

A MECÂNICA QUÂNTICA NOS LIVROS DIDÁTICOS APROVADOS PELO PNLD 2018 E 2021: UM COMPARATIVO A PARTIR DA TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA

Quantum Mechanics in Textbooks Approved by PNLD 2018 and PNLD 2021: A Comparative Analysis from the Didactic Transposition

Ana Caroline Thiara dos Santos [carolthiara16@outlook.com]

Maxwell Roger da Purificação Siqueira [mrpsiqueira@uesc.br]

Universidade Estadual de Santa Cruz

Campus Soane Nazaré de Andrade, Rodovia Jorge Amado, km 16, Bairro Salobrinho.

Recebido em: 22/08/2023

Aceito em: 16/11/2023

Resumo

A importância da Física Moderna e Contemporânea (FMC) na educação básica tem sido um foco de pesquisas. Nesse contexto, uma preocupação central é a abordagem dos conteúdos nos livros didáticos (LD), amplamente utilizados em sala de aula. Para compreender como os LD abordam a FMC, recorre-se à Teoria da Transposição Didática (TD) de Yves Chevallard, que identifica as diferenças entre o conhecimento científico sistematizado e o conhecimento levado para a sala de aula. No Brasil, a mudança da Base Nacional Comum Curricular (BNCC) resultou na reformulação dos LD para atender às novas competências e habilidades. O presente trabalho tem como objetivo analisar, com base na TD, as mudanças na abordagem da Mecânica Quântica (MQ) nos LD do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) em 2018 e 2021. A análise utilizou da Análise de Conteúdo de Bardin e examinou atributos da TD, como despersonalização, dessincronização e descontextualização. Assim, foram analisadas 12 coleções de Física do PNLD 2018 e 7 coleções de Ciências da Natureza do PNLD 2021, totalizando 18 coleções que abordam a MQ. A exceção foi a coleção Conexões do PNLD 2021, que não incluiu a MQ. A análise mostrou uma redução geral na quantidade de páginas dedicadas à MQ na edição de 2021. E comparando os atributos da TD nas coleções de 2018 e 2021, percebeu-se que os LD de 2021 apresentaram maior redução na abordagem histórica e atributos mais evidentes. Desse modo, essas mudanças empobreceram os conteúdos, omitindo o contexto de desenvolvimento e as motivações por trás das investigações da MQ, bem como excluindo referências a diversos cientistas. Outro aspecto identificado foi a redução significativa na quantidade de atividades propostas nos LD de 2021 em comparação com os de 2018. Assim, destacamos que as mudanças na abordagem da MQ nos LD do PNLD 2021, sob a perspectiva da TD, indicam maior ênfase em distorções históricas, simplificação dos conteúdos e aproximação com abordagem feita na Física Clássica, o que pode impactar negativamente a compreensão e o interesse dos estudantes em relação à FMC.

Palavras-chave: Transposição didática; Física Moderna e Contemporânea; PNLD.

Abstract

The significance of Modern and Contemporary Physics (MCP) in basic education has been a subject of research focus. Within this context, a central concern is the approach to content in textbooks (TB), widely utilized in classroom settings. To comprehend how TBs address MCP, Yves Chevallard's Theory of Didactic Transposition (DT) is employed, which identifies differences between systematic scientific knowledge and knowledge conveyed in the classroom. In Brazil, changes in the National Common Curricular Base (NCCB) led to the reformulation of TBs to meet new competencies and skills. This study aims to analyze, based on DT, the changes in the approach to Quantum Mechanics (QM) in textbooks from the PNLD in 2018 and 2021. The analysis utilized Bardin's Content Analysis

and examined DT attributes such as depersonalization, desynchronization, and decontextualization. Thus, 12 Physics collections from the PNLD 2018 and 7 Natural Sciences collections from the PNLD 2021 were analyzed, totaling 18 collections addressing QM. The exception was the "Conexões" collection from PNLD 2021, which did not include QM. The analysis revealed an overall reduction in the number of pages dedicated to QM in the 2021 edition. When comparing DT attributes in the 2018 and 2021 collections, it was observed that the 2021 textbooks displayed a greater reduction in historical approach and more evident attributes. Consequently, these changes impoverished the content, omitting developmental context and motivations behind QM investigations, as well as excluding references to various scientists. Another identified aspect was a significant decrease in the number of proposed activities in the 2021 textbooks compared to those in 2018. Thus, we emphasize that changes in the approach to QM in the 2021 PNLD, from the perspective of DT, indicate a greater emphasis on historical distortions, content simplification, and alignment with Classical Physics approaches, potentially negatively impacting students' comprehension and interest in MCP.

