

# Transposição didática: A Radiação do corpo negro nos livros didáticos do PNL D 2018



Ana Caroline Thiara<sup>1</sup>, Lincon Batista<sup>1</sup>, Daniel Oliveira<sup>1</sup>, Maxwell Siqueira<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Licenciatura em Física, Universidade Estadual de Santa Cruz-UESC, Rodovia Jorge Amado, km 16, Salobrinho, CEP:45662-900, Ilhéus, Bahia, Brasil.

<sup>2</sup>Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz-UESC, Rodovia Jorge Amado, km 16, Salobrinho, CEP:45662-900, Ilhéus, Bahia, Brasil.

E-mail: [carolthiara16@outlook.com](mailto:carolthiara16@outlook.com)

(Recibido el 17 enero 2022, aceptado el 26 de febrero de 2022)

## Resumo

Este estudo tem como objetivo apresentar uma análise do tópico da Radiação de um Corpo Negro nos livros didáticos distribuídos pelo PNL D 2018. Parte-se da Transposição Didática como instrumento de análise para investigar como ocorreu a transformação do saber, bem como as divergências entre o saber produzido pelos cientistas e o saber presente nos livros distribuídos. Para análise dos livros, pautamos nos aspectos metodológicos quantitativos (análise de conteúdo) e qualitativos e identificamos pontos divergentes entre os saberes produzidos em diferentes etapas. A análise evidencia a presença da Mecânica Quântica em todas as coleções (12) e a Radiação de um Corpo Negro está presente em 11 delas, o que reforça a importância de discutir a inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio. Identificamos, nas 11 coleções com o tópico, atributos da Transposição Didática os quais evidenciaram deformações na forma como o livro trata acerca da construção do conhecimento científico. Notamos que, em 92% das coleções, a presença do tópico no volume 3 dificulta a inserção dele na educação básica.

**Palavras-chave:** Livro didático, Mecânica Quântica, Transposição Didática.

## Abstract

This study aims to present an analysis of the topic of Blackbody Radiation in textbooks distributed by the PNL D 2018. It starts with Didactic Transposition as an instrument of analysis to investigate how the transformation of knowledge occurred, as well as the divergences between the knowledge produced by scientists and the knowledge present in distributed textbooks. In order to analyze the books, we used quantitative (content analysis) and qualitative methodological aspects and identified divergent points between the knowledge produced at different stages. The analysis shows the presence of Quantum Mechanics in all collections (12) and Blackbody Radiation is present in 11 of them, which reinforces the importance of discussing the insertion of Modern and Contemporary Physics in High School. We identified, in the 11 collections with said topic, attributes of Didactic Transposition which evidenced deformations in the way the book deals with the construction of scientific knowledge. We noticed that, in 92% of the collections, the presence of the topic in volume 3 makes it difficult to include it in basic education.

**Keywords:** Textbooks, Quantum Mechanics, Didactic Transposition.

## I. INTRODUÇÃO

A importância do ensino de Física na educação básica é questão de debates perpetuada por décadas; debates estes que tentam dar sentido e significado ao seu ensino. De acordo com [1], parece consenso entre os pesquisadores da área que a forma como essa ciência vem sendo apresentada nos livros textos e, conseqüentemente, na sala de aula está equivocada se comparada ao seu real sentido.

No ensino médio, usualmente a física é trabalhada a partir de temas como Mecânica, Termologia, Ondas, Óptica e Eletromagnetismo, ou seja, conhecimentos formulados entre os séculos XVII e XIX. Contudo, eles não são suficientes para compreender e discutir sobre os aparatos e dispositivos tecnológicos mais atuais e complexos como computadores quânticos, aceleradores de partículas e nem mesmo sobre os

artefatos mais simples como o acendimento automático dos postes de luz.

Com base nessa problemática, Diversos autores [4, 5, 6] defendem a inserção da Física Moderna e Contemporânea (FMC) no ensino médio, contribuindo para uma mudança no currículo de física da Educação Básica. [2] salienta que os conhecimentos e assuntos de física abordados em sala de aula estão compreendidos entre o início do século XII e o final do século XIX. Dessa forma, cria-se uma defasagem temporal no ensino de física de modo que artefatos atuais e fenômenos criados/descobertos a partir da virada do século XX não sejam compreendidos e discutidos em sala de aula da Educação Básica. É válido ressaltar que a reformulação no currículo foi reforçada com a Lei de Diretrizes e Bases da Educação brasileira de 1996 [3] ao destacar a necessidade de abordagem dos aspectos mais modernos da ciência.

Além disso, segundo [4], a FMC é a temática com maior potencial para incentivar os alunos a seguirem carreiras científicas e, para isso, é necessária sua abordagem ainda na Educação Básica. Isso se constitui um aspecto relevante que deve ser considerado, visto que, o curso de Física apresenta altos índices de evasão [7]. Ademais, os autores enfatizam que o acesso dos estudantes a temas como buracos negros, ondas gravitacionais, partículas subatômicas, big bang e outros temas é realizado por meio da mídia e em filmes de ficção científica, mas em sala de aula as teorias ligadas a esses conceitos não são abordadas. Dentro dessa discussão, esta pesquisa visa trazer aspectos acerca da inserção FMC na Educação Básica, mais especificamente, a Mecânica Quântica (MQ).

Segundo [8], o desenvolvimento da MQ se deu a partir das investigações do espectro de radiação eletromagnética dos corpos aquecidos, em especial aqueles corpos que absorvem toda a radiação incidente, denominados de corpo negro. Assim, para o desenvolvimento desta pesquisa, iremos focar na análise dentro da mecânica quântica, do tópico referente ao problema da radiação de um corpo negro.

De acordo com [9], dificuldades podem ser destacadas acerca da inserção da MQ. A primeira se refere ao formalismo que fundamenta as teorias quânticas; a segunda se refere ao afastamento da física clássica de modo que uma nova forma de pensar e ver o mundo deve ser trabalhada; e a última referente aos experimentos dos conceitos da MQ.

Essas dificuldades na inserção da FMC e da MQ se estendem para os livros didáticos, pois são um dos principais recursos que os professores utilizam em sala de aula na Educação Básica [10]. Além do mais, no Brasil, o Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) distribuiu todos os anos, desde 2009, livros didáticos a todos os estudantes da Educação Básica pública. De acordo com o Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação [11], no ano de 2018, ao todo foram distribuídos 7.929.954 de livros didáticos de física divididos em 12 coleções (cada coleção possui 3 volumes, sendo cada um deles destinado a uma série do ensino médio).

