REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

A TRANSPOSIÇÃO DIDÁTICA NO ENSINO DE FÍSICA MODERNA: UMA ANÁLISE DO CONCEITO DE RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO E DA CONSTANTE DE PLANCK NOS LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA NO PNLD 2026–2029

DIDACTIC TRANSPOSITION IN THE TEACHING OF MODERN PHYSICS: AN ANALYSIS OF THE CONCEPT OF BLACKBODY RADIATION AND PLANCK'S CONSTANT IN PHYSICS TEXTBOOKS FROM THE PNLD 2026–2029 PROGRAM.

LA TRANSPOSICIÓN DIDÁCTICA EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA MODERNA: UN ANÁLISIS DEL CONCEPTO DE RADIACIÓN DE CUERPO NEGRO Y DE LA CONSTANTE DE PLANCK EN LOS LIBROS DE TEXTO DE FÍSICA DEL PNLD 2026–2029.

Vitória Loren de Souza Santos
https://orcid.org/0009-0006-2348-3633
http://lattes.cnpq.br/7318835213740390
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), MA, Brasil
E-mail: vitorialoren47@outlook.com

Wellington Cantanhede dos Santos
https://orcid.org/0000-0001-7526-5407
http://lattes.cnpq.br/2061164311295342
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), MA, Brasil
E-mail: wellingtonc.santos@hotmail.com

Dadson Luis Ferreira Leite
https://orcid.org/0000-0003-1029-6071
http://lattes.cnpq.br/6906685450223970
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), MA, Brasil
E-mail: dadsonleite@professor.uema.br

Ubiraci Silva Nascimento
https://orcid.org/0000-0002-4069-601X
http://lattes.cnpq.br/4862030029119964
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), MA, Brasil
E-mail: ubiracisn@gmail.com

Valter Valder Reis Beckman
http://lattes.cnpq.br/0901463599312495
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), MA, Brasil
E-mail: valter52beckman@gmail.com

Edvan Moreira
https://orcid.org/0000-0002-5610-2757
http://lattes.cnpq.br/9406912742121871
Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), MA, Brasil
E-mail: edvan.moreira@fisica.uema.br

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

Resumo

Este estudo investiga o processo de transposição didática no ensino de Física Moderna, com foco no conceito de radiação de corpo negro e na constante de Planck presentes nos livros didáticos de Física aprovados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) 2026-2029. Nesta pesquisa, analisaram-se nove coleções destinadas ao Ensino Médio, utilizando-se a técnica de Análise de Conteúdo proposta por Bardin, que permitiu identificar categorias relacionadas à presença, organização e abordagem conceitual dos temas. Os resultados mostram que oito livros contemplam a temática da radiação de corpo negro e da constante de Planck, porém com diferentes níveis de profundidade, contextualização e rigor conceitual. A maior parte das obras enfatiza aplicações tecnológicas e curiosidades históricas, enquanto a fundamentação física dos fenômenos é frequentemente resumida ou simplificada, com pouco espaço para a discussão epistemológica do surgimento da teoria quântica. Observou-se predominância de explicações descritivas e esquemas ilustrativos, mas poucos exercícios diretos, além de uma reduzida proposição de tarefas investigativas ou experimentais. Conclui-se que a transposição didática realizada pelos livros tende a privilegiar abordagens descritivas e simplificadas, limitando o desenvolvimento da compreensão conceitual e argumentativa dos estudantes, apontando para a necessidade de abordagens que articulem a Física Moderna com sua dimensão histórica, matemática e experimental, ampliando o entendimento das bases teóricas que sustentam os modelos quânticos e suas aplicações tecnológicas.
Palavras-chave: Transposição didática; Física Moderna; PNLD 2026-2029; Livro Didático.

Abstract

This study investigates the process of didactic transposition in Modern Physics teaching, focusing on the concept of blackbody radiation and Planck's constant as presented in Physics textbooks approved by the Brazilian National Textbook and Teaching Material Program (PNLD) 2026–2029. In this research, nine textbook collections aimed at upper secondary education were analyzed using Bardin's Content Analysis technique, which allowed the identification of categories related to the presence, organization, and conceptual approach of these topics. The results show that eight textbooks address blackbody radiation and Planck's constant, although with varying levels of depth, contextualization, and conceptual rigor. Most works emphasize technological applications and historical curiosities, while the physical foundation of the phenomena is often summarized or simplified, with little room for epistemological discussion on the emergence of quantum theory. A predominance of descriptive explanations and illustrative schemes was observed, along with few direct exercises and a limited number of investigative or experimental tasks. It is concluded that the didactic transposition carried out by the textbooks tends to favor descriptive and simplified approaches, limiting the development of students' conceptual and argumentative understanding. This points to the need for approaches that articulate Modern Physics with its historical, mathematical, and experimental dimensions, thereby broadening the understanding of the theoretical bases that support quantum models and their technological applications.
Keywords: *Didactic transposition; Modern Physics; PNLD 2026-2029; Textbooks.*

Resumen

Este estudio investiga el proceso de transposición didáctica en la enseñanza de la Física Moderna, centrándose en el concepto de radiación de cuerpo negro y la constante de Planck presentes en los libros de texto de Física aprobados por el Programa Nacional del Libro y del Material Didáctico (PNLD) 2026–2029. En esta investigación se analizaron nueve colecciones destinadas a la Educación Secundaria, utilizando la técnica de Análisis de Contenido propuesta por Bardin, que permitió identificar categorías relacionadas con la presencia, organización y enfoque conceptual de los temas. Los resultados muestran que ocho libros abordan la temática de la radiación de cuerpo negro y la constante de Planck, aunque con diferentes niveles de profundidad, contextualización y rigor conceptual. La mayoría de las obras enfatizan aplicaciones tecnológicas y curiosidades históricas, mientras que la fundamentación física de los fenómenos suele ser resumida o simplificada, con poco espacio para la discusión epistemológica del surgimiento de la teoría cuántica. Se observó un

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

predominio de explicaciones descriptivas y esquemas ilustrativos, pero pocos ejercicios directos, además de una reducida propuesta de tareas investigativas o experimentales. Se concluye que la transposición didáctica realizada por los libros tiende a privilegiar enfoques descriptivos y simplificados, limitando el desarrollo de la comprensión conceptual y argumentativa de los estudiantes, lo que apunta a la necesidad de enfoques que articulen la Física Moderna con su dimensión histórica, matemática y experimental, ampliando el entendimiento de las bases teóricas que sustentan los modelos cuánticos y sus aplicaciones tecnológicas.

Palabras clave: Transposición didáctica; Física moderna; PNLD 2026-2029; Libros de texto.

1. Introdução

Historicamente, o conhecimento físico é organizado em grandes períodos que refletem a evolução do pensamento científico. Conforme delineado por Pereira (2015), a Física Clássica, consolidada até o final do século XIX, baseava-se em princípios de determinismo e causalidade, onde fenômenos como o movimento dos corpos celestes e o eletromagnetismo eram explicados por leis consideradas absolutas. No entanto, o advento do século XX trouxe consigo uma revolução científica, marcada pelo surgimento da Teoria da Relatividade e da Mecânica Quântica, que introduziram novos paradigmas para a compreensão do universo em escalas atômica e cosmológica, inaugurando assim a era da Física Moderna e Contemporânea (Pereira, 2015).

Diante do avanço científico e tecnológico decorrente desses novos conhecimentos, o principal documento orientador nacional, a Base Nacional Comum Curricular (Brasil, 2018), recomenda a inclusão de tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) no currículo do Ensino Médio. O objetivo é aproximar os estudantes das discussões científicas atuais e dos impactos tecnológicos no seu cotidiano.

Apesar de sua relevância científica e de sua presença nos documentos curriculares oficiais, como os que orientam o Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), o ensino desses conteúdos ainda enfrenta desafios significativos conforme delimitado por Brockington e Pietrocola (2005). Tais dificuldades estão relacionadas, sobretudo, à elevada abstração conceitual envolvida, à necessidade de formalismo matemático e às limitações na formação docente para abordar temas de Física Moderna no contexto escolar. Nesse cenário, os livros didáticos assumem papel central conforme delimitado por Gouvêa (2008),

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

uma vez que frequentemente constituem o principal recurso pedagógico utilizado por professores e estudantes.

A análise da forma como o conhecimento científico é apresentado nesses materiais podem ser compreendidas à luz da teoria da Transposição Didática, proposta por Yves Chevallard (2013), a qual investiga as transformações sofridas pelo saber científico ao ser adaptado para o contexto escolar. Esse processo envolve não apenas simplificações conceituais, mas também reconfigurações epistemológicas e didáticas que podem impactar diretamente a compreensão dos estudantes acerca dos conceitos científicos.

A inserção de conteúdos de Física Moderna no ensino médio é fundamental para proporcionar aos estudantes uma compreensão mais atualizada da ciência conforme é defendido por Ostermann e Moreira (2000). Sendo alinhada aos avanços que marcaram a Física no século XX e que sustentam diversas tecnologias contemporâneas, nesse contexto, temas como a radiação de corpo negro e a constante de Planck desempenham papel central na introdução de conceitos da teoria quântica, contribuindo para a formação de uma visão mais ampla e crítica sobre a natureza do conhecimento científico.

Entretanto, para que essa inserção seja efetiva, é essencial que tais conteúdos sejam apresentados de forma conceitualmente consistente, bem estruturada e didaticamente adequada nos materiais de ensino, algo sintetizado por Sabino (2016). A forma como esses conceitos são organizados e explicados nos livros didáticos pode influenciar diretamente a compreensão dos estudantes, tornando-se, portanto, indispensável investigar a qualidade dessa abordagem nos materiais atualmente disponíveis. Apesar da existência de pesquisas que discutem a inserção da Física Moderna no Ensino Médio e sua presença nos livros didáticos, ainda são escassos estudos voltados especificamente para a análise da transposição didática dos conceitos de radiação de corpo negro e constante de Planck nas coleções aprovadas pelo PNLD 2026–2029. Essa lacuna motivou a presente investigação.

Diante desse contexto, o presente estudo tem como objetivo analisar como os conceitos de radiação de corpo negro e da constante de Planck são abordados

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

em livros didáticos de Física aprovados pelo PNLD para o ciclo 2026–2029, buscando identificar de que maneira ocorre o processo de transposição didática desses conteúdos, bem como as principais simplificações, omissões e reconfigurações presentes nessas obras.

O surgimento da Física Moderna, no início do século XX, está associado às limitações enfrentadas pela Física Clássica na explicação de determinados fenômenos naturais. Entre esses, destaca-se o problema da radiação de corpo negro, que consistia na descrição da distribuição espectral da radiação emitida por um corpo em equilíbrio térmico. As teorias clássicas, como a lei de Rayleigh-Jeans, apresentavam resultados satisfatórios apenas em baixas frequências, mas levavam a previsões inconsistentes em altas frequências, culminando no chamado problema da “catástrofe do ultravioleta” (Sears et al., 2016).

Na tentativa de resolver essa inconsistência, Max Planck propôs, em 1900, que a energia não seria emitida ou absorvida de forma contínua, mas em quantidades discretas, denominadas *quanta*. Essa hipótese introduziu uma ruptura conceitual significativa em relação à Física Clássica, ao estabelecer a quantização da energia como princípio fundamental. A partir dessa proposição, foi possível obter uma expressão teórica consistente para a distribuição da radiação de corpo negro, marcando o início da teoria quântica. A constante introduzida por Planck, posteriormente denominada constante de Planck, assume papel central nesse novo paradigma, estabelecendo a relação entre energia e frequência da radiação. Sua introdução não apenas solucionou um problema específico da Física, mas também abriu caminho para o desenvolvimento de novas teorias e modelos que redefiniram a compreensão dos fenômenos microscópicos (Sears et al., 2016).

2. Radiação de Corpo Negro e a Constante de Planck

A radiação de corpo negro desempenha papel fundamental na história da Física por representar um dos fenômenos que evidenciaram as limitações da Física Clássica no final do século XIX. Um corpo negro é um sistema ideal capaz de absorver toda a radiação eletromagnética incidente, emitindo radiação cuja distribuição espectral depende exclusivamente de sua temperatura (Polito, 2017).

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

Embora esse comportamento seja idealizado, ele pode ser aproximado experimentalmente por uma cavidade com uma pequena abertura, utilizada como modelo para o estudo da radiação térmica.

