

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA  
CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

ALLAN FELIPE NUNES PERNA

**PRODUÇÃO DE UM MATERIAL DIDÁTICO DE FÍSICA PARA O  
ESTUDO DE TÓPICOS RELACIONADOS A RAIOS X NO ENSINO  
MÉDIO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CURITIBA

2013

ALLAN FELIPE NUNES PERNA

**PRODUÇÃO DE UM MATERIAL DIDÁTICO DE FÍSICA PARA O  
ESTUDO DE TÓPICOS RELACIONADOS A RAIOS X NO ENSINO  
MÉDIO**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do Curso Superior de Licenciatura em Física do Departamento Acadêmico de Física – DAFIS – da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Licenciado.

Orientador: Prof. Sergei Anatolyevich Paschuk,  
Dr.

CURITIBA

2013

**CÂMPUS CURITIBA**  
**DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA - DAFIS**



**TERMO DE APROVAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Título: PRODUÇÃO DE UM MATERIAL DIDÁTICO DE FÍSICA PARA O ESTUDO DE TÓPICOS RELACIONADOS A RAIOS X NO ENSINO MÉDIO

Autor: Allan Felipe Nunes Perna

Orientador: Sergei Anatolyevich Paschuk, Dr.

Este trabalho foi apresentado às \_\_\_\_\_, do dia \_\_ / \_\_ / \_\_\_\_\_, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC2), do curso de Licenciatura em Física, do Departamento Acadêmico de Física (DAFIS), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Câmpus Curitiba. A comissão examinadora considerou o trabalho \_\_\_\_\_ (aprovado, aprovado com restrições ou reprovado).

Comissão examinadora:

---

Sergei Anatolyevich Paschuk  
(Presidente)

---

Jaqueline Kappke

---

Rita Zanlorensi Visneck Costa

---

Professor Responsável pelas Atividades  
de Trabalho de Conclusão de Curso/  
Curso de Licenciatura em Física  
(DAFIS/UTFPR)

A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso de Licenciatura em Física

## **AGRADECIMENTOS**

Ao professor Sergei, pela orientação.

Aos colegas de laboratório Danielle, Flávia e Marilson pelas discussões informais.

À professora Janine pelas sugestões finais.

Em especial à colega Alana pela ajuda no desenvolvimento do trabalho.

À minha família pelo carinho e amor dedicados.

## RESUMO

PERNA, Allan Felipe Nunes. Produção de um material didático de física para o estudo de tópicos relacionados a raios X no ensino médio. 2013. Trabalho de conclusão de curso – Graduação em Licenciatura em física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

A inclusão de tópicos de Física Moderna no ensino médio é objeto de vasta e profunda discussão, e em algumas escolas, este assunto já faz parte do conteúdo ministrado. Sabe-se que o conteúdo de raios X está entre os mais importantes tópicos de Física Moderna. Este trabalho apresenta uma análise das características da parte de Física Moderna de sete livros didáticos de física para o ensino médio. Uma pesquisa prévia foi realizada com alguns professores formados ou em formação sobre os elementos que se espera encontrar em um livro didático antes de analisá-lo. A conclusão foi que, de maneira geral, um livro didático apresenta os seguintes elementos: descrição do fenômeno; exemplos do cotidiano; formulação matemática; proposta de experimento; elementos ilustrativos (fotos, figuras, esquemas); elementos da história da ciência; e exercícios (resolvidos, propostos, qualitativos, quantitativos). A pesquisa foi dividida em três etapas: primeira etapa – elementos esperados nos livros didáticos; segunda etapa – uso dos elementos esperados nos livros didáticos; terceira etapa – conteúdo de raios X nos livros. Como resultado, 86% dos livros apresentaram a maioria dos elementos pedagógicos essenciais e conteúdo suficiente, todavia, especificamente o conteúdo de raios X, é insatisfatório. O produto desta pesquisa é um material didático sobre raios X para auxiliar professores de física no ensino de nível médio.

**Palavras-chave:** Física Moderna, raios X, livros didáticos.

## ABSTRACT

PERNA, Allan Felipe Nunes. Production of an educational material of physics to study topics related to X-rays in high school. 2013. Trabalho de conclusão de curso – Graduação em Licenciatura em física, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.