Autores como [10, 12] destacam que o PNLD permitiu acesso ao livro didático a todos os estudantes da rede pública e que se caracteriza como um dos principais recursos utilizados pelo professor em sala de aula, sendo, assim, necessárias e relevantes as pesquisas voltadas para esses livros.

Para analisar os livros textos, é necessário compreender o processo no qual o conhecimento é transformado para que se torne acessível aos alunos. As teorias, fórmulas, modelos e arranjos experimentais presentes nos livros didáticos não são os mesmos descritos nos artigos originais publicados por físicos responsáveis pelas descobertas na área, sendo, assim, necessário que se faça algumas transformações antes de chegar à sala de aula. Esse processo de modificação do saber dá-se o nome de Transposição Didática (TD), desenvolvido originalmente por Michel Veret, em 1975, e amplamente discutido por Yves Chevallard e Marie-Alberte Joshua, em 1991. A TD tem como objetivo analisar a transformação do saber em objeto de ensino.

Dessa maneira, este artigo tem como objetivo analisar, a partir da teoria da Transposição Didática, como o tópico da Radiação do corpo negro é abordado nas 12 coleções de livros didáticos de Física aprovados pelo PNLD em 2018, compreendendo a inserção da MQ no ensino médio no Brasil.

## II. TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA (TD)

A Transposição Didática é o processo pelo qual o conhecimento científico sofre transformações para ser levado à sala de aula. Esse processo foi criado por Michel Verret, em 1975, e, posteriormente, presente nas obras de Yves Chevallard e Marie-Alberte Joshua. A Transposição Didática, em sua essência e obra original, é abordada no âmbito da matemática, mas os processos podem ser generalizados para qualquer conhecimento científico quando este apresenta diferenças do conhecimento desenvolvido na sua origem por cientistas [13].

Em sua obra, Chevallard utiliza do termo “saber” quando se refere ao objeto que sofre transformações [14]. Dessa maneira, o saber passa por duas transformações objetivando a sua didatização, tornando-se acessível à sala de aula. Neste contexto, o saber assume três níveis distintos, inicialmente conhecidos como saber sábio, saber a ensinar e saber ensinado.

### A. Os três níveis do “saber”

O *saber sábio* “é o produto do trabalho do cientista ou intelectual relativo a uma forma de entendimento sobre a realidade” [14]. É o conhecimento produzido inicialmente para explicar um determinado fenômeno como, por exemplo, a forma como Einstein teorizou a Relatividade; Darwin, a evolução das espécies; Leibniz, o sistema binário; e Maxwell, as equações do eletromagnetismo. A forma como esses conhecimentos foram apresentados nas respectivas obras originais não é de fácil compreensão, por isso esse *saber sábio* passa por um processo de transformação e adaptação e se transpõe em saber a ensinar.

O *saber a ensinar* “é um produto organizado e hierarquizado em grau de dificuldade, resultante de um processo de total descontextualização e degradação do saber sábio” [14]. Essa patente do saber é aquela encontrada nos livros textos e manuais de ensino, na qual o conhecimento encontra-se de uma forma sequencial com poucos dos cientistas responsáveis pelas descobertas e com o conteúdo adaptado ao público-alvo. O saber a ensinar é transformado e adaptado pelo professor para atender as exigências de suas aulas. Nesse processo, há a passagem do saber a ensinar para o saber ensinado.

O *saber ensinado*, então, consiste no que o professor, de fato, leva para suas aulas. Ele depende do ambiente escolar e da realidade na qual a escola está inserida e está presente no seu planejamento da aula.

A existência desses três níveis do saber remete à ideia de que existem grupos responsáveis por cada um deles, formando o que Chevallard [15] chama de noosfera.

Na noosfera, “se encontram todos aqueles que, tanto ocupam os postos principais do funcionamento didático, se enfrentam com os problemas que surgem do encontro da sociedade e suas exigências; ali se desenvolvem os conflitos; ali se levam a cabo as negociações; ali se amadurecem as soluções.” [15]. Ou seja, são estes que determinarão os conteúdos que deverão ser abordados no ensino médio estruturando, dessa forma, o currículo das unidades escolares [16]: cientistas, técnicos da secretaria da educação, políticos, diretores de escola, professores, autores de livros e educadores de maneira geral.

## B. Textualização do Saber

No processo de preparação didática do saber, que ocorre na noosfera, o conhecimento passa pelo processo de textualização do saber que tem como objetivo tornar o saber escolarizável. Nesse processo, algumas características se apresentam e são denominadas por Chevallard [15] como atributos da TD. São estes: *descontextualização*, *dessincretização*, *despersonalização*, *publicidade*, *programabilidade* e *controle social da aprendizagem*.

Na *descontextualização*, o conhecimento é desvinculado dos problemas que lhe deram origem para que, posteriormente, seja generalizado [17], fazendo com que o conhecimento passe a ter problemáticas ligadas ao ensino destinado. Neste atributo, nota-se a ausência do cenário no qual o conhecimento foi desenvolvido e as motivações que levaram ao seu estudo assim como a subjetividade do cientista ou dos cientistas envolvidos na pesquisa são deixadas de lado, e o texto segue uma ordem que não se assemelha com a forma como o cientista investigou, discutiu e resolveu o problema em estudo [18].

Na *dessincretização* tem-se a retirada do conhecimento científico do seu nicho epistemológico. Chevallard afirma que “a divisão da prática teórica em campos delimitados do saber que deem lugar a práticas de aprendizagens especializadas, isto é, a *dessincretização* do saber” [15, p.67-68]. Nesse sentido, o conhecimento perde aspectos relacionados à epistemologia da ciência para obter aspectos relacionados à epistemologia escolar. Nota-se a ausência dos problemas que deram origem da investigação do fenômeno e a todo processo de busca pela solução, podendo levar a uma visão distorcida da construção do conhecimento científico e do trabalho do cientista. Dentro da delimitação de saberes parciais, a *descontextualização* e a *dessincretização* caminham juntas e, por muitas vezes, podem ser observadas no mesmo aspecto quando analisados os livros textos.

Já na *despersonalização*, o conhecimento é divulgado de uma forma universal, impessoal. Nesse atributo, tem-se a exclusão da personalidade do cientista do seu trabalho original e da sua relação com o saber. Ora parcialmente nos casos em que o conhecimento é atribuído a quem construiu a ideia principal, ora totalmente quando apresentado sem citar nenhum sujeito responsável pela construção do conhecimento.