As tentativas de explicar a distribuição espectral dessa radiação por meio das teorias clássicas mostraram-se insuficientes. Em particular, a lei de Rayleigh-Jeans previa que a intensidade da radiação tenderia ao infinito para pequenos comprimentos de onda, resultado conhecido como catástrofe do ultravioleta, incompatível com as observações experimentais (Sears et al., 2016). Essa inconsistência revelou a necessidade de um novo modelo para explicar o comportamento da radiação emitida pelos corpos aquecidos.

Em 1900, Max Planck propôs que a energia não era emitida ou absorvida de forma contínua, mas em quantidades discretas, denominadas *quanta*. Essa hipótese permitiu descrever corretamente o espectro da radiação de corpo negro e marcou o início da teoria quântica, introduzindo a constante de Planck como uma das constantes fundamentais da Física Moderna (Sears et al., 2016). Do ponto de vista do ensino, a radiação de corpo negro e a constante de Planck representam conceitos centrais para compreender a ruptura entre a Física Clássica e a Física Moderna.

Essa ruptura, entretanto, apresenta desafios para o ensino, uma vez que a abordagem da Física Moderna exige a adaptação de conceitos e estruturas teóricas desenvolvidos em contextos científicos distintos daqueles presentes na educação básica, tornando necessário considerar os processos de transposição didática envolvidos em sua apresentação escolar (Brockington; Pietrocola, 2005). Além de seu significado histórico e científico, esses conteúdos constituem uma das primeiras oportunidades para discutir a mudança de paradigmas na ciência e a construção de novos modelos explicativos. Por essa razão, a forma como esses conceitos são apresentados nos livros didáticos torna-se um aspecto relevante para a investigação do processo de transposição didática.

2.1 As formulações de Wien: distinção entre a Lei do Deslocamento e a Fórmula de Distribuição Espectral

No contexto do desenvolvimento histórico dos modelos da radiação de corpo

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925
Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

negro no final do século XIX, faz-se indispensável diferenciar duas contribuições distintas propostas pelo físico Wilhelm Wien:

a) **Lei do Deslocamento de Wien (1893):** fundamentada em princípios clássicos da termodinâmica e do eletromagnetismo de Maxwell, estabelece que o comprimento de onda correspondente ao pico de máxima emissão ($\lambda_{máx}$) é inversamente proporcional à temperatura absoluta (T) do corpo emissor, expressa por $\lambda_{máx} \cdot T = b$ (onde $b \approx 2{,}898 \times 10^{-3}$ m · K). Esta lei possui validade física universal e permaneceu plenamente válida e corroborada pelos dados experimentais ao longo do espectro estudado.

b) **Fórmula de Distribuição de Wien (1896):** constitui uma tentativa empírico-teórica de descrever a curva completa da densidade espectral de radiação em função da frequência ou comprimento de onda. Embora apresentasse excelente concordância experimental na região de altas frequências (curtos comprimentos de onda, correspondentes ao ultravioleta), essa formulação falhava expressivamente na região de baixas frequências (longos comprimentos de onda / infravermelho).

Essa limitação teórica revela uma importante simetria epistemológica na crise da Física Clássica: enquanto a Lei de Rayleigh-Jeans explicava as baixas frequências e falhava catastroficamente em altas frequências (a "catástrofe do ultravioleta"), a Fórmula de Radiação de Wien descrevia com precisão as altas frequências, mas tornava-se inconsistente em baixas frequências. Foi justamente a busca por uma interpolação matemática consistente entre o regime assintótico de Wien e o de Rayleigh-Jeans que conduziu Max Planck, em 1900, à dedução de sua função de distribuição espectral e à subsequente postulação da quantização da energia.

2.2 Transposição Didática

A teoria da Transposição Didática, desenvolvida por Yves Chevallard na década de 1980, constitui um dos principais referenciais teóricos para compreender como o conhecimento científico é transformado ao ser incorporado ao contexto escolar. Nessa perspectiva, o conhecimento produzido pela comunidade científica, denominado saber sábio, não é transferido diretamente para a escola, mas passa

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

por sucessivas adaptações que o tornam passível de ensino (Chevallard, 2013).

Segundo essa teoria, o processo de transposição didática envolve diferentes níveis de transformação do conhecimento. Inicialmente, o saber sábio é convertido em saber a ensinar, materializado em documentos curriculares, programas de ensino e livros didáticos. Posteriormente, esse conhecimento é transformado em saber ensinado, correspondente ao conteúdo efetivamente desenvolvido pelo professor em sala de aula. Durante esse percurso, o conhecimento científico sofre adaptações que incluem simplificações conceituais, reorganização de conteúdos, seleção de informações e, em determinadas situações, a omissão de aspectos considerados excessivamente complexos para o nível de ensino.

Essas transformações não devem ser compreendidas como uma descaracterização do conhecimento científico. Ao contrário, constituem adaptações necessárias para que conteúdos produzidos em contextos altamente especializados possam ser apropriados pelos estudantes da educação básica. Dessa forma, a transposição didática busca estabelecer um equilíbrio entre o rigor conceitual do saber científico e as demandas pedagógicas do processo de ensino e aprendizagem.

Chevallard (2013) também destaca o papel da noosfera, entendida como o conjunto de agentes e instituições responsáveis por mediar essas transformações. Nesse grupo encontram-se autores de livros didáticos, especialistas, pesquisadores, formuladores de currículos, sistemas de avaliação e órgãos responsáveis pelas políticas educacionais. Esses agentes participam da seleção dos conhecimentos considerados socialmente relevantes, definindo quais conteúdos serão incorporados ao currículo escolar, a forma como serão organizados e o grau de aprofundamento com que serão apresentados aos estudantes.

No decorrer desse processo, o conhecimento científico pode ser submetido a diferentes estratégias de transposição didática. Entre elas destacam-se a simplificação conceitual, quando ideias altamente abstratas são apresentadas por meio de linguagem mais acessível; a reorganização da sequência de apresentação dos conteúdos em relação ao desenvolvimento histórico da ciência; a recontextualização, que aproxima os conceitos de situações cotidianas, aplicações tecnológicas ou fenômenos familiares aos estudantes; e a omissão de determinados

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

elementos matemáticos, históricos ou epistemológicos considerados incompatíveis com os objetivos educacionais daquele nível de ensino. Essas estratégias não constituem falhas do processo, mas mecanismos utilizados para tornar o conhecimento científico ensinável.

No ensino de Física, especialmente no que se refere à Física Moderna, a transposição didática assume papel ainda mais relevante em razão do elevado grau de abstração dos conceitos envolvidos e do formalismo matemático característico dessa área. Conceitos como radiação de corpo negro e constante de Planck, originalmente desenvolvidos no contexto da Física Teórica, precisam ser reorganizados para atender às finalidades da educação básica, preservando seus aspectos essenciais sem comprometer a compreensão dos estudantes.

Dessa forma, a teoria da Transposição Didática oferece um referencial adequado para analisar como esses conhecimentos são apresentados nos livros didáticos. No contexto desta pesquisa, busca-se compreender de que maneira os conceitos de radiação de corpo negro e constante de Planck foram transformados do saber sábio para o saber a ensinar, identificando processos de simplificação, reorganização, recontextualização e seleção de conteúdos nas coleções aprovadas pelo PNLD 2026–2029.

2.3 O livro didático como materialização do saber a ensinar

O livro didático constitui um dos principais recursos pedagógicos utilizados na educação básica, desempenhando papel fundamental na organização dos conteúdos, na orientação das práticas docentes e na mediação do processo de ensino e aprendizagem. No contexto brasileiro, sua relevância é ampliada pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD), responsável pela avaliação, seleção e distribuição das obras destinadas às escolas públicas. Dessa forma, os livros aprovados pelo programa tornam-se uma das principais referências para o desenvolvimento curricular em grande parte das instituições de ensino.

Sob a perspectiva da teoria da Transposição Didática, o livro didático pode ser compreendido como uma das principais materializações do saber a ensinar, uma vez que organiza e apresenta o conhecimento científico de acordo com objetivos

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

educacionais, orientações curriculares e características do público escolar (Pena, 2006). Nesse processo, os conteúdos científicos são selecionados, reorganizados, simplificados e contextualizados, tornando-se acessíveis ao nível de ensino para o qual se destinam.

> Esse processo de organização do conhecimento também pode ser relacionado ao papel dos manuais na formação científica, uma vez que eles apresentam conhecimentos e soluções de problemas que participam da aprendizagem dos estudantes (OLIVEIRA, 2021).

Essa característica faz do livro didático um importante objeto de investigação nas pesquisas em Ensino de Ciências, pois as escolhas realizadas por seus autores evidenciam como ocorre a transformação do conhecimento científico em conhecimento escolar. A organização dos capítulos, a linguagem empregada, o nível de aprofundamento conceitual, a utilização de recursos gráficos, as aplicações tecnológicas e as atividades propostas constituem elementos que expressam diferentes estratégias de transposição didática.

Nesse contexto, as pesquisas sobre a natureza da ciência no ensino alertam para os riscos das deformações epistemológicas decorrentes de transposições didáticas excessivamente reducionistas. Como destacam Cachapuz et al. (2001), o ensino de ciências frequentemente veicula visões simplistas e descontextualizadas quando desconsidera os aportes da História e da Filosofia da Ciência. A ausência de reflexões epistemológicas nos materiais escolares tende a retratar a ciência de forma puramente acumulativa, linear e empírico-indutivista, ocultando dos estudantes as controvérsias, as crises conceituais e as rupturas paradigmáticas que marcaram episódios históricos fundamentais, a exemplo do surgimento da Física Quântica.

> Sob essa perspectiva, a organização do conhecimento científico envolve diferentes elementos, como generalizações simbólicas, modelos, valores e soluções exemplares de problemas, que se articulam na constituição de uma matriz disciplinar (OLIVEIRA, 2021).

No caso da Física Moderna, essa discussão torna-se particularmente

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

relevante. Diversos estudos defendem a inserção desses conteúdos no Ensino Médio por sua importância para a compreensão da ciência contemporânea e das tecnologias presentes no cotidiano, além de favorecerem uma visão menos linear e mais dinâmica da construção do conhecimento científico (Pena, 2006; Ostermann; Moreira, 2000). Entretanto, o elevado grau de abstração desses temas impõe desafios à sua abordagem nos materiais didáticos, exigindo adaptações que preservem os conceitos fundamentais sem comprometer sua compreensão pelos estudantes.

Nesse contexto, conceitos como a radiação de corpo negro e a constante de Planck representam exemplos particularmente relevantes para investigar o processo de transposição didática. Além de constituírem marcos históricos da Física Moderna, esses conteúdos envolvem mudanças conceituais profundas em relação à Física Clássica, exigindo dos autores dos livros didáticos decisões sobre o nível de formalismo matemático, a contextualização histórica, as aplicações tecnológicas e a linguagem utilizada em sua apresentação.

Dessa forma, analisar as coleções aprovadas pelo PNLD 2026–2029 à luz da teoria da Transposição Didática permite compreender como esses conhecimentos foram transformados do saber científico para o saber escolar, identificando quais aspectos foram preservados, simplificados, reorganizados ou omitidos durante esse processo. Essa análise possibilita discutir não apenas a qualidade da abordagem dos conteúdos, mas também as diferentes estratégias utilizadas pelos autores para tornar a Física Moderna acessível aos estudantes do Ensino Médio.

Nesse sentido, a transposição didática de tópicos quânticos para a educação básica enfrenta o que Karam e Pietrocola (2008) denominam de impasse entre a formalização matemática e a abordagem conceitual. Ao investigar o ensino de temas modernos no Ensino Médio, os autores advertem que a opção exclusiva por abordagens puramente qualitativas, que eliminam totalmente o aparato matemático sob a justificativa de simplificação didática, pode induzir distorções epistemológicas e limitar a compreensão do papel estruturante da Matemática na gênese das teorias físicas, como na própria quantização postulada por Planck. Assim, articular rigor conceitual, suporte semiótico e modelos matemáticos acessíveis torna-se

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

fundamental para superar a dicotomia entre um formalismo inacessível e uma narrativa puramente descritiva.

3. Metodologia

A presente pesquisa caracteriza-se como qualitativa, de natureza documental, tendo como objeto de investigação os livros didáticos de Física aprovados pelo Programa Nacional do Livro e do Material Didático (PNLD) para o ciclo 2026–2029. Nesse contexto, os livros didáticos constituem documentos relevantes para compreender como o conhecimento científico é organizado e apresentado no contexto escolar.