Keywords: Didactic Transposition; Modern and Contemporary Physics; PNLD.

Introdução

A importância do ensino de Física na educação básica é foco das pesquisas em ensino por muitas décadas sendo associada a necessidade de compreensão de fenômenos da natureza, tecnologias que permeiam a vida humana e também visando uma alfabetização científica para os sujeitos. No entanto, tem-se apontado uma Física pautada no ensino tradicional no qual os alunos devem resolver exercícios repetitivos que de forma alguma conseguem traduzir a riqueza fenomenológica da Física para a sala de aula. (Moreira, M.A, 2000)

Nesse contexto, fundamenta-se também certa preocupação com a atualização curricular dos fenômenos abordados nesse processo, visto que a maior parte dos conteúdos presentes na educação básica ainda fazem parte daqueles descobertos e explorados entre os séculos XVII e XIX. Esse aspecto aponta a necessidade da inserção dos fenômenos descobertos após esse período contemplados pela Física Moderna e Contemporânea (FMC) (Ostermann; moreira, 2000; Autor X2, 2017; Autor X2, 2020; Autor X1, 2022). Assim, no processo de inserção preocupa-se com os materiais que fazem parte desse processo como os livros didáticos (LD) apontado como o principal material utilizado por professores e alunos em sala de aula (Dominguini, L., 2010; Delizoicov, D.; Angotti, J. A.; Pernambuco, M. M.; Schivani, M., et al., 2020).

No Brasil, desde 2009, os livros didáticos do ensino médio distribuídos pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), que na sua edição de 2018 distribuiu 10.813.428 milhões de exemplares de Física divididos em 12 coleções com 3 volumes cada uma, sendo este o último PNLD anterior a formulação da nova Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Após a implementação da nova BNCC os LD foram reformulados a fim de contemplar as competências e habilidades inferidas pela BNCC, passando a ser dividido por áreas sendo a Física parte da área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias. Portanto, os LD do PNLD 2021 seguem a reformulação da BNCC e foram divididos em 7 coleções de Ciências da Natureza e suas Tecnologias com 6 volumes cada uma. Com a reformulação, a Física passou a dividir os LD com conteúdos de Biologia e Química.

A partir dessas mudanças e da importância dos LD para o ensino de Física e inserção da FMC, torna-se necessário compreender se FMC está presente nos novos livros distribuídos pelo PNLD 2021 e como está sendo abordada. Para tanto, nosso foco está voltado para um dos tópicos de FMC, a Mecânica Quântica (MQ). A relevância do ensino da MQ é atrelada pela pesquisa por sua importância no desenvolvimento das tecnologias, pela nova visão de mundo oriunda do seu desenvolvimento e

mais recentemente como combate a onda de pseudociência que utiliza dos seus conceitos para fundamentar teorias que de nada tem relação com o conhecimento construído a partir dela. (Ostermann, F.; Prado, S. D, 2005; Cruz, F.F.S., 2010; Machado, S.S.L.; Cruz, F.F.S. 2016; Krijtenburg-Lewerissa, K. et. al, 2017; Ayene, M. et. al, 2018; Pereira, A.M.L.; Siqueira, M. R. P., 2021).

A partir disso, Autor X1 (2022), trazem apontamentos sobre a Radiação de um Corpo Negro nos LD do PNLD 2018 sobre a inserção da FMC e da MQ. Tais apontamentos indicam uma abordagem ahistórica e aproblemática desses conteúdos, sendo abordados de modo semelhante a conteúdos da Física Clássica, por meio da ênfase em conteúdos e atividades algébricas. Outro aspecto apontado é a presença da FMC e da MQ no final dos últimos volumes o que prejudica sua inserção devido a carga horária reduzida destinada a Física na educação básica, ainda mais reduzida após implementação da nova BNCC.

Para compreender de que forma a MQ está sendo inserida nos LD e quais mudanças ocorreram devido a sua nova estrutura, utiliza-se da Teoria da Transposição (TD) (Chevallard, Y., 1991). A TD aponta as mudanças que ocorrem com o saber que parte dos cientistas após ser transformado em objeto de ensino e levado para a sala de aula ou presentes em ferramentas de ensino como os LD.