The inclusion of topics in modern physics in high school is the subject of wide and deep discussion, and in some schools, this issue is already part of the given content. It is known that the contents of X-rays is among the most important topics in modern physics. This paper presents an analysis of the characteristics of the part of modern physics in seven physics textbooks for high school. Prior research has been carried out with few trained teachers or training on the elements which would be expected to find in a textbook before analyzing it. The conclusion was that, in general, a textbook presents the following information: description of the phenomenon, examples of everyday life; mathematical formulation; proposed experiment; illustrative elements (photos, figures, diagrams); elements of the history of science, and exercises (solved, proposed, qualitative, quantitative). The research was divided into three stages: first stage - expected elements in textbooks, second step - use of elements expected in textbooks, third step - content X-ray in the books. As a result, 86% of the books presented the most essential elements of enough content teaching, however, specifically the contents of X-rays is poor. The product of this research is a didactic material on X-rays to assist professors of physics in high school.

**Keywords:** modern physics, X-ray, textbooks.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Breve introdução no início de cada capítulo do livro L1 .....	19
Figura 2 - Uso de tiras de revista em quadrinho no livro L1 .....	20
Figura 3 - Abertura da unidade de Física Moderna do livro L2 .....	21
Figura 4 - Uso de texto, equação e esquema para descrição do fenômeno.....	22
Figura 5 - Seção “Quer Saber?” do livro L2 .....	23
Figura 6 - Exemplos de elementos ilustrativos do livro L3.....	24
Figura 7 - Seção “Descubra mais” do livro L4 .....	26
Figura 8 - Proposta de experimento do livro L7 na parte de Física Moderna .....	28
Figura 9 - Explicação da produção de raios X por meio de exercício .....	31

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>8</b>
1.1 OBJETIVOS .....	8
1.1.1 Objetivo geral .....	8
1.1.2 Objetivos específicos.....	8
<b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>9</b>
2.1 INCLUSÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO .....	9
2.2 PESQUISA DOCUMENTAL / BIBLIOGRÁFICA .....	11
<b>3 METODOLOGIA</b> .....	<b>14</b>
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>18</b>
4.1 PRIMEIRA ETAPA – ELEMENTOS ESPERADOS NOS LIVROS DIDÁTICOS .	18
4.2 SEGUNDA ETAPA – USO DOS ELEMENTOS ESPERADOS NOS LIVROS DIDÁTICOS .....	19
4.2.1 Uso dos elementos esperados no livro L1 .....	19
4.2.2 Uso dos elementos esperados no livro L2 .....	21
4.2.3 Uso dos elementos esperados no livro L3 .....	23
4.2.4 Uso dos elementos esperados no livro L4 .....	25
4.2.5 Uso dos elementos esperados no livro L5 .....	26
4.2.6 Uso dos elementos esperados no livro L6 .....	27
4.2.7 Uso dos elementos esperados no livro L7 .....	27
4.3 TERCEIRA ETAPA – CONTEÚDO DE RAIOS X NOS LIVROS DIDÁTICOS ....	29
4.3.1 Raios X no livro L1 .....	29
4.3.2 Raios X no livro L2 .....	29
4.3.3 Raios X no livro L3 .....	30
4.3.4 Raios X no livro L4 .....	30
4.3.5 Raios X no livro L5 .....	31
4.3.6 Raios X no livro L6 .....	31
4.3.7 Raios X no livro L7 .....	32
4.4 DISCUSSÕES .....	32
<b>5 CONCLUSÕES</b> .....	<b>34</b>
REFERÊNCIAS .....	35
APÊNDICE A – MATERIAL DE APOIO SOBRE TÓPICOS RELACIONADOS A RAIOS X PARA PROFESSORES DE ENSINO MÉDIO .....	37



## 1 INTRODUÇÃO

Os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN) (PCN, 2013) normatizam que a Física Moderna deve ser obrigatória no ensino de nível médio. Entretanto, estes documentos, embora sirvam de base para o ensino atual, não são contundentes em auxiliar o professor a planejar e desenvolver suas aulas do ponto de vista prático.

Alguns trabalhos foram utilizados para elaboração desta pesquisa, nos quais se pôde observar que as premissas são similares. Nota-se nos trabalhos referenciados uma concordância sobre a necessidade da inclusão de tópicos de Física Moderna no ensino médio. Ademais, há uma correlação direta entre a sociedade atual, em conjunto com a tecnologia utilizada pela mesma e a urgência de se formar cidadãos que compreendam os princípios básicos dos equipamentos que utilizam.