O corpus da pesquisa é composto por nove coleções destinadas ao Ensino Médio aprovadas no PNLD 2026–2029: *Ciência Viva – Física*; *Cultura Científica e Mundo Contemporâneo – Física*; *Do Seu Jeito – Física*; *Identidade – Física*; *Moderna Plus – Física*; *Moderna SuperAção! – Física*; *360° Física*; *Física por Toda Parte*; e *Ser Protagonista – Física*. A seleção dessas obras justifica-se por sua ampla distribuição nas escolas públicas brasileiras e por constituírem os principais materiais utilizados na abordagem dos conteúdos de Física Moderna no Ensino Médio.

A investigação concentrou-se especificamente nos capítulos dedicados à radiação de corpo negro, à constante de Planck e à introdução da teoria quântica. Esses conteúdos foram escolhidos por representarem um marco histórico da transição entre a Física Clássica e a Física Moderna e por constituírem exemplos relevantes para analisar o processo de transposição didática de conceitos científicos altamente abstratos.

Para a análise dos dados foi empregada a Análise de Conteúdo, conforme proposta por Bardin (2011), articulada ao referencial da Transposição Didática de Chevallard (2013). Embora a Análise de Conteúdo tenha orientado a organização e a interpretação do material, as categorias de análise foram definidas *a priori*, fundamentadas na teoria da Transposição Didática e nos objetivos da pesquisa.

Inicialmente, realizou-se a pré-análise, mediante leitura exploratória de todas as coleções, com a finalidade de identificar a localização dos conteúdos de Física Moderna e selecionar as seções relacionadas à radiação de corpo negro e à

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

constante de Planck. Essa etapa possibilitou a organização do corpus e a definição das unidades de análise.

Na etapa de exploração do material, procedeu-se à leitura sistemática dos capítulos selecionados, considerando aspectos relacionados à forma como os conceitos científicos foram transformados em conhecimento escolar. Para essa análise foram estabelecidas cinco categorias:

a) organização e estrutura do conteúdo, considerando a localização do tema na obra e sua articulação com outros conteúdos;
b) abordagem conceitual, observando o nível de aprofundamento, o tratamento histórico e epistemológico dos conceitos e a presença ou ausência de formalismo matemático;
c) linguagem e recursos didáticos, contemplando o uso de figuras, gráficos, esquemas, analogias, boxes explicativos e demais estratégias de comunicação científica;
d) contextualização e aplicações, verificando a presença de relações com fenômenos cotidianos, aplicações tecnológicas e aspectos interdisciplinares;
e) elementos da transposição didática, identificando processos de simplificação conceitual, reorganização dos conteúdos, recontextualização e eventuais omissões do saber científico na constituição do saber a ensinar.

Na etapa de tratamento, interpretação e inferência, os resultados obtidos foram analisados à luz da teoria da Transposição Didática, buscando compreender como os diferentes autores reorganizam o saber científico para sua inserção no contexto escolar. A comparação entre as coleções permitiu identificar aproximações e diferenças quanto ao nível de aprofundamento conceitual, ao grau de contextualização e às estratégias utilizadas para tornar os conteúdos acessíveis aos estudantes do Ensino Médio.

Para operacionalizar a síntese comparativa qualitativa apresentada na seção de resultados (Tabela 1), estabeleceram-se descritores analíticos com base no conjunto de evidências textuais e iconográficas observadas em cada categoria, atribuindo-se níveis descritivos (*Alto*, *Médio*, *Baixo* e — ausente):

1. **Rigor conceitual e formalismo:** foi considerado **Alto** quando a obra preserva

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

a fundamentação epistemológica da crise da Física Clássica, introduz modelos teóricos consistentes (como cavidade e osciladores) e articula equações fundamentais (ex.: Leis de Wien, Stefan-Boltzmann ou dedução da hipótese de Planck); **Médio**, quando aborda a conceituação física e a falha clássica de forma descritiva, mas simplifica as deduções matemáticas e o formalismo analítico a boxes secundários ou relações diretas; **Baixo**, quando restringe a apresentação a definições superficiais, utilitárias ou puramente qualitativas, sem detalhar o mecanismo da quantização; e **— (Ausente)**, nos casos em que o conteúdo foi integralmente omitido pela obra.

2. **Recursos didáticos e Contextualização:** o nível **Alto** reflete a incorporação sistemática de gráficos espectrais precisos, analogias consistentes, esquemas conceituais e aplicações tecnológicas articuladas à física do fenômeno; **médio** indica uso pontual de ilustrações descritivas ou aplicações cotidianas sem aprofundamento de sua conexão com a teoria quântica; e **Baixo** denota escassez de recursos visuais ou contextualizações puramente decorativas.

Ressalta-se que esses rótulos não têm finalidade métrico-quantitativa, mas atuam como categorias síntese que qualificam o grau de transposição e as transformações sofridas pelo *saber sábio* ao ser convertido em *saber a ensinar* em cada coleção.

Por fim, destaca-se que esta pesquisa possui caráter eminentemente interpretativo. Não se buscou quantificar a ocorrência dos elementos analisados, mas compreender qualitativamente como o processo de transposição didática se materializa nas diferentes coleções do PNLD 2026–2029, evidenciando potencialidades, limitações e distintas formas de organização do conhecimento científico nos livros didáticos.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

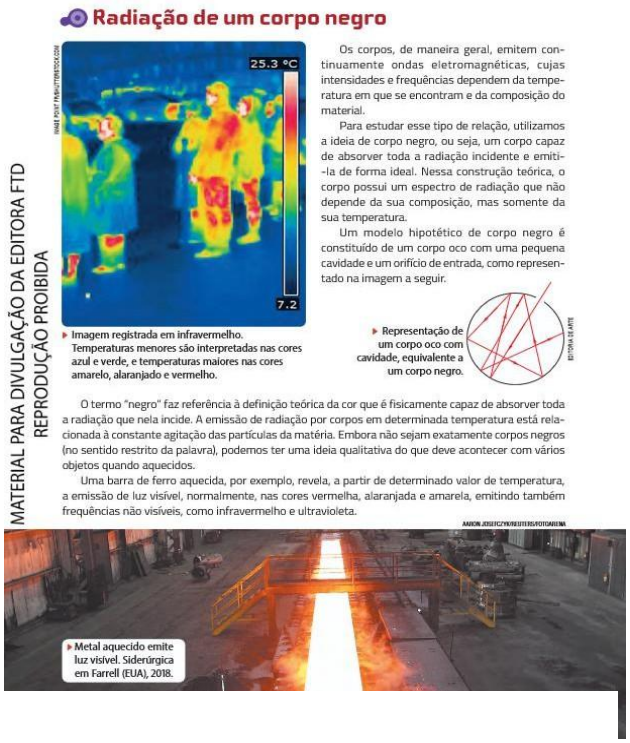
Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

4. Resultados e discussões

4.1 Análise individual das coleções

No que diz respeito à abordagem conceitual, verifica-se uma tendência à simplificação dos conteúdos, com ênfase em resultados, como a relação entre energia e frequência, em detrimento de uma discussão mais aprofundada sobre os problemas históricos e epistemológicos que fundamentaram o surgimento da teoria quântica. Embora a linguagem e os recursos didáticos busquem tornar os conteúdos mais acessíveis, por meio de analogias e explicações simplificadas, essa estratégia, em alguns casos, resulta na perda de rigor conceitual e na redução do potencial formativo desses conhecimentos.

Figura 1 – Página do conteúdo referente à radiação de corpo negro e à constante de Planck na coleção 360° Física.



Fonte: 360° Física, Editora FTD, 2024.

Ao analisar a estrutura da coleção *360° Física* exposto na Figura 1 ao lado, identifica-se um modelo de transposição fortemente condicionado pela diagramação visual e mercadológica do material. No sumário, os tópicos de Física Moderna aparecem integrados a blocos mais amplos de conteúdo, muitas vezes divididos em subfocos ou infográficos compactos. Na exposição do conteúdo, a radiação do corpo negro é apresentada de maneira resumida e fragmentada.

O foco principal da narrativa didática se desloca rapidamente da crise teórica termodinâmica para as suas aplicações tecnológicas imediatas e

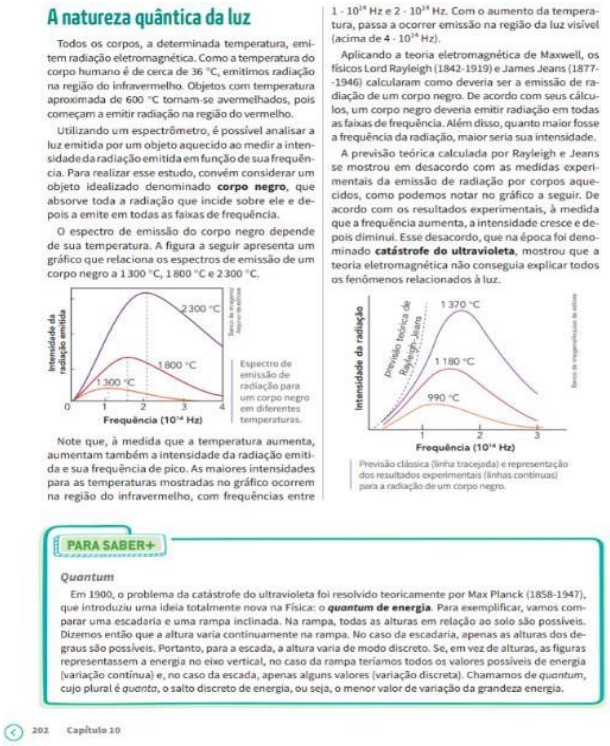
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

cotidianas, tais como sensores de presença, termografia e o funcionamento de câmeras de infravermelho. Sob a perspectiva da teoria de Chevallard, ocorre aqui uma simplificação acentuada do formalismo matemático: as equações e o dilema da catástrofe do ultravioleta são reduzidos a boxes complementares ou notas secundárias, priorizando a memorização fenomenológica e a atratividade visual em detrimento do percurso histórico-epistemológico do conceito.

Figura 2 – Página do conteúdo referente à radiação de corpo negro e à constante de Planck na coleção *Ciência Viva – Física*.



A natureza quântica da luz

Todos os corpos, a determinada temperatura, emitem radiação eletromagnética. Como a temperatura do corpo humano é de cerca de 36 °C, emitimos radiação na região do infravermelho. Objetos com temperatura aproximada de 600 °C tornam-se avermelhados, pois começam a emitir radiação na região do vermelho.

Utilizando um espectrômetro, é possível analisar a luz emitida por um objeto aquecido ao medir a intensidade da radiação emitida em função de sua frequência. Para realizar esse estudo, convém considerar um objeto idealizado denominado **corpo negro**, que absorve toda a radiação que incide sobre ele e depois a emite em todas as faixas de frequência.

O espectro de emissão do corpo negro depende de sua temperatura. A figura a seguir apresenta um gráfico que relaciona os espectros de emissão de um corpo negro a 1 300 °C, 1 800 °C e 2 300 °C.

Espectro de emissão de radiação para um corpo negro em diferentes temperaturas.

Note que, à medida que a temperatura aumenta, aumentam também a intensidade da radiação emitida e sua frequência de pico. As maiores intensidades para as temperaturas mostradas no gráfico ocorrem na região do infravermelho, com frequências entre $1 \cdot 10^{14}$ Hz e $2 \cdot 10^{14}$ Hz. Com o aumento da temperatura, passa a ocorrer emissão na região da luz visível (acima de $4 \cdot 10^{14}$ Hz).

Aplicando a teoria eletromagnética de Maxwell, os físicos Lord Rayleigh (1842-1919) e James Jeans (1877-1946) calcularam como deveria ser a emissão de radiação de um corpo negro. De acordo com seus cálculos, um corpo negro deveria emitir radiação em todas as faixas de frequência. Além disso, quanto maior fosse a frequência da radiação, maior seria sua intensidade.

A previsão teórica calculada por Rayleigh e Jeans se mostrou em desacordo com as medidas experimentais da emissão de radiação por corpos aquecidos, como podemos notar no gráfico a seguir. De acordo com os resultados experimentais, à medida que a frequência aumenta, a intensidade cresce e depois diminui. Esse desacordo, que na época foi denominado **catástrofe do ultravioleta**, mostrou que a teoria eletromagnética não conseguia explicar todos os fenômenos relacionados à luz.

Previsão clássica (linha tracejada) e representação dos resultados experimentais (linhas contínuas) para a radiação de um corpo negro.