A *programabilidade* consiste na ordenação dos conteúdos e saberes que tem como resultado a organização do *saber a ensinar* de uma forma sequencial. Essa sequência é

determinada pelos autores dos livros textos e pelo professor no seu planejamento de aula. Já a *publicidade* é o meio pelo qual a finalidade e o objetivo da transposição são evidenciados [17]. “E essa *publicidade* possibilita o *controle social da aprendizagem*, em virtude de uma certa concepção do significa “saber”” [15].

Assim, nesse processo de textualização do saber, buscando tornar o conhecimento científico ensinável, Chevallard [15] afirma que:

“O saber que produz a TD será, portanto, um saber exilado de suas origens e separado de sua produção histórica na esfera do saber sábio, legitimando-se, tanto em saber ensinado, como algo que não é de nenhum lugar nem tempo, e não legitimando-se mediante o recurso da autoridade de um produtor qualquer.” [15, p.18]

## C. Manutenção dos Saberes

Ainda no âmbito da Transposição Didática, Brockington e Pietrocola [13, 19] destacam a permanência de alguns conhecimentos inadequados à época atual e defendem que conhecimentos mais atuais estejam presentes nos currículos escolares trazendo aspectos que justificam e fornecem base à manutenção do saber transposto como sabe a ensinar. Dessa forma, o saber transposto deve ser, segundo Chevallard [15, 19]:

*Consensual*. O conteúdo deve ter por um momento status de verdade no sentido que o professor não deve ter dúvidas do que está ensinando e, ao mesmo ponto, o aluno não deve ter dúvidas da veracidade do conteúdo que está aprendendo.

*Atualidade*: i) *moral*. O conhecimento ensinado deve ser avaliado pela sociedade como relevante; ii) *biológica*. O saber deve ser atualizado em relação à ciência atual.

*Operacionalidade*. O saber que é capaz de gerar atividades, exercícios e problemas tem uma maior probabilidade de ser transposto, pois se consegue fazer com que os estudantes trabalhem com esse conhecimento.

*Criatividade didática*. Consiste na criação de atividades que fazem parte exclusivamente da esfera escolar que não têm sua origem na área científica apesar de usar saberes dessas produções. É a criação de situações de ensino.

*Terapêutica*. Para que o saber permaneça como saber a ensinar, ele deve trazer resultados e se adaptar ao ambiente escolar. Em outras palavras, o que “dá certo” se mantém na escola e o que “dá errado” acaba saindo.

Além desses aspectos tem-se, também, a elaboração de cinco regras por Astolfi et al. [13, 19] que devem ser observadas durante o processo da TD de modo a contribuir com a ideia original da sobrevivência dos saberes. São estas:

I) *Modernizar o saber escolar*. Os saberes ligados às inovações tecnológicas devem estar presentes nos livros didáticos criando um vínculo entre o que é ensinado na escola e o que é produzido nas academias.

II) *Atualizar o saber a ensinar*. O saber a ensinar deve ser atualizado e, além de acrescentar, deve-se eliminar alguns saberes que, mesmo corretos, já são conhecidos por todos.

III) *Articular o saber novo com o antigo*. Para a introdução de “novos” saberes é salutar manter sua conexão com “antigos” saberes já presentes nos programas de ensino.

Um exemplo dessa conexão é ensinar eletromagnetismo sem negar a eletrostática e a magnetostática.

IV) *Transformar um saber em exercícios e problemas.* O saber sábio com potencialidade para gerar exercícios e problemas didáticos tem maior chance de se tornar saber a ensinar, processo conhecido como operacionalização.

V) *Tornar um conceito mais compreensível.* A transposição didática deve tornar um conceito mais compreensível, caso contrário ela não pode ser legitimada [16].

Nesse contexto, de acordo com os autores [13], é possível compreender por que alguns saberes se tornaram imutáveis nos currículos por grandes períodos. Por meio da TD, é possível defender a necessidade de atualização dos mesmos.

Com esses aspectos, nesta pesquisa analisamos os livros distribuídos pelo PNLN no ano de 2018. Desses atributos foram destaque quatro deles: *descontextualização, dessincronização, despersonalização e programabilidade.* Estes foram utilizados como categorias de análise da radiação de um corpo negro, enquanto tópico da Mecânica Quântica presente nos livros de física.

### III. RADIAÇÃO DE UM CORPO NEGRO

No final do século XIX, a física possuía três pilares: a mecânica, o eletromagnetismo e a termodinâmica. O cenário indicava que as próximas descobertas estariam em torno desses saberes e seriam explicados por eles [20]. A partir do triunfo das quatro equações de Maxwell e das descobertas da termodinâmica, os cientistas da época passaram a se debruçar para melhorar essas teorias e tornar os resultados cada vez mais precisos.

A termodinâmica, apesar de consolidada como um ramo da física, possuía alguns fenômenos sem explicação, como a distribuição de uma molécula de gás e a radiação emitida por um corpo negro. Dentre os grandes físicos da termodinâmica, encontrava-se Max Planck (1858-1947) que mais tarde, ao investigar o fenômeno dos corpos aquecidos, seria o responsável por dar início a uma nova era da física, a chamada Mecânica Quântica [21]. Mas ele não foi o primeiro ou único a observar o fenômeno dos corpos aquecidos.

A superfície de todo corpo com temperatura superior ao zero absoluto (0K) emite radiação térmica de natureza eletromagnética, isso já era conhecido na época. Nesse contexto, um corpo negro seria aquele capaz de absorver completamente toda a radiação eletromagnética que incide sobre ele [20, 22]. A ideia de um corpo que absorve toda radiação foi proposta pelo físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887), em 1860, após propor, em 1859, que a razão entre o poder de absorção e o poder de emissão de um corpo é uma função do comprimento de onda ( $\lambda$ ) da radiação emitida ou absorvida e da temperatura absoluta T. Essa descoberta foi feita anteriormente de forma independente pelo físico Balfour Stewart (1828-1857) em 1858.

O problema estava posto em torno de descobrir essa função da emissividade:  $I(\lambda, T)$  e os resultados teóricos teriam que se encaixar com os resultados experimentais.