Cada vez mais se lida com artefatos da vida cotidiana que envolvem conceitos da Física Moderna. Aparelhos simples como microondas e celulares, exames de raios X, além da energia nuclear, amplamente utilizada em muitos países e a medicina nuclear estão presentes rotineiramente (COSTA, *et al.*, 2009).

Busca-se com essa pesquisa desenvolver um material didático de apoio aos professores de física do ensino médio sobre raios X, com o intuito de auxiliar os mesmos na inclusão de tópicos de Física Moderna no ensino médio.

### 1.1 OBJETIVOS

#### 1.1.1 Objetivo geral

Elaborar um material didático de apoio para o professor de física do ensino médio sobre raios X.

#### 1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar os elementos pedagógicos que compõem um material didático através de análises de livros didáticos utilizados no ensino médio e de materiais didáticos alternativos, como, apostilas, sites educacionais e outros.
- Averiguar o uso de elementos pedagógicos na parte de Física Moderna dos livros didáticos.
- Analisar o conteúdo do tópico de raios X nos livros de Física de ensino superior para elaborar o material didático.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 INCLUSÃO DE TÓPICOS DE FÍSICA MODERNA NO ENSINO MÉDIO

A inclusão de tópicos da Física Moderna no ensino médio é objeto de vasta e profunda discussão, e em algumas escolas, este assunto já faz parte do conteúdo ministrado (colégio Integral, Bom Jesus, Dom Bosco, Marista, entre outros colégios da cidade de Curitiba-PR e do Brasil, como um todo). Algumas instituições universitárias, como a Universidade Federal do Paraná (UFPR, 2012), colocaram em seus vestibulares o assunto de Física Moderna, o que parece estimular a discussão.

Em busca de uma atualização curricular Ostermann e Moreira (1998, citados por Ostermann e Moreira, 2000) realizaram uma pesquisa entre professores de física e pesquisadores em ensino de Física. Nesse trabalho elaboraram uma lista dos tópicos de Física Moderna mais importantes para serem discutidos no ensino médio na opinião dos entrevistados: efeito fotoelétrico, átomo de Bohr, leis de conservação, radioatividade, forças fundamentais, dualidade onda-partícula, fissão e fusão nuclear, origem do Universo, raios X, metais e isolantes, semicondutores, laser, supercondutores, partículas elementares, relatividade restrita, Big Bang, estrutura molecular e fibras ópticas. O resultado aponta que o tópico escolhido neste projeto (raios X) está entre os mais importantes.

Sousa *et al.* (2008) acreditam que mostrar a importância da Física e do seu papel em nosso cotidiano tem se tornado um desafio para os educadores, pois os avanços tecnológicos atuais chamam mais atenção do que os conceitos básicos de Física que são abordados em aula. Isso se deve em parte aos currículos de ciências nas escolas. Tais currículos têm sido alvo de críticas há algum tempo por parte de políticos e agentes ligados à educação, que procuram através de reformulações, a melhoria do ensino em nossas escolas (SOUSA *et al.*, 2008).

Sousa *et al.* (2008), ainda observam que essas críticas podem ser constatadas nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM e PCNEM+) e nas Diretrizes Curriculares do Ensino Médio (DCNEM) e buscam uma maior atualização do currículo na tentativa de fazer a educação ser voltada para o dia a dia. Ou seja, tornar a educação mais atualizada, além de possibilitar ao cidadão o desenvolvimento de habilidades e competências para a sua vida e o

exercício de sua cidadania. Oliveira e Vianna (2006) corroboram tais informações durante uma análise da Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional e dos documentos PCNEM e PCNEM+:

Os textos assinalam que os conhecimentos de Física são fundamentais para a formação científica do cidadão contemporâneo e que o estudo dos conceitos físicos deve ser contextualizado e interagir com outras disciplinas de forma a ganhar sentido quando aplicado ao dia a dia de jovens e adolescentes. Apontam para o fato de que alguns aspectos da chamada Física Moderna são indispensáveis para permitir aos alunos adquirir uma compreensão mais abrangente dos conhecimentos físicos necessários para o entendimento das tecnologias mais recentes. Além disso, o estudo da Física deve ser compreendido pelo aluno como um processo de construção humana, inserido num contexto histórico e social, abrangendo um corpo teórico de conhecimentos científicos e tecnológicos que têm contribuído para o desenvolvimento de pesquisas que podem melhorar a qualidade de vida da sociedade.