PARA SABER+

Quantum

Em 1900, o problema da catástrofe do ultravioleta foi resolvido teoricamente por Max Planck (1858-1947), que introduziu uma ideia totalmente nova na Física: o ***quantum* de energia**. Para exemplificar, vamos comparar uma escadaria e uma rampa inclinada. Na rampa, todas as alturas em relação ao solo são possíveis. Dizemos então que a altura varia continuamente na rampa. No caso da escadaria, apenas as alturas dos degraus são possíveis. Portanto, para a escada, a altura varia de modo discreto. Se, em vez de alturas, as figuras representassem a energia no eixo vertical, no caso da rampa teríamos todos os valores possíveis de energia (variação contínua) e, no caso da escada, apenas alguns valores (variação discreta). Chamamos de *quantum*, cujo plural é *quanta*, o salto discreto de energia, ou seja, o menor valor de variação da grandeza energia.

202 Capítulo 10

Fonte: Ciência Viva, Editora Scipione, 2024.

No que concerne à coleção Ciência Viva – Física apresentada na Figura 2, a transposição didática do saber sábio se materializa a partir de um sumário que confere uma sequência estruturada e progressiva para a Física Moderna. Observa-se que o conteúdo de radiação do corpo negro e quantização da energia é alocado de forma independente e bem delimitada, servindo como a base de sustentação teórica para os tópicos subsequentes do bloco de física quântica. Na análise das páginas textuais, nota-se que a obra não se esquiva de apresentar os gráficos espectrais clássicos de intensidade em função do comprimento de onda para diferentes temperaturas. O texto correlaciona de maneira explícita a falha das previsões da física clássica (a catástrofe do ultravioleta) com a necessidade da proposta de Max

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

Planck. Elementos formais e leis empíricas intermediárias, como a lei de Deslocamento de Wien e a Lei de Stefan-Boltzmann, são integradas organicamente ao corpo principal do texto. Oferecendo ao estudante uma transposição que equilibra o rigor científico e o suporte visual explicativo.

Figura 3 – (A) Página do Livro Do Seu Jeito - Física.; (B) Página ao que se refere o conteúdo.



Noções de Física quântica

No início do século XX, ocorreu uma grande mudança na maneira como a ciência descrevia a natureza. Pesquisas que investigavam a natureza da matéria e como ela emite ou absorve energia levaram a descrições dos fenômenos no nível atômico e subatômico, que diferem das descrições aplicadas ao mundo macroscópico.

Um elétron e uma bola de tênis de mesa, por exemplo, têm seus movimentos e interações descritos de maneiras diferentes. O primeiro é descrito pela Física quântica; o segundo, pela Física clássica.

Em muitos aspectos esses movimentos e interações são incomparáveis. Por exemplo, a posição e a velocidade de uma bola de tênis podem ser conhecidas simultaneamente. Nas descrições da Física quântica, um elétron não tem, simultaneamente, posição e velocidade bem definidas.

A pesquisa da interação entre matéria e radiação tem suas origens na observação de um objeto metálico que, quando aquecido, passa a emitir luz e calor. À medida que a temperatura aumenta, a cor da luz emitida se apresenta com um leve brilho avermelhado, passando para um vermelho mais intenso. Em seguida, essa luz passa para o laranja, depois, para uma cor amarelada e, por fim, azulada.

As observações do espectro eletromagnético visível e sua relação com a temperatura foram feitas em meados do século XIX.

Essa investigação partiu de um modelo idealizado e deu origem ao estudo da radiação do **corpo negro**. Lembrando que radiação se refere a qualquer processo físico de emissão de energia, sem que necessariamente cause risco à saúde.

As ondas de rádio ou a luz visível são exemplos de radiação que não prejudicam a saúde dos seres vivos. Há, contudo, **radiações ionizantes** que são nocivas aos seres vivos, como a radiação gama (raios γ).

Câmeras especiais podem ser utilizadas para relacionar as emissões no infravermelho dos corpos com a temperatura em que se encontram.

Radiações ionizantes são aquelas que têm energia suficiente para remover elétrons dos átomos, criando então os íons.

A constante de Planck tem um dos menores valores entre as constantes físicas. Por isso, os efeitos da quantização de energia não são observados em sistemas macroscópicos. Tampouco as interpretações da Física quântica podem ser diretamente aplicadas a objetos e situações do nosso cotidiano macroscópico.

A proposta de quantização iniciada por Planck foi usada com relativo sucesso em diferentes situações envolvendo partículas subatômicas, como mostra o infográfico das próximas páginas. Com isso, a Física quântica tornou-se a base teórica de outras áreas de estudo dedicadas a fenômenos da escala atômica ou menor, como a Física de partículas elementares e a Física nuclear. Muitos dos estudos dessas áreas se interconectam, assim como se relacionam com a Química e outras ciências.

Atualmente, muitas pesquisas nessas áreas são realizadas em aceleradores de partículas. Eles são dispositivos que utilizam campos elétricos e magnéticos para acelerar e confinar partículas subatômicas, como elétrons, prótons, ou íons, a altas velocidades próximas à velocidade da luz.

A análise das colisões de partículas aceleradas nesses equipamentos pode ser utilizada para entender as propriedades das partículas elementares e investigar a estrutura da matéria.

O maior acelerador de partículas do mundo em funcionamento em 2024 é o Grande Colisor de Hádrons (LHC, do inglês Large Hadrons Collider), da Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear (CERN, antigo acrônimo de Conseil Européen pour la Recherche Nucléaire). Localizado na fronteira entre a França e a Suíça, o LHC conta com um túnel de 27 km de circunferência, 175 m abaixo do nível do solo e que está em funcionamento desde 2008.

Em 2012, foi anunciado pelo CERN a detecção do bóson de Higgs, assim batizado em homenagem ao físico escocês Peter Higgs (1929-2024), que previu teoricamente sua existência em 1964. O LHC foi um esforço coletivo de diversos países e os estudos realizados nele costumam envolver muitos pesquisadores de várias partes do mundo. O artigo publicado em 2015, que discute a massa do bóson de Higgs a partir de dados coletados no LHC, teve a colaboração de 5154 autores.

#Se liga só!

- **Física e afins.** Canal da física Gabriela Ballas, doutora em Física teórica de partículas e divulgadora científica. Entre os vídeos mais populares do canal, estão as reações de Ballas a usos indevidos de conceitos da Física quântica. Disponível em: https://bedit.net/90wer2. Acesso em: 2 set. 2024.

CERN
27 km
Aeroporto Internacional de Genebra (IAG)

Vista aérea da localização dos túneis do LHC, com circunferência de 27 km, na fronteira entre a França e a Suíça.

Fonte: Do Seu Jeito - Física, Editora Ática, 2024.

A coleção *Do Seu Jeito – Física,* apresentada na Figura 3 acima, adota uma estratégia de transposição didática que prioriza a flexibilização e a aproximação com a linguagem juvenil e cotidiana. No sumário da obra, a nomenclatura tradicional e purista da física é frequentemente substituída por títulos dialógicos, perguntas problematizadoras ou chamadas contextualizadas. No desenvolvimento das páginas, o conceito de radiação de corpo negro é introduzido a partir de analogias diretas e observáveis, como a mudança de cor de uma resistência de chuveiro elétrico ou de um pedaço de carvão em brasa ao serem aquecidos. O formalismo matemático associado à constante de Planck é minimizado ao extremo, e a teoria

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

quântica é abordada sob um viés essencialmente qualitativo. A obra opta por suprimir gráficos espectrais complexos e deduções analíticas densas, substituindo-os por propostas de debates, pesquisas orientadas e dinâmicas que estimulam o protagonismo e a argumentação conceitual do educando, ainda que isso resulte em uma perda perceptível do rigor estrutural da disciplina.

Figura 4 – Sumário do Livro Cultura Científica e Mundo Científico.



Ciência por fora
Etnoastronomia ... 338
Reflexão da luz e telescópios newtonianos ... 338
Imagem e objeto em sistemas ópticos genéricos ... 339
Fundamentos da reflexão da luz ... 341
Espelhos planos ... 341
Espelhos esféricos ... 346
Refração da luz ... 351
Fundamentos da refração da luz ... 351
Lentes esféricas ... 352
Ciência por dentro
Telescópio de Galileu, história e construção ... 355
Recapitule ... 360
Planeje e resolva ... 360
Enem e vestibulares ... 361
UNIDADE 6 Física Moderna ... 368
CAPÍTULO 21
Fenda dupla e o Princípio da Incerteza ... 370
Natureza da matéria ... 371
Natureza da luz ... 373
Concepções de Huygens e de Newton para a luz ... 374
O experimento da dupla fenda de Young ... 376
A volta do modelo corpuscular: o efeito fotoelétrico ... 378
Ciência por dentro
A produção do conhecimento científico, os cientistas e seus contextos ... 380
Postulado de de Broglie ... 380
Princípio da Incerteza de Heisenberg ... 382
Ciência por fora
As cores ao longo da ciência ... 384
Vídeo ... 385
Recapitule ... 385
CAPÍTULO 22
O efeito fotoelétrico ... 386
Postes de iluminação: Qual é a relação com a Física Moderna? ... 387
O que é o efeito fotoelétrico? ... 388
Problemas para explicar o fenômeno a partir da Física Clássica ... 388
O efeito fotoelétrico: um fenômeno quântico ... 390
Função trabalho ... 390
Equação do efeito fotoelétrico ... 391
Potencial de corte ... 392
Aplicações do efeito fotoelétrico ... 397
Células fotovoltaicas ... 397
Câmeras digitais ... 398
Ciência por dentro
Eletroscópio e o efeito fotoelétrico ... 399
Recapitule ... 399
CAPÍTULO 23
Aplicações tecnológicas da Física Moderna ... 400
Pesquisa básica e pesquisa aplicada ... 401
Telas sensíveis ao toque ... 402
Telas resistivas ... 403
Telas capacitivas ... 405
Telas de ondas acústicas ... 405
Telas infravermelhas ... 406
Microscópio eletrônico ... 407
Microscópio de varredura (MEV) ... 408
Microscópio de transmissão ... 409
Microscópio de varredura por tunelamento (MEVT) ... 410
Ciência por fora
Pesquisadoras da UnB destacam-se em prêmio de fotografia científica ... 412
Ciência por fora
Prêmio Nobel em Física de 1986 ... 414
Ciência por dentro
Janine Benyus: Quando você entra em uma floresta, cada organismo é um laboratório ... 415
Recapitule ... 417
CAPÍTULO 24
Partículas elementares ... 418
Física de Partículas ... 419
O Modelo-padrão da Física de Partículas ... 419
A constituição da matéria e os férmions ... 421
As forças fundamentais e os bósons ... 423
Ciência por dentro
Contribuições do Modelo-padrão para a compreensão do Universo ... 426
Podcast ... 426
Aceleradores de partículas ... 428
Ciência por dentro
Origens: os primeiros dias do CERN ... 430
Recapitule ... 431
Planeje e resolva ... 432
Enem e vestibulares ... 433
Material de apoio ... 440
Gabarito ... 442
Referências comentadas ... 446

Fonte: Cultura Científica e Mundo Contemporâneo – Física, Editora do Brasil, 2024.

