-10062019-121225>
- Saito, M. T. (2021). O Fenômeno Cultural do Misticismo Quântico: possibilidades e perspectivas de investigação. *Revista Brasileira de Ensino de Ciências e Matemática*, 4(3), 1101–1129. <https://doi.org/10.5335/rbecm.v4i3.12903>
- Santos, M. A. B. (2012). *A Mecânica Quântica no processo de formação de licenciandos em Física: um estudo de caso* [Tese de Doutorado]. Universidade Federal da Bahia.
- Santos, R. A. dos., & Eugenio, B. G. (2025). Concepções epistemológicas da história e filosofia da ciência para o ensino de ciências. *Ensino & Multidisciplinaridade*, 10(1), e0224, 1–18. <https://doi.org/10.18764/2447-5777v10n1.2024.02>
- Schulz, R. M., & Kalman, C. S. (2023). Philosophy of Physics: Its Significance for Teaching and Learning. In M. F. Taşar, & P. R. L. Heron (Eds.), *The international handbook of physics education research: special topics* (Cap. 12). AIP Publishing. <https://doi.org/10.1063/9780735425514>

- Sé, D. S. (2016). *Ensinando tópicos de natureza da ciência a partir de uma história do conceito de fóton no ensino médio* (Dissertação de Mestrado, Universidade Estadual de Feira de Santana, Feira de Santana, Bahia). Biblioteca Digital de Teses e Dissertações. <http://tede2.uefs.br:8080/handle/tede/891>
- Silva, A. A. (2022). *Teoria quântica dos campos: filosofia e história na perspectiva de Thomas S. Kuhn* (Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo). Biblioteca Digital de Teses e Dissertações. <https://doi.org/10.11606/T.8.2022.tde-29072024-151014>
- Silva, A. C., & de Almeida, M. J. P. M. (2011). Física quântica no ensino médio: o que dizem as pesquisas. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 28(3), 624–652. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2011v28n3p624>
- Silva, C. C., & Moura, B. A. (2008). A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 30(1), 1602–1. <https://doi.org/10.1590/S1806-11172008000100016>
- Stadermann, H. K. E., & Goedhart, M. J. (2021). Why and how teachers use nature of science in teaching quantum physics: Research on the use of an ecological teaching intervention in upper secondary schools. *Physical Review Physics Education Research*, 17(2), 020132. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.020132>
- Souza, L. B. P. (2023). Formação continuada: Qualificação Profissional Docente. *Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação*, 9(5), 2249–2261. <https://doi.org/10.51891/rease.v9i5.9969>
- Souza, R. S., Greca, I. M., Silva, I. L., & Teixeira, E. S. (2021). Ensino de Mecânica Quântica na licenciatura em Física por meio da História e Filosofia da Ciência. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 38(2), 914–944. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2021.e74157>
- Souza, R. S., Greca, I. M., Silva, I. L., & Teixeira, E. S. (2021). Reflexões sobre o ensino de mecânica quântica nos cursos de graduação em física a partir de revisão sistemática. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 20, 1363–1391. <https://doi.org/10.28976/1984-2686rbpec2020u13631391>
- Souza, R. S. (2020). *Análise de uma proposta didática para o ensino de mecânica quântica por meio de contextualização histórica na formação de professores de física* (Tese de Doutorado, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia). Repositório Institucional da Universidade Federal da Bahia. <https://repositorio.ufba.br/handle/ri/32637>
- Vilas Boas, A., da Silva, M. R., Passos, M. M., & Arruda, S. de M. (2013). História da ciência e natureza da ciência: debates e consensos. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 30(2), 287–322. <https://doi.org/10.5007/2175-7941.2013v30n2p287>



Guilherme Emerim Nunes

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
guicubers@gmail.com



Luiz Orlando de Quadro Peduzzi

Universidade Federal de Santa Catarina
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil
luizpeduzzi@gmail.com



Editora Responsável: Sylvania Sousa do Nascimento

Revisado por: Elen Maria Santos Peduzzi

Periódico financiado pela Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências — ABRAPEC



Manifestação de Atenção às Boas Práticas Científicas e Isenção de Interesse e de Responsabilidade

Os autores declaram ser responsáveis pelo zelo aos procedimentos éticos previstos em lei, não haver qualquer interesse concorrente ou pessoais que possam influenciar o trabalho relatado no texto e assumem a responsabilidade pelo conteúdo e originalidade integral ou parcial.

Copyright (c) 2026 Guilherme Emerim Nunes, Luiz Orlando de Quadro Peduzzi



Este texto é licenciado pela **Creative Commons CC BY 4.0 License**

Você tem o direito de Compartilhar (copiar e redistribuir o material em qualquer suporte ou formato para qualquer fim, mesmo que comercial) e Adaptar (remixar, transformar, e criar a partir do material para qualquer fim, mesmo que comercial). De acordo com os termos seguintes:

Atribuição: Você deve dar o crédito apropriado, prover um link para a licença e indicar se mudanças foram feitas. Você deve fazê-lo em qualquer circunstância razoável, mas de nenhuma maneira que sugira que o licenciante apoia você ou o seu uso.

Sem restrições adicionais: Você não pode aplicar termos jurídicos ou medidas de caráter tecnológico que restrinjam legalmente outros de fazerem algo que a licença permita.