Sousa *et al.* (2008) fazem a proposta de um currículo novo e atento a um maior aprimoramento dos conhecimentos dos alunos em sintonia com as novas teorias e tecnologias na pretensão de poder colaborar nessa atualização do currículo escolar, atraindo o jovem para um conhecimento maior da Ciência. E assim, dizem os autores, (re)conhecer o mundo ao seu redor, fornecendo mecanismos e ferramentas para lhe proporcionarem, enxergar o seu cotidiano com outros olhos.

A interface existente entre Física e História é importante para o ensino de Física Moderna. Um exemplo disto é o trabalho em sala de aula, elaborado por Teixeira *et al.*,(2009), a respeito do desenvolvimento das armas nucleares.

Nessa direção, grande parte dos livros didáticos utilizados nesse nível, como (BONJORNO *et al.*, 2004), (GASPAR, 2004), (MÁXIMO E ALVARENGA, 2007) e (RAMALHO *et al.*, 2007), têm incorporado, alguns desses conteúdos. No entanto, apesar da intensa discussão e da presença de capítulos destinados a esse tema em textos didáticos, esses conhecimentos continuam encontrando sérias dificuldades para chegar à sala de aula. Poucos professores se sentem preparados para tratar esses novos conteúdos e apontam, também, a extensão dos programas atuais, o que já os impede de um tratamento completo dos temas presentes (VALENTE *et al.*, 2008).

Observa-se a preocupação exposta principalmente por Valente *et al.*,(2008) sobre as dificuldade que a inserção de conteúdos de Física Moderna no ensino médio pode enfrentar. Observa-se também, que há certa urgência no que toca esta inserção, e parece haver uma unanimidade a respeito deste assunto, entretanto, como fazê-la, ainda constitui um problema em aberto (OLIVEIRA E VIANNA, 2006).

Assim, esta pesquisa procura abordar o problema do ponto de vista prático. Um material didático de Física Moderna, construído especificamente para dar apoio ao professor durante as aulas sobre o assunto, pode constituir um instrumento facilitador para encontrar alternativas de solução para o problema.

## 2.2 PESQUISA DOCUMENTAL / BIBLIOGRÁFICA

Para verificar quais são os elementos pedagógicos que compõem um material didático podem-se utilizar diferentes metodologias seguindo referenciais teóricos distintos. Escolheu-se seguir os referenciais teóricos de pesquisa documental / bibliográfica, pois se acredita que, num primeiro instante, é o tipo de pesquisa mais adequado para tal objetivo.

Nas palavras de Sá-Silva (2009, p. 4-5) “a pesquisa documental é um procedimento que se utiliza de métodos e técnicas para a apreensão, compreensão e análise de documentos dos mais variados tipos”. São considerados documentos: “leis e regulamentos, normas, pareceres, cartas, memorandos, diários pessoais, autobiografias, jornais, revistas, discursos, roteiros de programas de rádio e televisão, livros, estatísticas, arquivos escolares”, entre outros (PHILIPS, 1974, p. 187, citado por LUDKE e ANDRÉ, 1986).

Tanto a pesquisa documental como a pesquisa bibliográfica possuem documentos como objetos de pesquisa. Na pesquisa bibliográfica trata-se apenas do uso de documentos escritos, ao passo que na documental podem-se analisar filmes, vídeos, slides, fotografias ou pôsteres (SÁ-SILVA *et al*, 2009). Ludke e André (1986) e Sá-Silva *et al* (2009) apresentam algumas vantagens da análise documental, tais como: baixo custo; exige apenas uma grande disponibilidade de tempo; permite obter dados de documentos antigos, quando o acesso ao autor é impossível, ou “quando a interação com os sujeitos pode alterar seus pontos de vistas” (LUDKE e ANDRÉ, 1986, p. 39); permite extrair um grande número de informações.

Tendo em vista que se trata de uma análise exploratória, a análise documental pode apresentar problemas em certas etapas da pesquisa. Assim, o pesquisador deve checá-los com o auxílio de outros métodos (LUDKE e ANDRÉ, 1986). Durante a pesquisa, pode ser necessária a utilização de outro referencial

teórico desconhecido neste momento, para dar suporte na resolução de problemas futuros nos quais a pesquisa documental seja insuficiente.