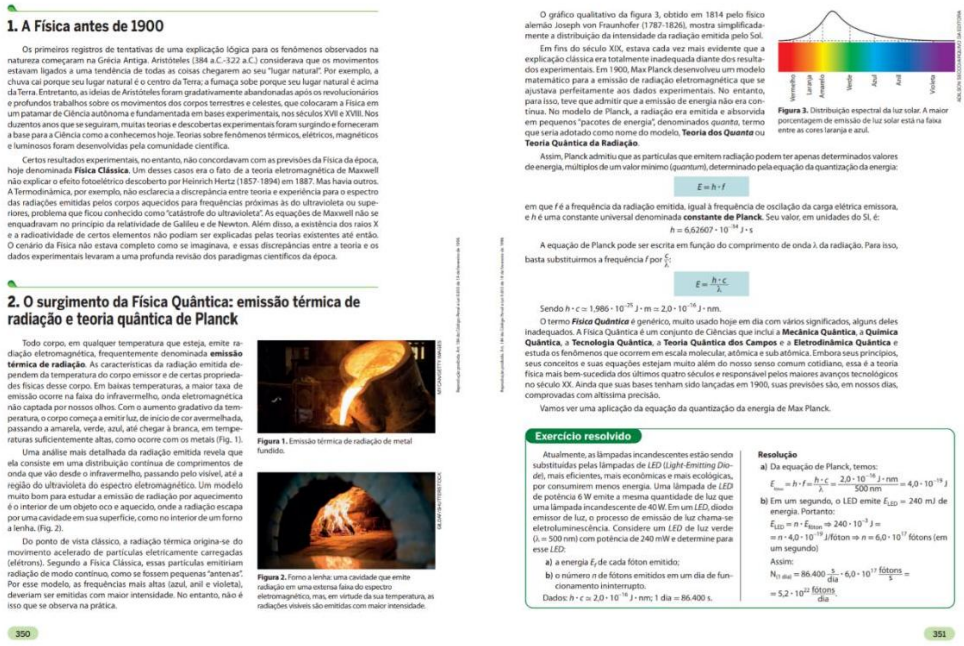
Ao analisar o sumário da coleção *Cultura Científica e Mundo Contemporâneo – Física*, apresentada na Figura 4 ao lado, constata-se um cenário de transposição didática radicalmente distinto das demais obras: a completa supressão do conceito de radiação de corpo negro, da constante de Planck e dos fundamentos da física quântica. A obra opta por delimitar o campo da Física Moderna e Contemporânea estritamente em torno dos tópicos de Relatividade e Cosmologia, destacando em sua estrutura programática itens como o modelo cosmológico padrão, a expansão do Universo, lentes gravitacionais e a física de buracos negros. Sob a ótica da teoria de Yves Chevallard, essa escolha editorial evidencia o processo de exclusão didática, no qual parte significativa do saber sábio (a gênese da mecânica quântica) é deliberadamente omitida para dar lugar a uma abordagem mais voltada à astronomia e à cultura científica macroscópica. Para o pesquisador ou docente que adota esse material, essa ausência impõe uma lacuna epistemológica severa, uma vez que impede a discussão histórica sobre a transição do paradigma clássico para o quântico no início do século XX, forçando o professor a recorrer a materiais complementares se desejar introduzir a quantização da energia.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

Figura 5 – Conteúdo referente ao Livro Moderna Plus – Física. (A)-(B).



1. A Física antes de 1900

Os primeiros registros de tentativas de uma explicação lógica para os fenômenos observados na natureza começaram na Grécia Antiga. Aristóteles (384 a.C.–322 a.C.) considerava que os movimentos estavam ligados a uma tendência de todas as coisas chegarem ao seu "lugar natural". Por exemplo, a chuva cai porque seu lugar natural é o centro da Terra; a fumaça sobe porque seu lugar natural é acima da Terra. Entretanto, as ideias de Aristóteles foram gradativamente abandonadas após os revolucionários e profundos trabalhos sobre os movimentos dos corpos terrestres e celestes, que colocaram a Física em um patamar de Ciência autônoma e fundamentada em bases experimentais, nos séculos XVII e XVIII. Nos duzentos anos que se seguiram, muitas teorias e descobertas experimentais foram surgindo e forneceram a base para a Ciência como a conhecemos hoje. Teorias sobre fenômenos térmicos, elétricos, magnéticos e luminosos foram desenvolvidas pela comunidade científica.

Certos resultados experimentais, no entanto, não concordavam com as previsões da Física da época, hoje denominada **Física Clássica**. Um desses casos era o fato de a teoria eletromagnética de Maxwell não explicar o efeito fotoelétrico descoberto por Heinrich Hertz (1857-1894) em 1887. Mas havia outros. A Termodinâmica, por exemplo, não esclarecia a discrepância entre teoria e experiência para o espectro das radiações emitidas pelos corpos aquecidos para frequências próximas às do ultravioleta ou superiores, problema que ficou conhecido como "catástrofe do ultravioleta". As equações de Maxwell não se enquadravam no princípio da relatividade de Galileu e de Newton. Além disso, a existência dos raios X e a radioatividade de certos elementos não podiam ser explicadas pelas teorias existentes até então. O cenário da Física não estava completo como se imaginava, e essas discrepâncias entre a teoria e os dados experimentais levaram a uma profunda revisão dos paradigmas científicos da época.

2. O surgimento da Física Quântica: emissão térmica de radiação e teoria quântica de Planck

Todo corpo, em qualquer temperatura que esteja, emite radiação eletromagnética, frequentemente denominada **emissão térmica de radiação**. As características da radiação emitida dependem da temperatura do corpo emissor e de certas propriedades físicas desse corpo. Em baixas temperaturas, a maior taxa de emissão ocorre na faixa do infravermelho, onda eletromagnética não captada por nossos olhos. Com o aumento gradativo da temperatura, o corpo começa a emitir luz, de início de cor avermelhada, passando a amarela, verde, azul, até chegar à branca, em temperaturas suficientemente altas, como ocorre com os metais (Fig. 1).

Figura 1. Emissão térmica de radiação de metal fundido.

Uma análise mais detalhada da radiação emitida revela que ela consiste em uma distribuição contínua de comprimentos de onda que vão desde o infravermelho, passando pelo visível, até a região do ultravioleta do espectro eletromagnético. Um modelo muito bom para estudar a emissão de radiação por aquecimento é o interior de um objeto oco e aquecido, onde a radiação escapa por uma cavidade em sua superfície, como no interior de um forno a lenha. (Fig. 2).

Figura 2. Forno a lenha: uma cavidade que emite radiação em uma extensa faixa do espectro eletromagnético, mas, em virtude da sua temperatura, as radiações visíveis são emitidas com maior intensidade.

Do ponto de vista clássico, a radiação térmica origina-se do movimento acelerado de partículas eletricamente carregadas (elétrons). Segundo a Física Clássica, essas partículas emitiriam radiação de modo contínuo, como se fossem pequenas "antenas". Por esse modelo, as frequências mais altas (azul, anil e violeta), deveriam ser emitidas com maior intensidade. No entanto, não é isso que se observa na prática.

350

O gráfico qualitativo da figura 3, obtido em 1814 pelo físico alemão Joseph von Fraunhofer (1787-1826), mostra simplificadamente a distribuição da intensidade da radiação emitida pelo Sol.

Em fins do século XIX, estava cada vez mais evidente que a explicação clássica era totalmente inadequada diante dos resultados experimentais. Em 1900, Max Planck desenvolveu um modelo matemático para a emissão de radiação eletromagnética que se ajustava perfeitamente aos dados experimentais. No entanto, para isso, teve que admitir que a emissão de energia não era contínua. No modelo de Planck, a radiação era emitida e absorvida em pequenos "pacotes de energia", denominados *quanta*, termo que seria adotado como nome do modelo, **Teoria dos *Quanta*** ou **Teoria Quântica da Radiação**.

Figura 3. Distribuição espectral da luz solar. A maior porcentagem de emissão de luz solar está na faixa entre as cores laranja e azul.

Assim, Planck admitiu que as partículas que emitem radiação podem ter apenas determinados valores de energia, múltiplos de um valor mínimo (*quantum*), determinado pela equação da quantização da energia:

$$E = h \cdot f$$

em que f é a frequência da radiação emitida, igual à frequência de oscilação da carga elétrica emissora, e h é uma constante universal denominada **constante de Planck**. Seu valor, em unidades do SI, é:

$$h = 6{,}62607 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s$$

A equação de Planck pode ser escrita em função do comprimento de onda λ da radiação. Para isso, basta substituirmos a frequência f por $\frac{c}{\lambda}$:

$$E = \frac{h \cdot c}{\lambda}$$

Sendo $h \cdot c \simeq 1{,}986 \cdot 10^{-25}\ J \cdot m \simeq 2{,}0 \cdot 10^{-16}\ J \cdot nm$.

O termo ***Física Quântica*** é genérico, muito usado hoje em dia com vários significados, alguns deles inadequados. A Física Quântica é um conjunto de Ciências que inclui a **Mecânica Quântica**, a **Química Quântica**, a **Tecnologia Quântica**, a **Teoria Quântica dos Campos** e a **Eletrodinâmica Quântica** e estuda os fenômenos que ocorrem em escala molecular, atômica e subatômica. Embora seus princípios, seus conceitos e suas equações estejam muito além do nosso senso comum cotidiano, essa é a teoria física mais bem-sucedida dos últimos quatro séculos e responsável pelos maiores avanços tecnológicos no século XX. Ainda que suas bases tenham sido lançadas em 1900, suas previsões são, em nossos dias, comprovadas com altíssima precisão.

Vamos ver uma aplicação da equação da quantização da energia de Max Planck.

Exercício resolvido

Atualmente, as lâmpadas incandescentes estão sendo substituídas pelas lâmpadas de *LED* (*Light-Emitting Diode*), mais eficientes, mais econômicas e mais ecológicas, por consumirem menos energia. Uma lâmpada de *LED* de potência 6 W emite a mesma quantidade de luz que uma lâmpada incandescente de 40 W. Em um *LED*, diodo emissor de luz, o processo de emissão de luz chama-se eletroluminescência. Considere um *LED* de luz verde (λ = 500 nm) com potência de 240 mW e determine para esse *LED*:

a) a energia E_f de cada fóton emitido;

b) o número n de fótons emitidos em um dia de funcionamento ininterrupto.

Dados: $h \cdot c \simeq 2{,}0 \cdot 10^{-16}\ J \cdot nm$; 1 dia = 86.400 s.

Resolução

a) Da equação de Planck, temos:

$$E_{fóton} = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda} \simeq \frac{2{,}0 \cdot 10^{-16}\ J \cdot nm}{500\ nm} = 4{,}0 \cdot 10^{-19}\ J$$

b) Em um segundo, o LED emite E_{LED} = 240 mJ de energia. Portanto:

$E_{LED} = n \cdot E_{fóton} \Rightarrow 240 \cdot 10^{-3}\ J =$

$= n \cdot 4{,}0 \cdot 10^{-19}\ J/\text{fóton} \Rightarrow n = 6{,}0 \cdot 10^{17}$ fótons (em um segundo)

Assim:

$N_{1\ dia} = 86.400\ \frac{s}{dia} \cdot 6{,}0 \cdot 10^{17}\ \frac{\text{fótons}}{s} =$

$= 5{,}2 \cdot 10^{22}\ \frac{\text{fótons}}{dia}$

351

Fonte: Moderna Plus – Física, Editora Moderna, 2024.

A coleção Moderna Plus – Física exposta na Figura 5 adota uma abordagem de transposição didática marcadamente linear, histórica e propedêutica, aproximando-se bastante da estrutura formal dos manuais universitários clássicos. A introdução da mecânica quântica é feita reconstituindo detalhadamente a crise da Física Clássica no final do século XIX. A problemática da radiação do corpo negro é exaustivamente contextualizada por meio de um modelo idealizado de cavidade com um pequeno orifício, explicando o equilíbrio térmico e os processos de absorção e emissão total. O formalismo matemático é preservado em nível elevado para o Ensino Médio: a Lei de Stefan-Boltzmann e a **Lei do Deslocamento de Wien** são apresentadas com suas respectivas deduções, equações e constantes universais, exigindo do aluno a resolução de problemas numéricos com notação científica densa. Diferencia-se, contudo, da **fórmula empírica de distribuição de Wien**,

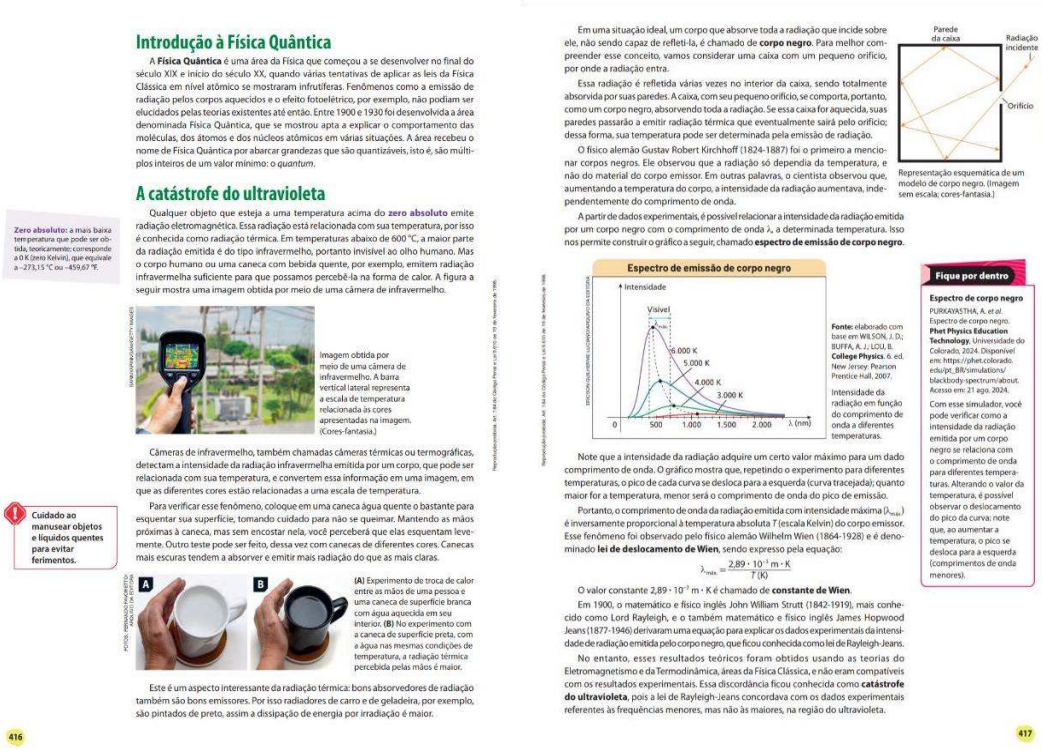
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

cujo desvio nas baixas frequências compõe o pano de fundo que evidenciou a insuficiência dos modelos pré-quânticos perante a lei de Rayleigh-Jeans. A constante de Planck surge como o elemento revolucionário que postula a discretização da energia dos osciladores moleculares. A obra prioriza o rigor conceitual e o letramento científico formal, servindo como uma ferramenta robusta para estudantes que buscam exames nacionais concorridos, embora exija uma carga horária didática expressiva por parte da escola.