### A. Os resultados da termodinâmica

Os estudos sobre a emissividade do corpo negro, após as postulações de Kirchhoff, tiveram início com os físicos Josef Stefan (1835-1893) e Ludwig Boltzmann (1844-1906). Stefan, em 1879, chegou de forma empírica a relação na qual R seria a intensidade total da radiação emitida por um corpo com temperatura T conforme indica a Eq. (1).

$$R = \sigma T^4. \quad (1)$$

Em 1884, Boltzmann demonstrou matematicamente a lei de Stefan considerando a radiação eletromagnética no interior do corpo negro como um gás e aplicando a ele as leis da termodinâmica. Com esse estudo, Boltzmann conseguiu chegar a constante de proporcionalidade entre R e  $T^4$  que hoje é conhecida como *constante de Stefan-Boltzmann* Eq. (2) [20,22].

$$R = \sigma \cdot T^4. \quad (2)$$

As publicações realizadas por Boltzmann fizeram com que outro físico iniciasse os estudos para encontrar a solução da relação  $I(\lambda, T)$ . Wilhelm Wien (1864-1928) realizou contribuições na teoria em dois momentos. Em 1893, unindo a termodinâmica com o a teoria de Maxwell, demonstrando que a emissividade era resultado do cubo da frequência multiplicado por uma função do quociente da frequência dividida pela temperatura Eq. (3) [20, 23]. Denominada posteriormente como *lei do deslocamento de Wien*.

$$E_f(f, T) = f^3 \cdot F\left(\frac{f}{T}\right). \quad (3)$$

Já em 1896, conseguiu obter um valor para a emissividade Eq. (4), onde  $C_1$  e  $C_2$  são constantes, ao considerar que a radiação térmica era o resultado da vibração de osciladores moleculares, admitindo proporcionalidade entre a intensidade da radiação e do número de osciladores [22].

$$I(\lambda, T) = C_1 \cdot \lambda^{-5} \exp\left(\frac{-C_2}{\lambda \cdot T}\right). \quad (4)$$

No mesmo ano, o físico Louis Carl Paschen (1865-1940) obteve a mesma expressão de Wien de forma empírica. A expressão proposta por ambos só era válida para altas frequências, ou seja, quando  $\lambda$  assume valores pequenos [22]. Foi essa expressão Eq. (4) que melhor se encaixava para resolver o problema posposto por Kirchhoff e foi também, posteriormente, utilizada por Planck para solucionar o problema da radiação do corpo negro.

Posteriormente, estudos voltados para os comprimentos de onda não contemplados pela lei de Wien foram realizados pelo físico Lorde Rayleigh (1842-1919) e mais tarde aprimoradas pelo físico James Jeans (1877-1946). Por meio dos seus estudos, conhecemos a *lei de Rayleigh-Jeans* Eq. (5), em que k é a constante de Boltzmann.

$$I(\lambda, T) = 8\pi \cdot \lambda^{-4} k \cdot T. \quad (5)$$

É importante ressaltar que Rayleigh publicou a forma final da equação Eq. (5) no seu artigo de 1905 e obteve correção por Jeans no mesmo ano, fato que aconteceu depois da resolução final do problema da radiação de um corpo negro por Planck [22]. Entretanto, Rayleigh fez contribuições anteriores a Planck, contribuições essas que deram origem a *catástrofe ultravioleta*.

A expressão da Eq. (6), proposta anteriormente por Rayleigh em 1900 para resolução do problema, só funcionava para baixas frequências, de modo que, conforme a frequência aumentava, o corpo emitia mais radiação tendendo ao infinito. Por ser um modelo que não conservava energia, recebeu o nome de *catástrofe ultravioleta*, uma vez que o simples ato de riscar um fósforo causaria alta emissão de radiação.

$$E_f(f, T) = c_1 \cdot f^2 \cdot T. \quad (6)$$

Os problemas nos modelos propostos até então surgiram após experimentos realizados por dois grupos de pesquisadores no ano de 1900. Um deles, formado por Otto Lummer (1860-1925) e Ernst Pringsheim (1859-1917), analisaram o espectro de emissão em faixas de variação do comprimento de onda ( $\lambda$ ) entre 12 $\mu\text{m}$  e 18 $\mu\text{m}$ , verificando experimentalmente que a Lei de Wien falhava nessa região. Foi uma conclusão muito importante, visto que a Lei de Wien se manteve por muito tempo como explicação do fenômeno do corpo negro [23, 24].

No mesmo ano, outro grupo de cientistas, formado por Heinrich Rubens (1865-1922) e Ferdinand Kurlbaum (1857-1927), analisou o espectro de emissão em faixas de variação do comprimento de onda ( $\lambda$ ) entre 30 $\mu\text{m}$  e 60 $\mu\text{m}$  no infravermelho longínquo.

O seguinte cenário estava definido: leis que seguem um modelo clássico moldado pela termodinâmica e eletromagnetismo, como a lei de Wien e a Lei de Rayleigh, possuíam limitações nos seus modelos, de acordo com a frequência da radiação e não se encaixavam com os dados experimentais obtidos pelos dois grupos de cientistas de Berlim citados anteriormente. Nesse contexto, surge Max Planck com a explicação que resolveria o problema da radiação do corpo negro e daria novos rumos para a física.

## B. A explicação de Planck

Em 19 de Outubro de 1900, no Seminário de Física da Universidade de Berlim, Planck apresentou sua teoria para o problema da radiação do corpo negro. Ele pensou em analisar o corpo negro considerando que suas paredes fossem formadas por osciladores hertzianos (que obedece ao movimento harmônico simples), que possuíam certa distribuição de energia e de entropia, seguindo a hipótese da termodinâmica que afirmava que a radiação em um corpo negro não dependia da natureza das paredes. Com essa consideração, descobriu que a potência emissiva tinha de ser proporcional à energia média dos osciladores. Essa hipótese concordava com o Rayleigh e convergia com os dados experimentais [20].

Planck, então, utilizando como base as leis de Rayleigh

e Wien unidas com a mecânica estatística de Boltzmann, conseguiu explicar o espectro da radiação de um corpo negro e obter a expressão para essa emissividade. O modelo de Planck obedecia a *Lei do deslocamento*, prevenia a *catástrofe ultravioleta* e funciona da seguinte maneira: Ao considerar que cada átomo oscila com uma determinada frequência ( $\nu$ ), Planck postulou que a energia dessa oscilação é um múltiplo inteiro de uma quantidade discreta  $\epsilon$  (eq. 7), onde  $h$  é hoje conhecida como constante de Planck [25].

$$\epsilon = h \cdot \nu. \quad (7)$$

Surge assim a ideia da quantização da Energia, posteriormente denominada *quantum*. No mesmo dia que Planck anunciou sua descoberta, Rubens e Kurlbaum compararam a teoria de Planck com seus resultados experimentais chegando à conclusão de que se encaixavam perfeitamente [20]. Planck tinha encontrado a solução para o problema da radiação do corpo negro. Matematicamente, Planck chegou à relação da equação 8 e, para que ela obedecesse a Lei do deslocamento de Wien, é preciso que a relação da equação 7 seja válida.

$$E_f(f, T) = \frac{2\pi \cdot f^2 \cdot \epsilon}{c_2} \cdot \frac{1}{\exp\left(\frac{\epsilon}{k \cdot T}\right) - 1}. \quad (8)$$

Apesar de correta, a Lei de Planck não obteve apoio da comunidade científica por ir de encontro a teorias já consolidadas. O próprio Planck não aceitava os métodos que havia utilizado para explicar a problemática que passou anos tentando encontrar outra explicação que trouxesse menos conflitos com o modelo clássico [20].