Métodos e técnicas de pesquisa são necessários para que se possa realizar uma pesquisa documental. Alguns procedimentos foram identificados no trabalho de Ludke e André (1986) sobre a análise documental, corroborados por Sá-Silva *et al* (2009): caracterização do tipo de documento que será usado ou selecionado; análise do conteúdo dos documentos; formatação do registro das informações; organização dos dados e construção de categorias; avaliação do conjunto inicial de categorias; reavaliação do material; julgamento das categorias quanto à abrangência e delimitação.

A caracterização do tipo de documento que será utilizado para análise está definida na metodologia deste trabalho. Ludke e André (1986, p. 40) ressaltam que “a escolha dos documentos não é aleatória, há geralmente alguns propósitos, ideias ou hipóteses guiando a sua seleção”.

Para a análise do conteúdo dos documentos deve-se investigar o conteúdo das mensagens contidas no documento de análise. Nessa metodologia de pesquisa, a unidade de análise “pode ser a palavra, a sentença, o parágrafo ou o texto como um todo” (KRIPPENDORFF, 1980, citado por LUDKE e ANDRÉ, 1986, p. 41). O modo de tratar essas unidades depende do objetivo da pesquisa e da preferência do pesquisador, nas palavras das mesmas autoras “alguns podem preferir a contagem de palavras ou expressões, outros podem fazer análise da estrutura lógica de expressões e elocuições e outros, ainda, podem fazer análises temáticas”. A análise temática será mais bem vinda para a pesquisa em questão, pois se busca elementos existentes em um material didático de física.

A formatação do registro das informações depende da etapa anterior. Se a quantidade dos dados for muito grande, o auxílio computacional é muito vantajoso. Se não, podem-se utilizar esquemas, diagramas e outras formas de síntese do conteúdo (LUDKE e ANDRÉ, 1986).

Uma vez que os dados já estejam organizados, o pesquisador, em um processo de análise, deve identificar as temáticas mais frequentes e criar categorias iniciais passíveis de futuras modificações. A avaliação de tais categorias deve cogitar em responder as questões da pesquisa, ou seja, “devem antes de tudo refletir os propósitos da pesquisa” (GUBA e LINCOLN, 1981, citado por LUDKE e ANDRÉ, 1986, p. 43). Segue-se a análise com uma busca de ligações entre os

vários itens, com o intuito de “estabelecer relações e associações e passando então a combiná-los, separá-los ou reorganizá-los” a partir de uma reavaliação do material (GUBA e LINCOLN, 1981, citado por LUDKE e ANDRÉ, 1986). Por fim, faz-se julgamento das categorias quanto à abrangência e delimitação, ou seja, conclui-se o estudo (GUBA, 1978, citado por LUDKE e ANDRÉ, 1986).

### 3 METODOLOGIA

A análise da parte de Física Moderna dos livros didáticos selecionados foi feita de acordo com a descrição do item 2.2. Primeiramente sete livros foram selecionados, tais livros não fazem parte de um grupo particular de material didático ou são os preferidos pelos professores de Física do ensino médio; foram selecionados simplesmente porque o acesso a este material é facilitado pelas vias dos cursos de licenciatura e pelo seu uso no ensino médio. Todavia, isto não diminui a credibilidade da pesquisa, pois a maioria deles foi aprovada pelo PNLEM (Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio) e alguns são utilizados nas mais conceituadas escolas de ensino médio de Curitiba.

Os livros estudados são: Física em Contextos: pessoal, social e histórico: eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria (OLIVEIRA *et al*, 2010); Física 3 (BISCUOLA *et al*, 2010); Física: ciência e tecnologia (TORRES *et al*, 2010); As Faces da Física (CARRON e GUIMARÃES, 2002); Curso de Física (MÁXIMO E ALVARENGA, 2000); Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória e Física Moderna (SILVA e BARRETO, 2010). Os Fundamentos da Física (RAMALHO *et al*, 2007). Para preservar a identidade dos autores os livros foram chamados de L1, L2, L3, L4, L5, L6, L7, sem seguir a ordem descrita neste parágrafo.

Uma pesquisa prévia foi realizada com alguns professores formados ou em formação sobre os elementos que se espera encontrar em um livro didático antes de analisá-lo. A conclusão foi que, de maneira geral, um livro didático deve apresentar os seguintes elementos: descrição do fenômeno; exemplos do cotidiano; formulação matemática; proposta de experimento; elementos ilustrativos (fotos, figuras, esquemas); elementos da história da ciência; e exercícios (resolvidos, propostos, qualitativos, quantitativos).