Figura 6 – Conteúdo referente ao Livro Moderna SuperAção! – Física. (A)-(B).



Introdução à Física Quântica

A **Física Quântica** é uma área da Física que começou a se desenvolver no final do século XIX e início do século XX, quando várias tentativas de aplicar as leis da Física Clássica em nível atômico se mostraram infrutíferas. Fenômenos como a emissão de radiação pelos corpos aquecidos e o efeito fotoelétrico, por exemplo, não podiam ser elucidados pelas teorias existentes até então. Entre 1900 e 1930 foi desenvolvida a área denominada Física Quântica, que se mostrou apta a explicar o comportamento das moléculas, dos átomos e dos núcleos atômicos em várias situações. A área recebeu o nome de Física Quântica por abarcar grandezas que são quantizáveis, isto é, são múltiplos inteiros de um valor mínimo: o *quantum*.

A catástrofe do ultravioleta

Zero absoluto: a mais baixa temperatura que pode ser obtida, teoricamente; corresponde a 0 K (zero Kelvin), que equivale a −273,15 °C ou −459,67 °F.

Qualquer objeto que esteja a uma temperatura acima do **zero absoluto** emite radiação eletromagnética. Essa radiação está relacionada com sua temperatura, por isso é conhecida como radiação térmica. Em temperaturas abaixo de 600 °C, a maior parte da radiação emitida é do tipo infravermelho, portanto invisível ao olho humano. Mas o corpo humano ou uma caneca com bebida quente, por exemplo, emitem radiação infravermelha suficiente para que possamos percebê-la na forma de calor. A figura a seguir mostra uma imagem obtida por meio de uma câmera de infravermelho.

Imagem obtida por meio de uma câmera de infravermelho. A barra vertical lateral representa a escala de temperatura relacionada às cores apresentadas na imagem. (Cores-fantasia.)

Câmeras de infravermelho, também chamadas câmeras térmicas ou termográficas, detectam a intensidade da radiação infravermelha emitida por um corpo, que pode ser relacionada com sua temperatura, e convertem essa informação em uma imagem, em que as diferentes cores estão relacionadas a uma escala de temperatura.

Cuidado ao manusear objetos e líquidos quentes para evitar ferimentos.

Para verificar esse fenômeno, coloque em uma caneca água quente o bastante para esquentar sua superfície, tomando cuidado para não se queimar. Mantendo as mãos próximas à caneca, mas sem encostar nela, você perceberá que elas esquentam levemente. Outro teste pode ser feito, dessa vez com canecas de diferentes cores. Canecas mais escuras tendem a absorver e emitir mais radiação do que as mais claras.

(A) Experimento de troca de calor entre as mãos de uma pessoa e uma caneca de superfície branca com água aquecida em seu interior. **(B)** No experimento com a caneca de superfície preta, com a água nas mesmas condições de temperatura, a radiação térmica percebida pelas mãos é maior.

Este é um aspecto interessante da radiação térmica: bons absorvedores de radiação também são bons emissores. Por isso radiadores de carro e de geladeira, por exemplo, são pintados de preto, assim a dissipação de energia por irradiação é maior.

Em uma situação ideal, um corpo que absorve toda a radiação que incide sobre ele, não sendo capaz de refleti-la, é chamado de **corpo negro**. Para melhor compreender esse conceito, vamos considerar uma caixa com um pequeno orifício, por onde a radiação entra.

Representação esquemática de um modelo de corpo negro. (Imagem sem escala; cores-fantasia.)

Essa radiação é refletida várias vezes no interior da caixa, sendo totalmente absorvida por suas paredes. A caixa, com seu pequeno orifício, se comporta, portanto, como um corpo negro, absorvendo toda a radiação. Se essa caixa for aquecida, suas paredes passarão a emitir radiação térmica que eventualmente sairá pelo orifício; dessa forma, sua temperatura pode ser determinada pela emissão de radiação.

O físico alemão Gustav Robert Kirchhoff (1824-1887) foi o primeiro a mencionar corpos negros. Ele observou que a radiação só dependia da temperatura, e não do material do corpo emissor. Em outras palavras, o cientista observou que, aumentando a temperatura do corpo, a intensidade da radiação aumentava, independentemente do comprimento de onda.

A partir de dados experimentais, é possível relacionar a intensidade da radiação emitida por um corpo negro com o comprimento de onda λ, a determinada temperatura. Isso nos permite construir o gráfico a seguir, chamado **espectro de emissão de corpo negro**.

Fonte: elaborado com base em WILSON, J. D.; BUFFA, A. J.; LOU, B. **College Physics**. 6. ed. New Jersey: Pearson Prentice-Hall, 2007.

Intensidade da radiação em função do comprimento de onda a diferentes temperaturas.

Note que a intensidade da radiação adquire um certo valor máximo para um dado comprimento de onda. O gráfico mostra que, repetindo o experimento para diferentes temperaturas, o pico de cada curva se desloca para a esquerda (curva tracejada); quanto maior for a temperatura, menor será o comprimento de onda do pico de emissão.

Portanto, o comprimento de onda da radiação emitida com intensidade máxima ($\lambda_{máx}$) é inversamente proporcional à temperatura absoluta T (escala Kelvin) do corpo emissor. Esse fenômeno foi observado pelo físico alemão Wilhelm Wien (1864-1928) e é denominado **lei de deslocamento de Wien**, sendo expresso pela equação:

$$\lambda_{máx} = \frac{2{,}89 \cdot 10^{-3}\ m \cdot K}{T\ (K)}$$

O valor constante $2{,}89 \cdot 10^{-3}\ m \cdot K$ é chamado de **constante de Wien**.

Em 1900, o matemático e físico inglês John William Strutt (1842-1919), mais conhecido como Lord Rayleigh, e o também matemático e físico inglês James Hopwood Jeans (1877-1946) derivaram uma equação para explicar os dados experimentais da intensidade de radiação emitida pelo corpo negro, que ficou conhecida como lei de Rayleigh-Jeans.

No entanto, esses resultados teóricos foram obtidos usando as teorias do Eletromagnetismo e da Termodinâmica, áreas da Física Clássica, e não eram compatíveis com os resultados experimentais. Essa discordância ficou conhecida como **catástrofe do ultravioleta**, pois a lei de Rayleigh-Jeans concordava com os dados experimentais referentes às frequências menores, mas não às maiores, na região do ultravioleta.

Fique por dentro

Espectro de corpo negro

PURKAYASTHA, A. *et al.* Espectro de corpo negro. **Phet Physics Education Technology**, Universidade do Colorado, 2024. Disponível em: https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulations/blackbody-spectrum/about. Acesso em: 21 ago. 2024.

Com esse simulador, você pode verificar como a intensidade da radiação emitida por um corpo negro se relaciona com o comprimento de onda para diferentes temperaturas. Alterando o valor da temperatura, é possível observar o deslocamento do pico da curva; note que, ao aumentar a temperatura, o pico se desloca para a esquerda (comprimentos de onda menores).

Fonte: Moderna SuperAção – Física, Editora Moderna, 2024.

Na coleção **Moderna SuperAção! – Física** exibida pela Figura 6 materializa o conteúdo de radiação de corpo negro sob a égide dos novos arranjos curriculares do Ensino Médio, apostando em uma transposição didática marcadamente contextualizada, interdisciplinar e voltada para a tecnologia contemporânea. No desenvolvimento das páginas, o conceito abstrato de corpo negro é rapidamente aproximado de aplicações práticas do cotidiano e da engenharia moderna, como os

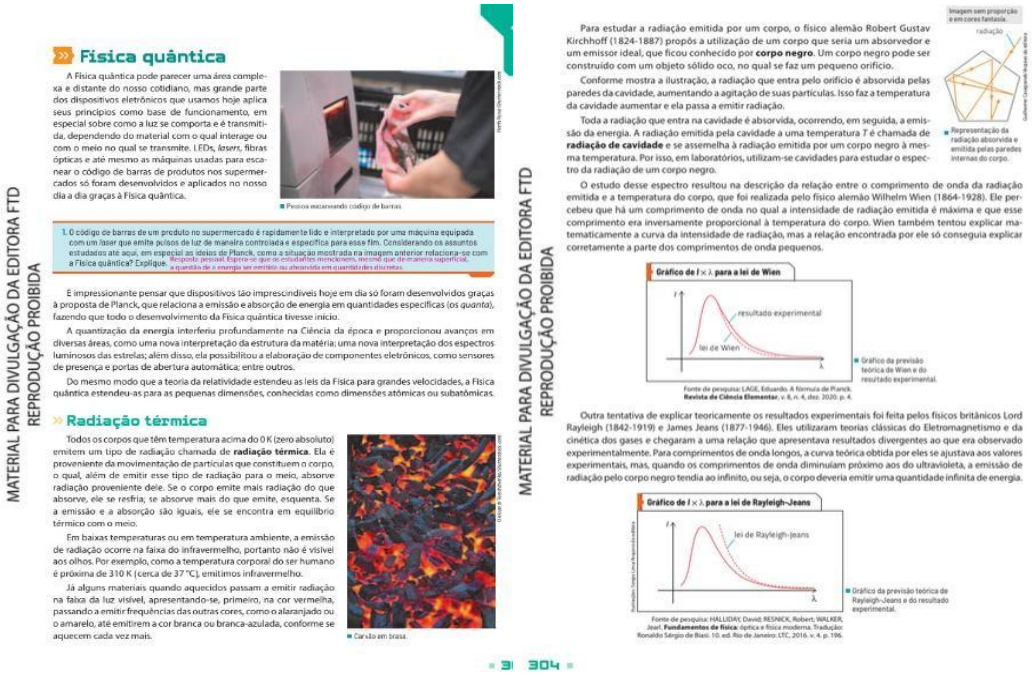
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

pirômetros ópticos (utilizados para medir altas temperaturas industriais sem contato físico), sensores infravermelhos de segurança e sistemas de visão térmica médica. Nessa obra, o saber a ensinar sofre um processo de simplificação no seu aparato matemático dedutivo: os gráficos e equações complexas de distribuição espectral cedem espaço a boxes explicativos de leitura rápida e infográficos ilustrativos de caráter fenomenológico. A hipótese de quantização de Planck e a própria constante são introduzidas de forma utilitária, conectando o conceito diretamente à eficiência energética e às tecnologias de iluminação modernas (como as lâmpadas LED). A estratégia didática visa prender a atenção do estudante através do impacto tecnológico, flexibilizando o rigor analítico formal para priorizar a alfabetização científica prática.

Figura 7 – Conteúdo referente ao Livro - Física por Toda Parte.



Fonte: Física por Toda Parte, Editora FTD, 2024.