Nas palavras do Planck quando questionado acerca de sua teoria dos *quanta*: “Foi um ato de desespero. Durante seis anos fiquei lutando com a teoria dos corpos negros. Era preciso que eu descobrisse uma explicação teórica a qualquer preço que não fosse a inviolabilidade das duas leis da termodinâmica” [20, p. 78].

Apesar de não ter sido aceita de imediato, a teoria de Planck foi base para a solução de novos fenômenos e de outros já descobertos que não possuíam explicação. Foi responsável por abrir as portas para um novo mundo da física, o mundo microscópico, outros fenômenos como o Efeito Compton, descoberto por Arthur Compton, deram início à consolidação da Mecânica Quântica assim como a explicação dada por Einstein ao Efeito Fotoelétrico, e a teorização de modelos cosmológicos como o Big Bang, consolidando, assim, a teoria de Planck.

Dessa forma, compreendemos que a abordagem da radiação de um corpo negro é um dos fundamentos introdutórios da Mecânica Quântica e, com tal, passível de análise nos livros didáticos de física do ensino médio.

## IV. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A metodologia deste trabalho se constituiu em três etapas: estudo dirigido acerca da História e Filosofia do problema da radiação de um corpo negro, levantamento quantitativo e

análise do conteúdo nos livros didáticos distribuídos pelo PNLD 2018.

Usamos como objeto de estudo as 12 coleções distribuídas pelo PNLD 2018 e a escolha da ordem de análise se deu a partir da quantidade de exemplares distribuídos de forma decrescente. As coleções são: Física de Bonjorno Col. (1), Física, aula por aula de Barreto e Xavier, Col. (2), publicados pela FTD; Ser protagonista de Benetti, publicado pela SM Col. (3); Conexões com a Física de Sant'Anna Col. (4), Física, ciência e tecnologia de Torres, Col. (7), publicados pela Moderna; Física para o ensino médio de Fuke Col. (5), Física de Gualter Col.(6), publicados pela Saraiva educação; Física, contexto e aplicações de Máximo, publicado pela Scipione Col. (8); Física em contextos de Pogibin, publicado pela editora do Brasil Col. (9); Física, interação e tecnologia de Gonçalves Filho, publicado pela Leya Col. (10); Compreendendo a Física de Gaspar, Col. (11) e Física de Guimarães Col.(12), publicados pela Ática.

Na primeira etapa, fizemos o estudo acerca da construção do conhecimento escolhido para análise e, para isso, usamos fontes secundárias e algumas fontes primárias. Nesta etapa, fizemos a leitura desses materiais (livros, artigos, notas de aula entre outros) e, a partir deles, traçamos a história por traz do problema da radiação de um corpo negro desde a sua problematização inicial até a resolução do problema.

A segunda etapa se constituiu do levantamento dos indicadores quantitativos, sendo a parte metodológica quantitativa baseada na análise de conteúdo da Laurence Bardin, explorada em 1977 na obra *Análise de Conteúdo* [26].

A análise do conteúdo de Bardin consiste em um conjunto de técnicas para análise quantitativa de dados a partir de procedimentos sistemáticos. A análise é pautada em 3 etapas principais: a) pré-análise, b) exploração do material, c) tratamento de resultados, a inferência e a interpretação. [26] A nossa análise dos dados quantitativos partiu da primeira etapa da análise do conteúdo, sendo esta a pré-análise. Essa parte da análise se divide em mais 4 etapas: leitura flutuante, escolha dos documentos, constituição do corpus e preparação do material. E tem como objetivo construir o que Bardin chama de *corpus* da pesquisa. O *corpus* é o conjunto dos documentos que serão submetidos aos processos analíticos [26, p. 96].

Fizemos a leitura flutuante do material, que consiste em “estabelecer contato com os documentos a analisar e em conhecer o texto deixando-se invadir por impressões e orientações [26, p. 96]. Neste caso, a escolha dos documentos se baseou nos livros que apresentam a MQ e a Radiação de um Corpo Negro, sendo assim as 12 coleções distribuídas pelo PNLD em 2018. Para definir o *corpus* da pesquisa, baseamo-nos em 4 regras, a saber: *exaustividade, representatividade, homogeneidade e pertinência*. A *exaustividade* se refere ao fato de uma vez definido o campo do *corpus*, é preciso ter em conta todos os elementos desse *corpus* [26, p. 97]. Nesse aspecto, tínhamos acesso aos 3 volumes das 12 coleções. Já a *representatividade*, se refere a delimitação da amostra a ser analisada e se ela, por si só, representa o todo. Nesta pesquisa, foi possível analisar todos os livros, sem a necessidade de separar uma amostra específica.

A *homogeneidade* diz que “os documentos retidos devem ser homogêneos, quer dizer, devem obedecer a critérios precisos de escolha e não apresentar demasiada singularidade fora destes critérios de escolha” [26, p. 98]. A pesquisa submeteu todos os livros ao mesmo processo de investigação e os livros investigados de forma mais sistematizada foram escolhidos a partir de um mesmo critério. Por conseguinte, a regra da *pertinência*: “os documentos retidos devem ser adequados, enquanto fonte de informação, de modo a corresponderem ao objetivo que suscita a análise” [26, p. 98]. Entendemos que os livros didáticos analisados se adequam ao objetivo da pesquisa e aos fins da investigação proposta.

A formulação de hipóteses e de objetivos é destacada por Bardin como uma possibilidade de serem estabelecidas ou não na pré-análise [26]. Nesta pesquisa traçamos objetivos e não levantamos hipóteses.

A próxima etapa se constitui na referenciação dos índices e a elaboração de indicadores que devem ser traçados baseados nos objetivos ou hipóteses. Nesta pesquisa selecionamos indicadores quantitativos que nos guiaram na análise referente aos livros didáticos nos quais o tópico de MQ e o subtópico da Radiação de um corpo negro (RCN) estão presentes. São estes: o volume da coleção com tópico da RCN, capítulos destinados a MQ, páginas totais, páginas destinadas a MQ e páginas destinadas a RCN.