Assim, o objetivo desse trabalho é analisar de forma comparativa o conteúdo de MQ nos LD distribuídos pelo PNLD 2018 e PNLD 2021 a partir a Transposição Didática a fim de identificar as potencialidades e limitações da mudança de estrutura e suas implicações na inserção da MQ e da FMC.

Transposição Didática e o processo de textualização do saber

A Transposição Didática, conceito introduzido por Michel Verret em 1975 e posteriormente abordado por Yves Chevallard e Marie-Alberte Joshua, refere-se ao processo pelo qual o conhecimento científico é transformado em objeto de ensino. Essa abordagem inicialmente se concentrou em conhecimentos relacionados à matemática, mas também pode ser generalizada para compreender como os conhecimentos produzidos por cientistas se tornam adequados para o contexto escolar (Alves filho, J.P. 2000; Astolfi, J.P.; Develay, M., 2006).

Chevallard utiliza o termo "saber" para se referir ao objeto que passa por essas transformações. Ao longo do processo, o saber assume três níveis distintos, desde sua produção como conhecimento científico até sua adaptação para o ensino em uma escola. Esses três níveis são descritos como: saber sábio, saber a ensinar e saber ensinado.

Portanto, a Transposição Didática desempenha um papel fundamental na transformação do conhecimento científico em conhecimento escolar, possibilitando aos estudantes o acesso a essas informações de maneira apropriada ao contexto da educação básica. Suas bases teóricas e o reconhecimento dos três níveis do saber têm sido fundamentais para o avanço dos estudos na área da educação.

No processo que estabelece os três níveis para o saber, o primeiro deles é o saber sábio, que consiste no conhecimento produzido pelo cientista ao compreender a realidade. (Alves filho, J.P. 2000, p. 176).

O saber sábio refere-se ao conhecimento desenvolvido por cientistas, exemplificado em obras como "Óptica" de Isaac Newton, "A Evolução das Espécies" de Charles Darwin e "Sobre a eletrodinâmica dos corpos em movimento" de Albert Einstein. Essas obras se caracterizam como "saber sábio", mas ao serem transpostas para o contexto da educação básica, sofrem transformações em sua apresentação e linguagem, o que a Transposição Didática busca destacar (Alves filho, J.P. 2000). A transição do saber sábio para o saber a ensinar envolve uma descontextualização e

degradação do conhecimento original, resultando em um produto organizado e hierarquizado em grau de dificuldade. O saber a ensinar é o conhecimento presente nos livros didáticos e manuais de ensino, que possibilita aos alunos o acesso sistematizado ao conhecimento científico (Alves filho, J.P. 2000, p. 177).

No entanto, nem sempre o conteúdo dos materiais didáticos coincide com o que é ensinado em sala de aula. Quando os professores ensinam com base no saber a ensinar, surge o saber ensinado, que é influenciado por diversas fatores do ambiente escolar e social, resultando em possíveis diferenças em relação aos materiais didáticos (Brockington, G. & Pietrocola, M, 2005). Essa etapa de transição interna, denominada de transposição didática interna, ocorre desde o planejamento até a realização efetiva da aula (Alves filho, J.P., 2000, p. 177).

Assim, a Transposição Didática envolve os níveis do saber sábio, saber a ensinar e saber ensinado, e compreende tanto a transformação externa do conhecimento científico para o ensino quanto as adaptações internas realizadas pelos professores para ministrar as aulas (Carvajal, C.A.; Vásquez, J.C. 2012).

O processo de textualização do saber refere-se à transformação do conhecimento sábio em conhecimento a ser ensinado. Nesse contexto, Chevallard (1991) descreve as características da textualização do saber (TD) como descontextualização, dessincretização, despersonalização, publicidade, programabilidade e controle social da aprendizagem.

A descontextualização ocorre quando o conhecimento é separado dos problemas que lhe deram origem e, conseqüentemente, generalizado (Errobidart, N.C.G.; Gobora, S.T., 2011). Isso resulta em um conhecimento delimitado, com questões relacionadas ao seu ensino, mas desconectado do contexto original. Carvajal, C.A.; Vásquez, J.C. (2012) enfatizam que essa delimitação acarreta a perda do contexto em que o conhecimento foi criado, criando uma ruptura entre o conhecimento e sua origem.