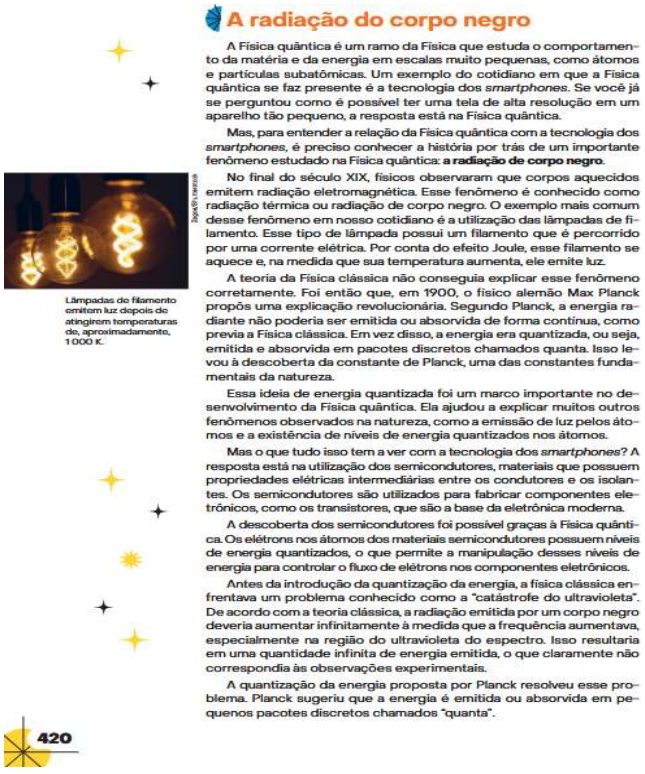
Na coleção **Física por Toda Parte** evidenciado pela Figura 7 observa-se uma transposição didática que prioriza a interpretação de dados experimentais e o uso rigoroso de representações gráficas. As páginas dedicadas ao tema trazem de forma explícita o gráfico espectral da radiação térmica (emitância versus comprimento de

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

onda), detalhando como as curvas se comportam para diferentes temperaturas. O texto didático utiliza essa base visual para fundamentar a Lei do Deslocamento de Wien, demonstrando matematicamente como o pico de intensidade migra para comprimentos de onda menores à medida que a temperatura do corpo se eleva. Sob a perspectiva da teoria de Chevallard, a obra opera uma transposição intermediária de sucesso: o formalismo matemático não é totalmente suprimido, mas sim ancorado na leitura analítica de gráficos espectrais. A transição para a constante de Planck ocorre como uma resposta direta à incapacidade das equações clássicas de prever o comportamento dessas curvas na região do ultravioleta, estimulando o estudante a compreender o nexo causal entre a limitação de um modelo teórico e a necessidade de uma ruptura paradigmática.



A radiação do corpo negro

A Física quântica é um ramo da Física que estuda o comportamento da matéria e da energia em escalas muito pequenas, como átomos e partículas subatômicas. Um exemplo do cotidiano em que a Física quântica se faz presente é a tecnologia dos *smartphones*. Se você já se perguntou como é possível ter uma tela de alta resolução em um aparelho tão pequeno, a resposta está na Física quântica.

Mas, para entender a relação da Física quântica com a tecnologia dos *smartphones*, é preciso conhecer a história por trás de um importante fenômeno estudado na Física quântica: **a radiação de corpo negro**.

No final do século XIX, físicos observaram que corpos aquecidos emitem radiação eletromagnética. Esse fenômeno é conhecido como radiação térmica ou radiação de corpo negro. O exemplo mais comum desse fenômeno em nosso cotidiano é a utilização das lâmpadas de filamento. Esse tipo de lâmpada possui um filamento que é percorrido por uma corrente elétrica. Por conta do efeito Joule, esse filamento se aquece e, na medida que sua temperatura aumenta, ele emite luz.

Lâmpadas de filamento emitem luz depois de atingirem temperaturas de, aproximadamente, 1 000 K.

A teoria da Física clássica não conseguia explicar esse fenômeno corretamente. Foi então que, em 1900, o físico alemão Max Planck propôs uma explicação revolucionária. Segundo Planck, a energia radiante não poderia ser emitida ou absorvida de forma contínua, como previa a Física clássica. Em vez disso, a energia era quantizada, ou seja, emitida e absorvida em pacotes discretos chamados quanta. Isso levou à descoberta da constante de Planck, uma das constantes fundamentais da natureza.

Essa ideia de energia quantizada foi um marco importante no desenvolvimento da Física quântica. Ela ajudou a explicar muitos outros fenômenos observados na natureza, como a emissão de luz pelos átomos e a existência de níveis de energia quantizados nos átomos.

Mas o que tudo isso tem a ver com a tecnologia dos *smartphones*? A resposta está na utilização dos semicondutores, materiais que possuem propriedades elétricas intermediárias entre os condutores e os isolantes. Os semicondutores são utilizados para fabricar componentes eletrônicos, como os transistores, que são a base da eletrônica moderna.

A descoberta dos semicondutores foi possível graças à Física quântica. Os elétrons nos átomos dos materiais semicondutores possuem níveis de energia quantizados, o que permite a manipulação desses níveis de energia para controlar o fluxo de elétrons nos componentes eletrônicos.

Antes da introdução da quantização da energia, a física clássica enfrentava um problema conhecido como a "catástrofe do ultravioleta". De acordo com a teoria clássica, a radiação emitida por um corpo negro deveria aumentar infinitamente à medida que a frequência aumentava, especialmente na região do ultravioleta do espectro. Isso resultaria em uma quantidade infinita de energia emitida, o que claramente não correspondia às observações experimentais.

A quantização da energia proposta por Planck resolveu esse problema. Planck sugeriu que a energia é emitida ou absorvida em pequenos pacotes discretos chamados "quanta".

420

Figura 8 – Página do conteúdo referente à radiação de corpo negro e à constante de Planck na coleção Identidade – Física.

Fonte: Identidade – Física, Editora Saraiva, 2024.

A **coleção Identidade – Física da editora Saraiva,** apresentada na Figura 8 ao lado**, o**peracionaliza a transposição didática a partir de uma abordagem pragmática e fortemente voltada para o letramento científico aplicado. No sumário, os tópicos de Física Moderna são compactados e integrados a discussões sobre energia, tecnologia e sustentabilidade, refletindo as demandas de flexibilização da Base Nacional Comum Curricular (BNCC). Na abordagem da radiação de corpo negro, a obra adota uma estratégia metodológica que parte da fenomenologia cotidiana, como a emissão de luz por corpos aquecidos e filamentos, para só então introduzir a abstração teórica. O formalismo matemático é reduzido ao mínimo necessário; as equações clássicas e o desvio do ultravioleta são

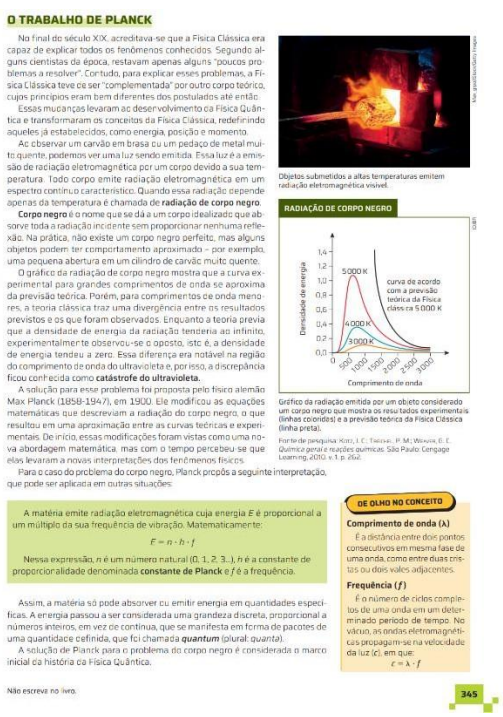
CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

explicados de maneira textual e descritiva, sem a exigência de cálculos operacionais complexos ou manipulação algébrica densa por parte do estudante. A constante de Planck é colocada de forma direta como uma constante fundamental da natureza que rege o comportamento dos pacotes de energia (quanta). Privilegia-se, dessa forma, a fixação conceitual e a associação do fenômeno com o avanço tecnológico moderno (como sensores e iluminação eficiente) em detrimento do rigor analítico tradicional.

Figura 9 – Página do conteúdo referente à radiação de corpo negro e à constante de Planck na coleção Ser Protagonista – Física.



O TRABALHO DE PLANCK

No final do século XIX, acreditava-se que a Física Clássica era capaz de explicar todos os fenômenos conhecidos. Segundo alguns cientistas da época, restavam apenas alguns "poucos problemas a resolver". Contudo, para explicar esses problemas, a Física Clássica teve de ser "complementada" por outro corpo teórico, cujos princípios eram bem diferentes dos postulados até então.

Essas mudanças levaram ao desenvolvimento da Física Quântica e transformaram os conceitos da Física Clássica, redefinindo aqueles já estabelecidos, como energia, posição e momento.

Ao observar um carvão em brasa ou um pedaço de metal muito quente, podemos ver uma luz sendo emitida. Essa luz é a emissão de radiação eletromagnética por um corpo devido a sua temperatura. Todo corpo emite radiação eletromagnética em um espectro contínuo característico. Quando essa radiação depende apenas da temperatura é chamada de **radiação de corpo negro**.

Corpo negro é o nome que se dá a um corpo idealizado que absorve toda a radiação incidente sem proporcionar nenhuma reflexão. Na prática, não existe um corpo negro perfeito, mas alguns objetos podem ter comportamento aproximado – por exemplo, uma pequena abertura em um cilindro de carvão muito quente.

O gráfico da radiação de corpo negro mostra que a curva experimental para grandes comprimentos de onda se aproxima da previsão teórica. Porém, para comprimentos de onda menores, a teoria clássica traz uma divergência entre os resultados previstos e os que foram observados. Enquanto a teoria previa que a densidade de energia da radiação tenderia ao infinito, experimentalmente observou-se o oposto, isto é, a densidade de energia tendeu a zero. Essa diferença era notável na região do comprimento de onda do ultravioleta e, por isso, a discrepância ficou conhecida como **catástrofe do ultravioleta**.

A solução para esse problema foi proposta pelo físico alemão Max Planck (1858-1947), em 1900. Ele modificou as equações matemáticas que descreviam a radiação do corpo negro, o que resultou em uma aproximação entre as curvas teóricas e experimentais. De início, essas modificações foram vistas como uma nova abordagem matemática, mas com o tempo percebeu-se que elas levaram a novas interpretações dos fenômenos físicos.

Para o caso do problema do corpo negro, Planck propôs a seguinte interpretação, que pode ser aplicada em outras situações:

A matéria emite radiação eletromagnética cuja energia E é proporcional a um múltiplo da sua frequência de vibração. Matematicamente:

$$E = n \cdot h \cdot f$$

Nessa expressão, n é um número natural (0, 1, 2, 3...), h é a constante de proporcionalidade denominada **constante de Planck** e f é a frequência.

Assim, a matéria só pode absorver ou emitir energia em quantidades específicas. A energia passou a ser considerada uma grandeza discreta, proporcional a números inteiros, em vez de contínua, que se manifesta em forma de pacotes de uma quantidade definida, que foi chamada ***quantum*** (plural: *quanta*).

A solução de Planck para o problema do corpo negro é considerada o marco inicial da história da Física Quântica.

Não escreva no livro.

345

Objetos submetidos a altas temperaturas emitem radiação eletromagnética visível.

RADIAÇÃO DE CORPO NEGRO

Densidade de energia

5 000 K
4 000 K
3 000 K
curva de acordo com a previsão teórica da Física clássica a 5 000 K

Comprimento de onda

Gráfico da radiação emitida por um objeto considerado um corpo negro que mostra os resultados experimentais (linhas coloridas) e a previsão teórica da Física Clássica (linha preta).

Fonte de pesquisa: Kotz, J. C.; Treichel, P. M.; Weaver, G. C. *Química geral e reações químicas*. São Paulo: Cengage Learning, 2010. v. 1, p. 262.

DE OLHO NO CONCEITO

Comprimento de onda (λ)
É a distância entre dois pontos consecutivos em mesma fase de uma onda, como entre duas cristas ou dois vales adjacentes.

Frequência (*f*)
É o número de ciclos completos de uma onda em um determinado período de tempo. No vácuo, as ondas eletromagnéticas propagam-se na velocidade da luz (*c*), em que:

$$c = \lambda \cdot f$$

Fonte: Ser Protagonista – Física, Editora SM, 2024.