Considerou-se que a **descrição do fenômeno** é o momento em que o autor explica – pelo menos – em forma de texto o fenômeno físico estudado. Ou seja, a descrição do fenômeno pode vir acompanhada de elementos extra-textuais – fotos, figuras, esquemas, desenhos, tabelas, gráficos, entre outros – desde que enriqueçam o texto. Situações em que a descrição do fenômeno é acompanhada de

fotos, figuras, esquemas ou desenhos, considerou-se que o livro contém, também, **elementos ilustrativos**.

Com relação à **exemplos do cotidiano**, considerou-se situações em que o autor vincula a fenomenologia com situações mais próximas da vida do aluno. A teoria deve estar acompanhada de aplicações e exemplos, que no caso da Física Moderna está intrinsecamente relacionada com tecnologia.

A Matemática é a ferramenta utilizada pela Física para descrever formalmente os fenômenos. Desta forma, espera-se que um material didático apresente algum tipo de formulação do que está sendo estudado. Considerou-se que um livro apresenta **formulação matemática** quando o autor utiliza a Matemática para descrever algum fenômeno.

Alguns materiais didáticos de Física sugerem que o aluno realize uma prática experimental relacionada com um determinado fenômeno físico. Livros que apresentam sugestões de experimentos para o aluno ou para o professor realizar em sala de aula com os estudantes, foi considerado que possuem **proposta de experimento**.

Foi levado em conta que **exercícios qualitativos** são aqueles em que, para resolvê-los, não há necessidade de conhecimento matemático, são apenas problemas com o objetivo de fixar o conteúdo qualitativamente. Portanto, considerou-se **que exercícios quantitativos** necessitam de formulação matemática ou algum tipo de cálculo para resolvê-los. Estas duas classificações de exercícios podem ser divididas em exercícios propostos e resolvidos. Quando a resolução do exercício – seja ele qualitativo ou quantitativo – é apresentada explicitamente, então se trata de **exercício resolvido**. Por fim, levou-se em conta que os **exercícios propostos** são apresentados para o aluno resolvê-los sozinho, sem o auxílio do professor.

Textos históricos ou biografias foram considerados como **elementos da história da ciência**. Breves citações de cientistas não foram levadas em consideração. Por exemplo, a frase “os raios X, assim chamados por seu descobridor Roentgen porque sua natureza era então desconhecida, são radiações eletromagnéticas com comprimento menor que aproximadamente...” apesar de citar um cientista, não é um texto histórico, pois a continuação do texto descreve o fenômeno em questão. Todavia, apresentar textos históricos ou biografias, não



significa que esta metodologia de ensino contribua para o entendimento do conteúdo.

A pesquisa foi dividida em três etapas: primeira etapa – elementos esperados nos livros didáticos; segunda etapa – uso dos elementos esperados nos livros didáticos; terceira etapa – conteúdo de raios X nos livros.

#### Primeira etapa – elementos esperados nos livros didáticos

A etapa 1 tem objetivo de verificar quais são os elementos esperados na parte de Física Moderna de um livro didático, bem como certificar se o conteúdo de raios X está contido nesta parte específica do livro.

A primeira etapa metodológica constituiu-se na análise temática da parte de Física Moderna dos livros didáticos selecionados, a qual foi feita com base nos tópicos apresentados anteriormente. Ou seja, foi verificado se os sete livros possuem ou não tais elementos. Posteriormente foi certificado se o conteúdo de raios X está contido nesta parte específica do livro, já que raios X é um tópico de Física Moderna.

Verificou-se que há diferenças significativas em relação à extensão do conteúdo de um livro para outro. Com o intuito de averiguar se há alguma relação entre a extensão do conteúdo e os elementos que o livro contém, o conteúdo de Física Moderna de cada livro didático foi caracterizado em: insuficiente e suficiente.

O leitor deve entender por **extensão do conteúdo insuficiente** quando o conteúdo apresentado pelo material didático é insuficiente para compreender determinado fenômeno, trata-se de um material muito sucinto e objetivo. Por exemplo, a descrição fenomenológica pode ser suficiente, mas há falta de formulação ou de exemplos essenciais que pode prejudicar o entendimento do assunto.