A dessincretização, por sua vez, acontece quando o conhecimento é retirado de seu campo epistemológico e é dividido em campos de saber delimitados para práticas de aprendizagem especializadas (Chevallard, Y., 1991). As características ligadas ao processo científico são ocultadas, levando à visão equivocada de uma ciência construída de forma linear por gênios isolados, omitindo seu caráter humano.

A despersonalização ocorre quando o conhecimento é apresentado de forma impessoal e universal, ocultando os cientistas responsáveis por suas descobertas (Errobidart, N.C.G.; Gobora, S.T., 2011). O objetivo é eliminar as motivações pessoais e ideologias dos que produzem o conhecimento científico para torná-lo aplicável em contextos como o ambiente escolar.

A programabilidade refere-se à organização sistemática e sequencial dos conteúdos no material didático, estabelecida pelos professores no planejamento de aulas e pelos autores de livros didáticos (Chevallard, Y., 1991). Essa programação permite uma aquisição progressiva do conhecimento, visando à compreensão gradual do saber especializado.

Por fim, a publicidade permite destacar as finalidades e objetivos da transposição do conhecimento, bem como as definições usadas para a compreensão do saber recontextualizado, representando uma forma de controle social da aprendizagem (Errobidart, N.C.G.; Gobora, S.T., 2011). Nos livros didáticos, a disposição dos conteúdos também contribui para essa publicidade.

Essas características moldam a maneira como o conhecimento é apresentado e assimilado no ambiente educacional, influenciando a forma como os estudantes interagem com o conhecimento. E a partir da TD é possível traçar de que forma a textualização do saber ocorreu nos LD distribuídos pelo PNLD 2018 e 2021.

Percurso metodológico

A análise foi realizada nas 12 coleções distribuídas pelo PNLD 2018, cada uma delas possui 3 volumes e em 7 coleções distribuídas pelo PNLD 2021, cada uma delas possui 6 volumes. Para análise utilizaremos códigos. Assim, os livros analisados foram, PNLD 2018: Física, Bonjorno (Col. A1); Física, Aula por aula (Col. A2); Ser Protagonista (Col. A3); Conexões com a Física (Col.A4); Física p/ o Ensino Médio (Col.A5); Física, Helou (Col.A6); Física, Ciência e Tecnologia (Col.A7); Física, Contexto e Aplicações (Col.A8); Física em Contextos (Col.A9); Física, Interação e Tecnologia (Col.A10); Compreendendo a Física (Col.A11); Física, Guimarães (Col.A12) e no PNLD 2021: Lopes & Rosso (Col. B1); Conexões (Col. B2); Diálogo (Col. B3); Matéria, energia e vida: uma abordagem interdisciplinar (Col.B4); Moderna Plus (Col.B5); Multiversos (Col.B6); Ser Protagonista (Col.B7). Salientamos que a coleção Conexões – Ciências da natureza e suas tecnologias não fez parte da análise por não apresentar conteúdo de MQ.

A metodologia de pesquisa foi pautada em etapas e aspectos de análise. Na primeira etapa, nos dedicamos à compreensão do conhecimento relacionado a três episódios da MQ: Radiação de um corpo negro (RCN), Efeito fotoelétrico (EF) e Dualidade onda partícula (DOP). Para isso, utilizamos fontes secundárias de historiadores da ciência, pois eles são responsáveis por rastrear os processos de construção do conhecimento científico, com base nas fontes primárias.

Nessa fase, procedemos à leitura de diversos materiais, como livros, artigos e notas de aula, para traçar a história das investigações sobre os três episódios, desde sua descoberta e problematização inicial até a resolução do fenômeno. Essas obras permitiram analisar e compreender como ocorreu a transposição didática do saber sábio relacionada a MQ para os livros didáticos, que são fontes do conhecimento a ser ensinado. A escolha dos episódios se justifica pela sua maior frequência dentre os conteúdos de MQ abordados. Essa etapa é fundamental para a pesquisa, pois nos permite conhecer o desenvolvimento do tema e compará-lo com o que é encontrado nos livros didáticos.

A segunda etapa consistiu em duas partes: o levantamento de dados numéricos a partir de indicadores pré-definidos e a análise da transposição didática nas coleções, sendo esta última a abordagem qualitativa. No levantamento dos dados numéricos, utilizamos a análise de conteúdo proposta por Laurence Bardin em sua obra "Análise de Conteúdo" (1977). Essa análise emprega um conjunto de técnicas para a análise quantitativa de dados, seguindo procedimentos sistemáticos divididos em três etapas principais: pré-análise, exploração do material, tratamento de resultados, inferência e interpretação.