A coleção Ser Protagonista – Física revela uma transposição didática que busca suavizar a transição entre a Física Clássica e a Física Moderna por meio de um encadeamento lógico focado em "gargalos" históricos. A obra dedica uma unidade específica para tratar dos limites dos modelos clássicos, situando a radiação térmica não como um fato isolado, mas como parte de um conjunto de fenômenos incompreendidos pelo eletromagnetismo de Maxwell. Nas páginas de conteúdo exibido pela Figura 9, o conceito de radiação de corpo negro é introduzido de forma predominantemente conceitual, utilizando esquemas ilustrativos que buscam modelar uma cavidade idealizada. Sob o referencial de Chevallard, o saber a ensinar opera aqui com um formalismo matemático moderado: a obra opta por apresentar a Lei de Wien e a constante de Planck (h) vinculadas diretamente à interpretação de gráficos espectrais qualitativos, evitando deduções matemáticas exaustivas. O foco central da narrativa pedagógica está em demonstrar que a quantização da energia proposta por Planck foi uma "hipótese de trabalho" matemática que acabou por revolucionar

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

a ontologia da própria física.

Em relação à contextualização e à avaliação crítica, nota-se que, apesar de algumas tentativas de articulação com aplicações tecnológicas, essas abordagens ainda são limitadas e pouco exploradas. Assim, embora os livros cumpram o papel de introduzir conceitos fundamentais da Física Moderna, as fragilidades identificadas indicam que o processo de transposição didática tende a privilegiar a acessibilidade em detrimento da profundidade conceitual, reforçando a necessidade de uma mediação docente crítica que complemente e aprofunde os conteúdos apresentados.

4.2 Análise comparativa das coleções

Após a análise individual de cada coleção, elaborou-se uma síntese comparativa com o objetivo de evidenciar as principais características do processo de transposição didática observado nos livros didáticos investigados. A comparação considera aspectos relacionados ao nível de formalismo matemático, à contextualização dos conteúdos, à abordagem histórico-epistemológica, ao emprego de recursos didáticos e ao tipo predominante de transposição didática identificado em cada obra. Essa sistematização permite visualizar tendências comuns entre as coleções e compreender de forma mais ampla as diferentes estratégias adotadas pelos autores para transformar o saber científico em saber a ensinar. Os níveis "alto", "médio" e "baixo" foram atribuídos considerando a presença relativa dos elementos analisados em cada coleção, conforme as categorias apresentadas na metodologia.

Coleção	Organização	Rigor conceitual	Recursos didáticos	Contextualização	Transposição predominante
Ciência Viva	Alto	Alto	Alto	Médio	Equilibrada
Moderna Plus	Alto	Muito alto	Médio	Médio	Preservação do saber sábio
Do Seu Jeito	Média	Baixo	Alto	Alto	Simplificação conceitual
360° Física	Média	Médio	Alto	Alto	Recontextualização
Física por Toda Parte	Alto	Alto	Alto	Médio	Equilíbrio entre rigor e acessibilidade
Cultura Científica	—	—	—	—	Exclusão didática
Identidade - Saraiva	Média	Baixo	Alto	Alto	Pragmática

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

Moderna SuperAção!	Média	Médio	Alto	Alto	Contextualização tecnológica
Ser Protagonista	Alto	Médio/Alto	Alto	Médio	Intermediária

Tabela 1: Síntese da análise das coleções de livros didáticos.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026.

A análise comparativa evidencia que as coleções adotam estratégias distintas de transposição didática. Observa-se que obras como *Ciência Viva* e *Moderna Plus* preservam maior rigor conceitual e histórico, mantendo parte significativa do formalismo matemático e estabelecendo relações mais explícitas entre a crise da Física Clássica e o surgimento da teoria quântica. Em contrapartida, coleções como *Do Seu Jeito*, *Identidade* e *Moderna SuperAção!* priorizam processos de simplificação conceitual e contextualização tecnológica, reduzindo a presença de deduções matemáticas em favor de uma linguagem mais acessível e de exemplos do cotidiano. Já obras como *360° Física*; *Física por Toda Parte* e *Ser Protagonista* apresentam a existência de três modelos predominantes de transposição didática nas coleções investigadas. O primeiro preserva parte significativa do saber sábio, mantendo maior rigor conceitual e histórico. O segundo prioriza processos de simplificação e contextualização tecnológica, reduzindo o formalismo matemático em favor da acessibilidade. O terceiro busca conciliar rigor científico e linguagem pedagógica, recorrendo ao uso de recursos gráficos e explicações qualitativas para aproximar o estudante dos conceitos da Física Moderna.

Destaca-se ainda que a coleção *Cultura Científica e Mundo Contemporâneo – Física* constitui um caso particular entre as obras analisadas, por não abordar os conceitos de radiação de corpo negro e constante de Planck. À luz da teoria da Transposição Didática, essa ausência pode ser compreendida como um processo de exclusão didática, no qual determinados conhecimentos científicos deixam de integrar o saber a ensinar em função das escolhas curriculares adotadas pela obra.

Em conjunto, os resultados indicam que a transposição didática dos conteúdos de Física Moderna nas coleções do PNLD 2026-2029 tende a privilegiar a acessibilidade e a contextualização em detrimento do aprofundamento conceitual. Essa polarização identificada nos manuais analisados corrobora as reflexões de Karam e Pietrocola (2009), que problematizam até que ponto a supressão do formalismo em prol da facilitação didática compromete a essência formativa da

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

Física Moderna. Ao optarem por uma transposição predominantemente fenomenológica e desprovida de relações matemáticas estruturantes, diversas coleções acabam por apenas 'falar sobre Física Moderna' em vez de efetivamente propiciar a construção de modelos explicativos quânticos consistentes pelos estudantes.

Embora a ênfase na contextualização favoreça a aproximação inicial dos estudantes com os temas contemporâneos, ela limita a apreensão das bases conceituais e epistemológicas que fundamentam a ruptura entre a Física Clássica e a Quântica, reforçando a urgência da mediação docente para complementar e aprofundar os conhecimentos apresentados nos livros didáticos.

5. Considerações Finais

O presente trabalho teve como objetivo analisar como os conceitos de radiação de corpo negro e da constante de Planck são apresentados em livros didáticos de Física aprovados pelo PNLD 2026–2029, à luz da teoria da Transposição Didática. A análise realizada evidenciou que, embora esses conteúdos estejam presentes na maioria das obras, sua abordagem ocorre, em geral, de forma simplificada, com limitações na contextualização histórica, epistemológica e na exploração de aplicações contemporâneas.

Os resultados indicam que o processo de transposição didática, nos materiais analisados, tende a privilegiar a acessibilidade dos conteúdos em detrimento de sua profundidade conceitual e epistemológica. Observou-se que poucos livros conseguem articular de maneira equilibrada as dimensões históricas, conceituais e aplicadas da Física Moderna, prevalecendo uma abordagem fragmentada. Essa superficialidade compromete a própria compreensão da natureza da ciência pelos estudantes: ao reduzir a gênese da teoria quântica a um conjunto estático de fatos e fórmulas utilitárias, as obras reforçam o que Cachapuz et al. (2001) apontam como visões simplistas da atividade científica, privando o educando de perceber a Física como uma construção humana dinâmica, não linear e marcada por profundos embates teóricos e metodológicos. Além disso, a escassez de atividades investigativas e experimentais limita ainda mais o desenvolvimento de uma postura crítica e participativa em sala de aula.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

Diante desse cenário, destaca-se a importância do papel do professor como mediador do conhecimento, responsável por complementar e aprofundar os conteúdos apresentados nos livros didáticos, promovendo uma abordagem mais crítica e contextualizada. Por fim, sugere-se que futuras pesquisas ampliem essa análise para outros tópicos da Física Moderna, bem como investiguem práticas pedagógicas que favoreçam uma transposição didática mais efetiva, contribuindo para um ensino de Física que dialogue com a complexidade e a relevância do conhecimento científico contemporâneo.

Referências

BARDIN, Laurence. *Análise de conteúdo*. São Paulo: Edições 70, 2011. 229 p.

BRASIL. Ministério da Educação. *Base Nacional Comum Curricular*. Brasília, DF: Ministério da Educação, 2018. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em: 12 jan. 2026.

BRASIL. Ministério da Educação. *Guia de livros didáticos PNLD 2026: Ensino Médio*. Brasília, DF: MEC/FNDE, 2025. Disponível em: https://www.gov.br/fnde/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/programas-do-livro/pnld. Acesso em: 5 jan. 2026.

BROCKINGTON, Guilherme; PIETROCOLA, Maurício. A transposição didática na educação em ciências: o caso da física moderna. *Ciência & Educação*, Bauru, v. 11, n. 2, p. 217-231, 2005. Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/download/512/309/1030. Acesso em: 6 jan. 2026.

CACHAPUZ, António; PRAIA, João; GIL-PÉREZ, Daniel; CARRASCOSA, Jaime; MARTÍNEZ TERRADES, Isabel. A emergência da didáctica das ciências como campo específico de conhecimento. *Revista Portuguesa de Educação*, Braga, v. 14, n. 1, p. 155-195, 2001. Disponível em: https://doaj.org/article/61ad004681d1442a8cdcfa145154191d. Acesso em: 12 jan.

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

2026.

CHEVALLARD, Yves. Sobre a teoria da transposição didática: algumas considerações introdutórias. *Revista de Educação, Ciências e Matemática*, v. 3, n. 2, p. 2-10, 2013. Disponível em: https://publicacoes.unigranrio.edu.br/recm/article/download/2391/1118/5827. Acesso em: 15 jan. 2026.

GOUVÊA, G. Currículo, livro didático e ensino de física. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11., 2008, Curitiba. *Anais [...]*. Curitiba, PR, 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/238709143_Curriculo_Livro_Didatico_e_Ensino_de_Fisica. Acesso em: 18 jan. 2026.

KARAM, Ricardo Avelar Sotomaior; PIETROCOLA, Maurício. Habilidades técnicas versus habilidades estruturantes: resolução de problemas e o papel da matemática como estruturante do pensamento físico. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 2, n. 2, p. 181-205, 2009. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/dHSvtSTLnrTfMttYzvhcPBG/?lang=pt. Acesso em: 21 jan. 2026.

MOREIRA, Marco Antonio. Desafios para o ensino de Física na educação contemporânea. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 1301-1308, 2014. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/xpwKp5WfMJsfCRNFCxFhqLy/abstract/?lang=pt Acesso em: 23 jan. 2026.

OLIVEIRA, F. F. D.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. Física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 29, n. 3, p. 447-454, 2007. DOI: https://doi.org/10.1590/S1806-11172007000300016. Acesso em: 5 mar. 2026.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

OLIVEIRA, Marcos Roberto Alves. *O confronto entre Thomas Kuhn e Imre Lakatos: sobre a racionalidade científica*. São Luís: Editora UEMA, 2021. p. 83-89.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa "Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio". *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000. Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/download/600/390/1217. Acesso em: 8 mar. 2026.

PENA, F. L. A. Por que nós, professores de Física do Ensino Médio, devemos inserir tópicos e ideias de física moderna e contemporânea na sala de aula? *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 1-2, 2006. Disponível em: https://www.scielo.br/j/rbef/a/gNHXzH9HTpp6crh4WGnVVQz/?format=html&lang=pt&ilang=pt_BR. Acesso em: 15 mar. 2026.

PEREIRA, Fernando Candido. Uma breve história da física moderna e contemporânea. *Professare*, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 177-188, 2016. DOI: https://doi.org/10.33362/professare.v4i3.734. Disponível em: https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/professare/article/view/734. Acesso em: 19 mar. 2026.

POLITO, Antony MM. Radiação de corpo negro e os primórdios da física quântica. *Physicae Organum*, v. 3, n. 2, 2017. DOI: https://doi.org/10.26512/2446-564X2017e13370. Acesso em: 21 mar. 2026.

SABINO, Aline Ribeiro; PIETROCOLA, Maurício. Saberes docentes desenvolvidos por professores do ensino médio: um estudo de caso com a inserção da física moderna. *Investigações em Ensino de Ciências*, v. 21, n. 2, p. 200-216, 2016. Disponível em: https://ienci.if.ufrgs.br/index.php/ienci/article/download/23/237/819.

CC BY

REMUNOM
ISSN 2178-6925

Received: 19/08/2026 - **Accepted:** 16/09/2026
Vol: 13.19
DOI: 10.66104/afrpfq88
Pages: 1-30

Acesso em: 28 mar. 2026.

SEARS, Francis Weston; ZEMANSKY, Mark Waldo; YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. *Física IV: óptica e física moderna*. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2016.

CC BY