Os resultados dessa etapa podem ser vistos na tabela I no tópico *V. ANÁLISE DOS LIVROS*. A análise foi realizada de forma manual, inicialmente pelo sumário e, em seguida, página a página do livro físico.

Realizamos, também, a exploração do material que consiste na “administração sistemática das decisões tomadas, quer se trate de procedimentos aplicados manualmente ou de operações efetuadas pelo ordenador” [26, p. 101], assim se resume, caso a pré-análise tenha sido concluída [26].

E, por fim, na etapa quantitativa fizemos o *tratamento dos dados obtidos e interpretação*, etapa responsável por tratar os dados encontrados de forma a torná-los significativos e válidos [26]. A partir desses aspectos, foi possível realizar a pesquisa quantitativa e traçar objetivos para, posteriormente, analisar a TD nessas coleções. Já na terceira etapa, os livros didáticos foram submetidos a uma análise qualitativa com o uso da teoria da TD de Chevallard. A análise foi guiada por aspectos que evidenciam alguns atributos da TD, são estes: A relação traçada entre os estudos da Termodinâmica e o problema da RCN; quais cientistas têm destaque na explicação do problema; qual importância é dada a Kirchhoff e os aspectos que evidenciam o negacionismo da hipótese de Planck pela comunidade científica e por ele mesmo. E os atributos da TD analisados nos aspectos foram: despersonalização, descontextualização, dessincretização e programabilidade.

Com os aspectos traçados, realizamos a análise dos livros didáticos a partir da Transposição Didática e dividimos os livros em grupos por apresentarem os mesmos aspectos quando observados. Ao todo, definimos 4 grupos. É importante frisar que a análise realizada não agrega valores aos saberes transpostos, ou seja, ela não diz se a TD nesse caso foi boa ou ruim, apenas aponta os aspectos observados durante a pesquisa.

Outro aspecto analisado foi a *programabilidade* dos conteúdos de MQ nas 12 coleções e, a partir da análise, separamos os livros em 2 grupos, os que seguem ordem cronológica e os que não seguem ordem cronológica.

## V. ANÁLISE DOS LIVROS

Os dados coletados na primeira etapa da pesquisa podem ser vistos na tabela I.

**TABELA I.** Levantamento dos indicadores quantitativos.

Coleção	Volume		Capítulos De MQ		Páginas Totais		Páginas de MQ		Páginas sobre RCN	
Col. 1	3		1		272		14		4	
Col. 2	3		1		256		11		4	
Col. 3	3		0		288		12		1	
Col. 4	3		1		280		14		0	
Col. 5	2	3	0	1	288	288	0	15	2	4
Col. 6	3		1		288		22		6	
Col. 7	3		1		288		26		5	
Col. 8	3		1		280		8		2	
Col. 9	3		1		288		9		5	
Col. 10	2	3	0	0	240	239	8	2	0	1
Col. 11	3		3		288		39		9	
Col. 12	3		0		288		18		5	

A partir desta análise, foi possível constatar que o conteúdo de Mecânica Quântica está presente nas 12 coleções distribuídas, o que evidencia a preocupação dos autores dos livros em *modernizar o saber ensinado*. Contudo, somente uma coleção (Col. 10) não apresenta a MQ no último volume. Isso pode ser indício da possibilidade de uma mudança na abordagem da FMC nos livros didáticos, uma vez que autores têm criticado que esses tópicos somente são apresentados nos últimos capítulos do volume 3 das coleções, fator que, aliado às poucas aulas semanais, dificulta a inserção da FMC no ensino básico [19,27]. Em relação ao tópico da radiação de um corpo negro, 11 coleções trazem o tópico sendo apenas a Col.4 a exceção, ou seja, cerca de 9% dos livros distribuídos pelo PNLD 2018 não trazem o tópico da RCN.

Destaca-se, igualmente, a Col. 11 por destinar 3 capítulos a MQ, sendo também a coleção com maior número de páginas destinadas a MQ e a RCN. Das coleções, a Col.3, Col.10 e Col. 12 não destinam capítulos para o tema. Assim, 11 coleções abordam a RCN no volume 3, sendo exceção a Col. 5 na qual a RCN está presente no volume 2 no tópico de Termodinâmica. É importante destacarmos que, apesar da Col. 5 abordar a RCN no volume 2, essas páginas não foram incluídas na *Tabela 1* como *Páginas de MQ* por se tratar no livro como conteúdo de Termodinâmica.

Nessa etapa, foi possível notar também que os autores dão preferência em trazer a Física Moderna e Contemporânea como último tópico nos livros. Esse fato prejudica a inserção da mesma na sala de aula visto que, nos casos em que o livro

é utilizado pelo professor como orientador das práticas em sala de aula, a carga horária destinada à disciplina de Física acaba sendo insuficiente para abordar tais conteúdos.

Além dos aspectos já mencionados, percebemos a importância de pesquisas voltadas para a análise dessas coleções, já que todas trazem o tópico de MQ, tornando-se necessário saber como esse conteúdo está sendo abordado nos livros didáticos.

Para a análise de como ocorreu a Transposição Didática do saber a fim de perceber os afastamentos entre o saber sábio e o saber a ensinar, guiamo-nos com os seguintes aspectos, já mencionados: A relação traçada entre os estudos da Termodinâmica e o problema da RCN (aspecto 1); quais cientistas têm destaque na explicação do problema (aspecto 2); qual importância é dada a Kirchhoff (aspecto 3) e os aspectos que evidenciam o negacionismo da hipótese de Planck pela comunidade científica e por ele mesmo (aspecto 4).

Iniciando a análise das coleções pelo aspecto 1 que possibilitou identificar quais coleções não abordam a relação entre os estudos da Termodinâmica e o problema da Radiação de um Corpo Negro. Os estudos em torno da questão “Por que os corpos emitem radiação quando aquecidos?” tratava de um problema estudado pela termodinâmica como já foi dito anteriormente. Assim, os livros que ocultam essa relação são *dessincronizados* e *descontextualizados*, ambos os atributos da TD se relacionam com ausência dos problemas que deram origem à investigação e construção do conhecimento e como ao logo desse processo ocorreram às controvérsias, conflitos, erros e acertos.

As coleções que ocultam essa relação são: Col.1, Col.2, Col.3, Col.6, Col.8, Col.9, Col.10 e Col.12. Sendo assim, cerca de 66,6% das coleções não trazem a origem do problema. Importante destacar que as três primeiras coleções se encaixam nesse aspecto, sendo elas as que obtiveram um maior número de exemplares distribuídos, fato que evidencia a potencialidade que estes afastamentos possuem de chegar até o aluno da educação básica passando a ideia de uma ciência simples e imediatista.