O levantamento dos dados numéricos foi iniciado na pré-análise, que compreende quatro etapas: leitura flutuante, escolha dos documentos, constituição do corpus e preparação do material. Estas etapas visam construir o corpus da pesquisa, ou seja, o conjunto de documentos submetidos à análise. Na segunda parte da segunda etapa, elaboramos indicadores para coletar dados nas coleções que apresentam os tópicos de MQ. Esses indicadores incluíram informações sobre o volume da coleção relacionado, páginas destinadas à MQ e atividades. A coleta desses dados foi feita de forma gradual e manual, começando com a análise do sumário dos livros para identificar a presença dos tópicos de interesse, seguida pela análise página a página.

Após o levantamento dos dados numéricos, realizamos a etapa de exploração do material, que consiste na “administração sistemática das decisões tomadas, quer se trate de procedimentos aplicados manualmente ou de operações efetuadas pelo ordenador” (Bardin, L., 1977, pp.101). Por fim, na etapa de resultados e discussões, tratamos as informações obtidas a partir dos indicadores selecionados, tornando-as significativas e válidas. Essa análise nos permitiu direcionar a abordagem qualitativa da transposição didática.

Na terceira etapa, realizamos uma análise da TD nos livros que abordam MQ. Para isso, observamos aspectos que evidenciam alguns atributos da Transposição Didática específicos aos episódios tornando-os categorias de análise para apontar a despersonalização, descontextualização e dessincretização. Para a RCN: Cita Kirchoff e traz contextualização com a termodinâmica? Evidencia a negação diante da teoria de Planck por parte da comunidade científica? Quais coleções citam apenas o Planck? Para o EF: Coleções que citam apenas Hertz e Einstein? Como é apresentada a proposta experimental de Millikan? Para a DOP destacamos as coleções que não trazem a problematização do século XVIII e abordam o Efeito Compton.

Resultados e Discussão

Análise das coleções

Na etapa do levantamento de dados numéricos constatamos que no PNLD 2018 a Col.A11 possui mais capítulos (3) destinados a MQ e maior quantidade de páginas (39). Enquanto a Col.A8 traz menor quantidade de páginas (8). Já no PNLD 2021 a Col.B4 traz a maior quantidade de páginas (23), enquanto a Col. B3 traz a menor quantidade de páginas (4). Além disso, acerca da quantidade de atividades o PNLD 2018 em suas 12 coleções traz 245 atividades divididas em: problemas abertos e fechados, atividades experimentais, leitura e interpretação e questões. Já no PNLD 2021 as 6 coleções que abordam a MQ, juntas, somam 59 atividades. A partir dessa etapa da pesquisa foi possível constatar redução na quantidade de páginas destinadas a MQ e redução em torno de 24% das atividades propostas.

Partindo para a análise da TD nas coleções a partir dos aspectos selecionados. Para a RCN: cita Kirchoff e traz contextualização com a termodinâmica; evidenciam a negação diante da teoria de Planck por parte da comunidade científica e quais cientistas têm destaque na resolução do problema. Para o EF: coleções que citam apenas Hertz e Einstein; como é apresentada a proposta experimental de Millikan e para a DOP destacamos as coleções que não trazem a problematização do século XVIII e abordam o Efeito Compton. Para tanto foi possível destacar os atributos da despersonalização, descontextualização e dessincretização.

Radiação de um corpo negro

A RCN é abordada no PNLD 2018 em onze coleções sendo a Col.A4 exceção e no PNLD 2021 é abordado nas Col.B1, Col. B3, Col. B4 e Col. B6.

Para a RCN, buscamos compreender se as coleções citam o Kirchoff e traz contextualização com a termodinâmica. Assim, apontamos que no PNLD 2018, Col.A1, Col.A4, Col.A5, Col.A6, Col.A9 e Col.A11; PNLD 2021: Col.B1 citam Kirchoff e trazem a relação entre as pesquisas desenvolvidas pela termodinâmica para que surgisse a necessidade de compreender como se comportava a radiação eletromagnética no chamado corpo negro. Sendo despersonalizada as coleções que abordam o problema sem citar o cientista que o idealizou e dessincretizado por ocultar o processo atrelado a termodinâmica o que traz uma visão de ciência acumulativa. Notando também que no PNLD 2021 esse aspecto aparece apenas em uma coleção, das quatro que abordam esse episódio.