O leitor deve entender por **extensão do conteúdo suficiente** quando o conteúdo apresentado pelo material didático é suficiente para compreender determinado fenômeno. Não necessariamente, para compreender determinado conteúdo, os sete elementos devem estar presentes. Por exemplo, o autor pode ter deixado a desejar na descrição fenomenológica, mas apresenta vários exemplos e exercícios que compensam essa situação.

### Segunda etapa – Uso dos elementos esperados nos livros didáticos

Uma vez que a verificação da existência ou não dos elementos esperados e a caracterização da extensão do conteúdo foram feitas, seguiu-se com uma análise mais detalhada de cada elemento em cada livro didático. Apenas dessa forma, foi possível verificar quais são os elementos mínimos que um material didático deve ter. Além disso, foi apurado se há outra característica no material didático que possa ser colocada em outra categoria.

### Terceira etapa – Conteúdo de raios X nos livros didáticos

Por fim, os livros didáticos que apresentam o tópico específico de raios X foram submetidos à análise deste conteúdo em particular. Esta última etapa teve a finalidade de verificar se há diferença entre este tópico de Física Moderna e os demais com relação ao uso dos elementos esperados, tendo em vista a elaboração de um material didático sobre raios X. Breves comentários sobre a qualidade da descrição fenomenológica foram feitos apenas nesta última etapa.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 PRIMEIRA ETAPA – ELEMENTOS ESPERADOS NOS LIVROS DIDÁTICOS

O quadro 01 apresenta a existência ou não dos elementos esperados nos livros didáticos analisados. A marcação na célula, denotada pelo símbolo “X”, indica a existência do objeto procurado no respectivo livro. O quadro 02 apresenta o resultado da caracterização da extensão do conteúdo em insuficiente e suficiente dos livros analisados.

	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
<b>Descrição do fenômeno</b>	X	X	X	X	X	X	X
<b>Exemplos do cotidiano</b>	X	X	X	X	X		X
<b>Formulação matemática</b>	X	X	X	X	X		X
<b>Proposta de experimento</b>							X
<b>Elementos ilustrativos</b>	X	X	X	X	X	X	X
<b>Elementos de história da ciência</b>	X	X	X	X	X	X	X
<b>Exercícios</b>	<b>resolvidos</b>	X	X	X	X		X
	<b>propostos</b>	X	X	X	X	X	X
	<b>qualitativos</b>	X	X	X	X	X	X
	<b>quantitativos</b>	X	X	X	X	X	X
<b>Apresenta o conteúdo de raios X na parte de Física Moderna.</b>					X		

Quadro 01 – Resultado da verificação da existência dos elementos esperados nos livros analisados

Fonte: autoria própria.

	<b>Extensão do conteúdo de Física Moderna</b>
L1	Suficiente
L2	Suficiente
L3	Suficiente
L4	Suficiente
L5	Suficiente
L6	Insuficiente
L7	Suficiente

Quadro 02 - Resultado da caracterização da extensão do conteúdo em insuficiente e suficiente dos livros analisados.

Fonte: autoria própria.

## 4.2 SEGUNDA ETAPA – USO DOS ELEMENTOS ESPERADOS NOS LIVROS DIDÁTICOS

### 4.2.1 Uso dos elementos esperados no livro L1

O livro L1 – terceiro volume da coleção – é dividido em quatro partes, sendo que a última diz respeito à Física Moderna, cujo título é “Introdução à Física Moderna”. Esta parte é subdividida em três capítulos: Relatividade Especial; Física Quântica; e Física Nuclear

No início de cada capítulo os autores fazem uma breve introdução, explicando o que o aluno pode encontrar na leitura. Esta introdução apresenta exemplos de aplicações ou situações contextualizadas, juntamente com uma foto que se refere a um dos exemplos citados. A figura 01 mostra um exemplo.



Figura 1 - Breve introdução no início de cada capítulo do livro L1

Trata-se de um livro organizado. Os três capítulos possuem a mesma forma de apresentação do conteúdo. O conteúdo é explicado em forma de texto, seguido de exercícios resolvidos, propostos e testes, nesta ordem.

Na maioria das vezes, exemplos do cotidiano, formulação matemática e elementos ilustrativos acompanham a descrição do fenômeno. O conteúdo é explicado em forma de texto com exemplos que contextualizam a situação, tornando o assunto mais interessante e claro para o aluno.