Em relação ao aspecto 2, dividimos a análise em torno de outras três questões e agrupamos os livros a partir delas. Este aspecto se refere aos quais cientistas têm destaque na explicação e desenvolvimento do problema. Colocamos em evidência as seguintes questões: quais livros atribuem toda progressão, desenvolvimento e resolução do problema apenas a Planck? Quais livros não citam o Kirchhoff, já que foi ele quem deu início às pesquisas e idealizou o que conhecemos como um corpo negro? E quais livros citam Wien e Rayleigh, cientistas que deram base para que Planck formulasse sua hipótese e equação? As coleções que deram destaque, citando apenas o nome de Planck foram: Col.2, Col.3, Col.7 e Col.10. Podemos destacar nessas coleções o atributo *da despersonalização* e *descontextualização*, visto que tais livros omitem os demais cientistas que contribuíram para a resolução do problema e assim ocultam também todo o contexto em volta da problemática e isso inclui o surgimento do problema, as discussões, embates, erros, acertos até sua solução. Essa abordagem propaga a ideia da ciência construída por poucas pessoas e, ainda, extraordinárias. Essa

característica está presente em 33,33% dos livros. Podemos destacar como exemplo a Col.3, na qual o tópico se intitula “O trabalho de Planck”, na qual, ao longo do texto, nota-se termos que evidenciam a *despersonalização*, como: segundo alguns cientistas e acreditava-se.

Sobre as coleções que não citam Kirchhoff e que, portanto, não o destaca como idealizador do problema e responsável pelas primeiras conclusões. Nessas coleções, é possível notar a *despersonalização* e por ocultar um dos cientistas iniciais podemos destacar também, a *dessincronização*. Notou-se esse aspecto em 50% das coleções sendo elas: Col. 2, Col.3, Col.7, Col.8, Col.10 e Col.12.

Nesses livros, é possível perceber que iniciam o tópico afirmando que a MQ surge a partir da dificuldade da Física chamada Clássica em explicar alguns fenômenos de forma satisfatória. Podemos usar um trecho do volume 3 da Col.2: “A Física Quântica surgiu em uma época em que se supunha que a Física Clássica era capaz de explicar a maior parte dos fenômenos observados” [28, p. 218]. E da Col.3: “No final do século XIX, acreditava-se que a Física Clássica era capaz de explicar todos os fenômenos conhecidos.” [29, p. 213].

As coleções que trazem as contribuições de Wien (1) e Rayleigh (2) correspondem a 33,33%, sendo elas: Col.1 (1)(2), Col.8 (1), Col.9 (1) e Col.11 (1)(2). Notamos que o Wien é mais citado do que o Rayleigh. Notamos, ainda, que livros como o Ser Protagonista (Col. 3) trazem a catástrofe ultravioleta sem citar Rayleigh, sendo assim, novamente, *despersonalizado*.

No aspecto 3, buscamos analisar detalhadamente qual importância é dada ao Kirchhoff nas coleções que o citam. Enquadraram-se, nessa etapa, 33,33% das coleções, sendo elas: Col.1, Col.5, Col.6 e Col.9. Notou-se também que os livros citados destacam Kirchhoff entre 1 e 3 linhas, trazendo-o como idealizador de um corpo negro.

Dentro dessas coleções, destacamos a Col.9, por trazer um box intitulado “Por dentro do conceito”, explicando o que é um corpo negro e relacionando Kirchhoff a ele de forma mais detalhada. Logo, notou-se pouco destaque ao cientista visto que é citado apenas em 4 das 12 coleções e, nas que é citado, observou-se pouco destaque.

No aspecto 4, buscamos analisar se as coleções abordam o negacionismo da época diante a hipótese de Planck, com o olhar voltado para trechos que evidenciam esses conflitos de aceitação. A Col.1 cita um trecho da fala de Planck descrita anteriormente: “ato de desespero, porque a questão tinha de ser resolvida” [30, p.227] e define a hipótese de Planck como “revolucionária”, sendo possível notar uma tentativa de contextualização com esses aspectos, entretanto o livro não retrata o fato de o próprio Planck não aceitar sua descoberta e, dessa forma, o trecho descrito pode vir a propagar a ideia do mesmo como um gênio isolado e seu ato de desespero.

A Col. 5, também, traz um trecho da mesma frase e afirma que a hipótese de Planck foi considerada bizarra e apenas foi aceita pela comunidade científica anos mais tarde. Observou-se que a Col. 6 cita um trecho da mesma frase e reforça o negacionismo do próprio Planck diante da sua hipótese. Esse fato ligado a negação de Planck, também, é citado pela Col.7.

A Col.8 afirma que Planck inicialmente relutou em publicar sua hipótese temendo críticas. Já a Col.9 não cita Planck e as Col.2, Col.3, Col.10, Col.11 e Col.12 não trazem aspectos que evidenciem os conflitos causados pela hipótese de Planck, apresentando, assim, o atributo da *descontextualização*.

Destacamos a Col. 5 por trazer a introdução do tópico RCN no volume 2 e no capítulo de Termodinâmica e dar continuação no volume 3. Notou-se a tentativa de contextualização.

Além desses atributos da TD, analisamos a *programabilidade* buscando observar a ordem em que os conteúdos são abordados nos livros e encontrar um padrão entre eles. Não encontramos um padrão específico e, por isso, optamos em separar esses livros em dois grupos: os livros que seguem a ordem cronológica dos fatos e os livros que não seguem a ordem cronológica dos fatos. Esta análise se referiu a todos os conteúdos de MQ abordados nas coleções.

Assim, 4 coleções seguem a ordem cronológica dos fatos, são estas: Col.1, Col.4, Col.7 e Col.12; ao ponto que 7 coleções não seguem a ordem cronológica dos fatos, são estas: Col.2, Col.3, Col.5, Col.6, Col.8, Col.9, Col.10 e Col.11.

Com a análise foi possível identificarmos em quais pontos o saber a ensinar se distanciou do saber sábio. Esses aspectos reforçam e propagam as visões deformadas de como o conhecimento científico é construído e fortalece a ideia da ciência construída por gênios isolados.

## V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após a análise, percebemos que os autores dos livros de Física possuem certa preocupação em atualizar o saber a ensinar com a inserção da MQ, visto que todos os livros trazem tópicos ligados a ela. Entretanto, nota-se que em torno de 92% das coleções abordam o tema no volume 3 o que dificulta a sua inserção em sala de aula devido a carga horária destinada à disciplina de Física na escola básica.