Já com o aspecto que aponta se evidenciam a negação diante da teoria de Planck por parte da comunidade científica caracterizamos os livros que não trazem essa abordagem como dessincretizados, já que tentativas de refutação e negações diante de teorias que vão de encontro a teorias bem consolidadas fazem parte da construção de um conhecimento científico, como aconteceu com a resolução de Planck devido as suas incongruências com o Eletromagnetismo. Assim, no PNLD 2018 a Col. A1 aborda de forma parcial ao enfatizar que Planck realizou um ato de desespero ao propor sua teoria o que remota a divergência com as teorias já consolidadas, no entanto a forma como foi descrita pode trazer a ideia do Planck como gênio isolado. Sendo assim, apenas as Col.A5, Col.A6, Col.A7 e Col.A8 abordam as implicações apontadas pelo aspecto descrito.

Como aspecto de despersonalização destacamos as coleções que trazem apenas o Planck ao tratar sobre a temática sendo no PNLD 2018 as Col.A2, Col.A3, Col.A7 e Col.A10 e no PNLD 2021 as Col.B1, Col.B4. Estes livros negligenciam os outros cientistas que desempenharam um papel crucial na resolução do problema, deixando de apresentar o contexto completo em torno da questão. Isso inclui o surgimento do problema, as diversas discussões, confrontos, erros e acertos que levaram à sua solução. Essa abordagem perpetua a concepção de que a ciência é construída por apenas algumas pessoas, geralmente consideradas gênios.

Efeito Fotoelétrico

O EF no PNLD 2018 foi abordado em todas as coleções e no PNLD 2021 a Col.B3 é exceção. Para o EF destacamos as coleções que citam apenas Hertz e Einstein para descrever toda a trajetória do fenômeno, nesse formato o Hertz é apontado como primeiro cientista a detectar o EF. No entanto, Rocha, J.F.M. (2002) aponta que a primeira detecção foi feita por Aleksander Stoletov de forma acidental em 1872, 15 anos antes do Hertz e o Einstein é apontado como único cientista responsável pela resolução do problema, sendo despersonalizados os livros que seguem essa estrutura. Assim, no PNLD 2018 as Col.A3 e Col.A10 trazem essa abordagem e no PNLD 2021 as Col.B5, Col.B6 e Col.B7.

O segundo aspecto analisado diz respeito a como é apresentada a proposta experimental de Millikan. A história descreve que ele desenvolveu seu experimento com o propósito de encontrar uma fórmula matemática que relacionasse a energia máxima do elétron ejetado com a frequência da luz incidente, na tentativa de refutar o que foi proposto por Einstein. No entanto, o experimento acabou por confirmar a equação proposta por Einstein e também determinou a função trabalho do metal utilizado (Kragh, H., 1999; Stuewer, R.H., 2006; Klassen, S., 2011).

Assim, este aspecto está relacionado ao atributo da dessincretização, caso os livros que mencionam Millikan não relatem devidamente essas informações, eles acabam suprimindo uma das características essenciais da construção científica e retiram o conhecimento de seu contexto epistemológico.

Os livros do PNLD 2021 não citam o Millikan. Já no PNLD 2018, Col.A1 apenas menciona que Millikan comprovou a teoria de Einstein, mas não apresenta as motivações que o levaram a propor e realizar o experimento. Por sua vez, a Col.A6 relata a equação proposta por Einstein e como Millikan demonstrou sua validade, mas também omite as motivações por trás do experimento. Similarmente, a Col.A9 adota uma abordagem semelhante à Col.A6, afirmando que o experimento de Millikan comprova a equação proposta por Einstein, mas não explica as motivações por trás do trabalho de Millikan. Sendo assim, todos dessincretizados nesse aspecto.

Dualidade onda – partícula (DOP)

A DOP é abordada no PNLD 2018 em todas as coleções e no PNLD 2021 a Col.B3 é exceção. Nesse episódio destacamos as coleções que não trazem a problematização do século XVIII relacionada ao Óptica de Newton publicado em 1704. O livro de Newton trouxe abordagem para a luz distinta da postulada no livro do Huygens, Tratado sobre a luz, em 1690. Diante da publicação surgiram discussões que apontavam para a luz como uma espécie de feixe de partículas como discutida por Newton em oposição aos postulados de Huygens que tratavam a luz como uma onda (Moura, B. A, 2016). Apesar de não ter ocorrido um embate direto entre as teorias a discussão é tida como parte da história da dualidade onda – partícula sendo assim importante de ser abordada nos LD.

Assim, no PNLD 2018 as Col.A4, Col.A6, Col.A7, Col.A11, Col.A12 não abordam essa discussão e no PNLD 2021 apenas a Col. B4 aborda o assunto, sendo assim dessincretizados. E por fim, analisamos se os livros abordam o Efeito Compton visto que desempenhou um papel crucial para a aceitação da teoria proposta por Einstein pela comunidade científica (Stuewer, R.H., 2006; Klassen,

S., 2011; Silva, I; Freire Jr.,O, 2014). Embora Compton não tivesse a intenção inicial de comprovar o caráter corpuscular das ondas eletromagnéticas, seu estudo sobre o efeito de espalhamento teve implicações significativas para a DOP. Assim, apenas a Col.A1 do PNLD 2018 aborda o efeito. Essa omissão resulta em 11 das 12 coleções sendo dessincronizadas e descontextualizadas nesse aspecto específico. E no PNLD 2021 não é abordado por nenhuma das coleções.

Assim, foi possível identificar distanciamentos entre o saber sábio e o saber a ensinar que causam deformações sobre a construção da ciência a partir dos atributos da TD. Chevallard, Y. (1991) aponta que a TD tem de ocorrer para o saber sábio se torne objeto de ensino, no entanto é preciso que exista o que o autor denomina de vigilância epistemológica de modo que a TD não distorça de forma tão brusca essa construção. E fazendo a análise comparativa entre os dois PNLD foi possível notar que com a redução de páginas a parte histórica desses episódios foram ainda mais distorcidas no PNLD 2021 quando comparadas ao PNLD 2018, ocultando diversos cientistas, motivações, implicações e conflitos relacionados a ciência da MQ ao longo de sua história.

Considerações finais

Neste estudo apresentamos os principais resultados encontrados ao analisar os livros didáticos de duas edições do PNLD, 2018 e 2021 com o propósito de fazer apontamentos acerca das mudanças implementadas pela BNCC e sua influência na transposição didática de três episódios da Mecânica Quântica: radiação de um corpo negro, efeito fotoelétrico e dualidade onda – partícula.

Assim, constatamos que houve redução na quantidade de páginas destinadas a MQ e também das atividades propostas o que causou um empobrecimento histórico mais acentuado nas coleções do PNLD 2021 apontados pelos atributos da TD. No entanto, como potencialidade, identificamos que os conteúdos passaram a ser abordados em volumes iniciais, fato que no PNLD 2018 ocorre em apenas uma das doze coleções. Isso traz potencial para que os alunos tenham contato com a FMC, visto que o fato de serem abordados no último volume se tornava um entrave devido a carga horária destinada a disciplina de Física.

A análise da TD nos permitiu notar que as deformações históricas encontradas potencializam um maior distanciamento da ciência contemporânea e potencializa a propagação de visões deformadas sobre a construção da ciência, fato que pode abrir as portas para o negacionismo científico e pseudociências. Ademais, ao analisar os LD, podemos perceber a preocupação dos autores em incluir FMC na educação básica. No entanto, é notório que ainda utilizam uma abordagem baseada nos moldes da Física Clássica. Essa abordagem acaba distorcendo o verdadeiro propósito de uma nova Física, que surgiu justamente para romper com os padrões já conhecidos da Física tradicional.

Essa contradição é prejudicial para a FMC presente nos livros, pois impede que os estudantes compreendam plenamente os avanços e as mudanças de paradigma que a Física passou ao longo do tempo. Seria mais adequado e benéfico se os autores adotassem uma abordagem que realmente destacasse as diferenças entre a FMC e a Física Clássica, permitindo uma compreensão mais profunda e abrangente dos fenômenos físicos modernos.

Dessa forma, a inclusão da FMC na educação básica seria mais eficaz, proporcionando aos alunos uma visão mais precisa e atualizada do mundo da Física, além de estimular o pensamento crítico e o interesse pela ciência.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela bolsa concedida ao projeto para que a referente pesquisa fosse realizada e a Universidade Estadual de Santa Cruz, campus Soane Nazaré de Andrade, pelo incentivo à realização de pesquisas como esta e ao CNPq pelo fomento do projeto.