Os livros que abordam o tópico da RCN o trazem como o problema que deu início a MQ e, dentre os atributos da TD, notamos com destaque a *despersonalização*, sobretudo nos livros que atribuem a resolução do problema apenas a Planck, evidenciando e potencializando as visões deformadas acerca da construção do conhecimento científico.

O tópico da RCN atende as 5 questões apontadas por Astolfi, *et.al.* [13,19] como imprescindíveis para a manutenção dos saberes e, a partir da análise, foi possível explorar em quais trechos ou subtópicos o afastamento entre o saber sábio e o saber a ensinar foram mais evidentes, entre estes, fatores que ocultam pontos relevantes para discussão em sala de aula quando se trata da inserção da FMC.

Em todas as coleções, foi possível identificar pelo menos um dos atributos da TD e, nas coleções com evidência de *dessincronização* e *descontextualização*, identificamos a prevalência de visão a-problemática e a-histórica da ciência, pois constatamos a ausência do contexto de desenvolvimento do problema, isto é, sua história, e com isso a omissão das problemáticas que levaram Planck a solução, sendo essas

características mais evidentes nas coleções que trazem o Planck como único cientista responsável por chegar às conclusões finais sobre a Radiação de um corpo negro. Entretanto, iniciar o tópico de MQ relatando um dos problemas que lhe deram origem é de suma importância e 11 das 12 coleções trazem o referido tópico.

Assim, notamos que o tópico da RCN e da MQ estão presentes nos livros didáticos e que com TD é possível compreender como o conhecimento chega até os alunos da educação básica, suas potencialidades e limitações.

## VI. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela bolsa concedida ao projeto 19.573.301.5418 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.

## REFERENCIAS

- [1] Rosa, C. W., Rosa, A. B., *Ensino de Física: objetivos e imposições no ensino médio*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias **4**, (2005).
- [2] Terrazzan, E. D., *A inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na escola de 2º grau*. (Santa Maria, 1992).
- [3] Brasil, *Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, LDB. 9394/1996*.
- [4] Ostermann, F., Moreira, M., *Física contemporânea en la escuela secundaria: una experiencia en el aula involucrando formación de profesores*, Enseñanza de las ciencias **18**, 391-404 (2000).
- [5] Batista, C. A. S., Siqueira, M., *A inserção da Física Moderna e Contemporânea em ambientes reais de sala de aula: uma sequência de ensino-aprendizagem sobre a radioatividade*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física **34**, 880-902 (2017).
- [6] Silva, Y. A. R., Montanha, L., Siqueira, M., *Aceleradores e detectores de partículas no ensino médio: uma sequência de ensino-aprendizagem*. Caderno Brasileiro de Ensino de Física **37**, 1-31 (2020).
- [7] Ataíde, J. S. P. de, Lima, L. M. & Alves, E. de O., *A repetência e o abandono escolar no curso de licenciatura em física: um estudo de caso*, Physicae **6**, 21–32 (2000).
- [8] Pessoa, J. R. O., *“História da teoria quântica”*, (Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2010).
- [9] Pinto, A. C., Zanetic, J., *É possível levar a física quântica para o ensino médio?* Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis **16**, 7-34 (1999).
- [10] Delizoicov, D., Angotti, J. A., Pernambuco, M. M., *Ensino de Ciências: fundamentos e métodos*. 2ed. (Cortez, São Paulo, 2011).
- [11] Brasil, Ministério da Educação, *PNLD 2018: física – guia de livros didáticos – ensino médio/ Ministério da*

*Educação* Secretária de Educação Básica SEB, Fundo Nacional de Desenvolvimento da Educação, Brasília, DF: Ministério da Educação, Secretária de Educação Básica, 2017.

- [12] Dominguini, *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, (2010).
- [13] Astolfi, J. P. & Develay, M., *A didática das Ciências* (Papirus, Campinas, 2006).
- [14] Alves Filho, J. P., *Regras da transposição didática aplicadas ao laboratório didático*, Caderno Catarinense de Ensino de Física, Florianópolis **17**, 174-182 (2000).
- [15] Chevallard, Y., *La transposición didáctica: Del saber sabio al saber enseñado*, (La Pensée Sauvage, Buenos Aires, 1991).
- [16] Rodrigues, C. D. O., Pietrocola, M., *A abordagem da Relatividade Restrita em livros didáticos do Ensino médio e a Transposição Didática*. In: II Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (São Paulo, 1999).
- [17] Errobidart, N. C. G., Gobora, S. T., *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).
- [18] Solarte, M. C., *Los conceptos científicos presentados en los textos escolares: son consecuencia de la transposición didáctica*, Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa **1**, (2006).
- [19] Brockington, G. & Pietrocola, M., *Serão as regras da transposição didática aplicáveis aos conceitos de Física Moderna?* Investigação em Ensino de Ciências **10**, 387-404 (2005).
- [20] Segrè, E., *Dos raios x aos quarks*, Trad. De Wamberto H. Ferreira. (Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1987).
- [21] Dahmen, S.R., *Max Planck e a Física de sistemas estocásticos*, In: Freire, J. R., O., Pessoa, J. R., O., e Bromberg, J. L., *Teoria Quântica: estudos históricos e implicações culturais*, EDUEPB, Campina Grande; (Livraria da Física, São Paulo, 2011).
- [22] Bassalo, J. M. F., *Sobre a Lei de Rayleigh-Jeans*, Revista Brasileira de Ensino de Física **18**, (1996).
- [23] Pessoa, J. R. O., *História da teoria quântica*, (Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, 2010).
- [24] Attux, R., Cruz, C. C.; Soriano, D. C., *Notas de aula. Teoria Quântica da Radiação. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação*, (Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2012).
- [25] Pessoa, J. R. O., *Introdução Histórica à teoria quântica, aos seus problemas de fundamento e às suas interpretações*, Caderno de Física da UEFS **4**, 89-114 (2006).
- [26] Bardin, L., *Análise de conteúdo*. (Edições 70, Lisboa, 1977).
- [27] Siqueira, M., *Do visível ao indivisível: uma proposta de física de partículas elementares para o ensino de física*, Dissertação de Mestrado, (Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006).

Ana Caroline Thiara dos Santos, et al.

- [28] Barreto, F., *Física aula por aula: eletromagnetismo, física moderna*, 3, (FTD, São Paulo, 2016).
- [29] Válio, A. B. M., *Ser Protagonista: física*, 3 ano ed. (Edições SM, São Paulo, 2016).

- [30] Bonjorno, J. B., *Física: eletromagnetismo, física moderna*, 3º ano. 3. ed. (FTD, São Paulo, 2016).