Referências bibliográficas

- Alves Filho, J. P. (2000). Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático, *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 17 (2), 174-182. Acesso em: 20 de nov., 2020. <https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/9064/9118>.
- Astolfi, J. P.; Develay, M. (2006). *A didática das Ciências*. Campinas: Papirus.
- Chevallard, Y., (1991). *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado.*, Buenos Aires: La Pensée Sauvage.
- Bardin, L. (1977). *Análise de conteúdo.*, Lisboa: Edições 70.
- Brockington, G.; Pietrocola, M. (2005). Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna? *Investigação em Ensino de Ciências*, (10), 387-404, 2005. Acesso em: 20 nov., 2020. https://www.researchgate.net/publication/26604688_Are_the_rules_for_Didactical_Transposition_applicable_to_the_concepts_of_modern_physics.
- Carvajal, C.A.; Vásquez, J.C. (2012) La transposición didáctica: Um Ejemplo en El Sistema Educativo Costarricense. *UNICIENCIA*, 26, 153-168.
- Cruz, F.F.S. (2010). Mecânica Quântica e a cultura em dois momentos. *Teoria Quântica: Estudos Históricos e Implicações Sociais*. (p. 303-320) Campina Grande/São Paulo: EDUEPB.
- Delizoicov, D.; Angotti, J. A.; Pernambuco, M. M. (2011). *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. 2ed. São Paulo: Cortez.
- Dominguini, L. (2010). Conteúdo Física Moderna Nos Livros Didáticos do PNLEM. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Educação da Universidade do Extremo Sul Catarinense (PPGE-UNESC). Criciúma.
- Errobidart, N. C. G; Gobora, S. T. (2011) *Aspectos da Transposição Didática de ondas sonoras em Livros Didáticos de Física (PNLEM)*. In: VIII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. São Paulo:2011. Anais... São Paulo: Universidade Estadual de Campinas. 3
- Klassen, S. (2011). The Photoelectric Effect: Reconstructing the Story for the Physics Classroom. *Science & Education*, 20 (7-8), 719–731.
- Kragh, H. (1999). *Quantum generations: a history of physics in the twentieth century*. New Jersey: Princeton University Press.
- Krijtenburg-Lewerissa, K.; Pol, H.J.; Brinkman, A.; Van Joolingen, W.R. (2017). Insights into teaching quantum mechanics in secondary and lower undergraduate education. *Physical Review Physics Education Research*, 13, 010109/1-010109/21.
- Machado, S.S.L; Cruz, F.F.S. (2016). *A Teoria Quântica e a Apropriação do Conhecimento Científico: O uso da História e Filosofia da Ciência pelos Misticismos*. In: 15º Seminário Nacional de História da Ciência e da Tecnologia. Florianópolis, Santa Catarina: 2016. Atas... Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, p.1-15.
- Moura, B. A. (2016). Newton versus Huygens: como (não) ocorreu a disputa entre suas teorias para a luz. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 33 (1), 111-141.

Ostermann, F.; Moreira, M.A. (2000). Física contemporânea em la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores. *Enseñanza de las ciencias*, 18 (3), 391-404, 2000. Acesso em: 20 nov., 2020. <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/142477>.

Ostermann, F.; Prado, S. D. (2005). Interpretações da mecânica quântica em um interferômetro virtual de Mach-Zehnder. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Acesso em: 05 maio. 2023. <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v27n2/a03v27n2.pdf>.

Pereira, A. M. L.; Siqueira, M. R. P. (2021). Uma Sequência de Ensino e Aprendizagem para a abordagem de conceitos básicos da Física Quântica no Ensino Médio. *Investigação e Práticas em Educação em Ciências, Matemática e Tecnologia: APEduC*, 02 (02), 124-138.

Schivani, M. et al. (2020). Programa Nacional do Livro Didático de Física: subsídios para pesquisas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Acesso em: 11 jul. 2022. <https://www.scielo.br/j/rbef/a/4sqHgYCbGZP4tYNZXMYNV4B/?lang=pt>.

Silva, I. Freire Jr. O. (2014) A descoberta do efeito Compton: De uma abordagem semiclássica a uma abordagem quântica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. Acesso em: 05 maio, 2021. <https://www.scielo.br/j/rbef/a/ZxnY9LHbJCVBDgYLxP3YTZN/abstract/?lang=p>.

Stuewer, R.H. (2006). Historical Surprises. *Science & Education*, 15, 521–530.