Os esquemas – coloridos e genuínos – que acompanham a explicação ajudam na compreensão. Suas aparições ocorrem entre os parágrafos para ilustrar o que foi escrito anteriormente. Além disso, o uso de tiras de revista em quadrinhos é bastante comum, isto não deixa a leitura ser tão monótona e cansativa. A figura 02 mostra dois exemplos deste uso.



Figura 2 - Uso de tiras de revista em quadrinho no livro L1

Os exercícios resolvidos aparecem em uma seção especial quando a explicação é finalizada. Neste momento, os autores não apresentam exercícios qualitativos, apenas quantitativos. Em seguida, uma lista de exercícios é proposta para o aluno tentar resolver sem a ajuda do professor, com ênfase em exercícios quantitativos.

Este procedimento é repetido entre os conteúdos, ou seja, cada parte da matéria possui exercícios resolvidos e propostos. No final do capítulo há duas

seções: “Exercícios propostos de recapitulação”, uma lista de exercícios diversos que envolve todo o conteúdo do capítulo; e “Testes propostos”, uma lista extensa de exercícios retirados de provas de vestibular de diferentes universidades brasileiras.

#### 4.2.2 Uso dos elementos esperados no livro L2

O livro L2 – terceiro volume – é dividido em seis unidades, sendo a última referente ao conteúdo de Física Moderna, subdividida em três capítulos: Teoria da Relatividade; Física Quântica; e Física Nuclear.

A unidade é aberta com a apresentação de uma situação desafiadora em forma de pergunta, como mostra a figura 03. Essa questão contextualiza o uso da tecnologia nuclear com conceitos de cidadania.



Figura 3 - Abertura da unidade de Física Moderna do livro L2

Com relação à elementos de história da ciência, no início do capítulo verifica-se que o autor faz uma descrição histórica relacionada com os tópicos que cada um

apresenta. Não se trata de um texto isolado, e sim uma forma de introdução ao assunto, enriquecido com fotos, figuras e ilustrações. Os cientistas não são abordados apenas com uma breve biografia, e sim como pessoas participantes do processo do desenvolvimento da Ciência.

O autor segue com a descrição dos fenômenos respectiva ao conteúdo seguindo uma ordem didática escolhida. Formulação matemática, elementos ilustrativos e exemplos do cotidiano são, também, utilizados para auxiliar a descrição do fenômeno. Verifica-se que este ficaria insuficiente sem o auxílio daqueles. A figura 04 mostra um exemplo, em que a descrição é feita em forma de texto, esquemas e formulação matemática.

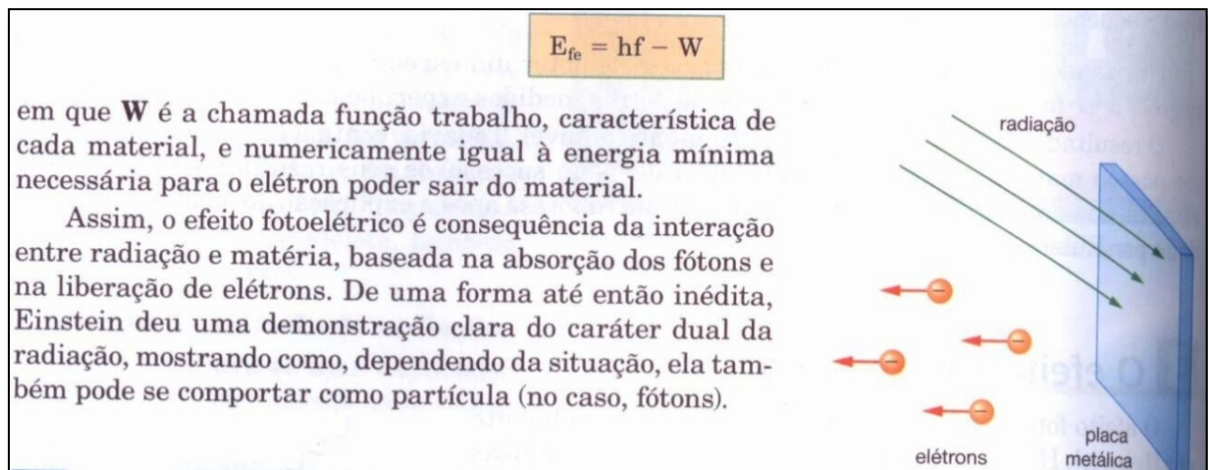


Figura 4 - Uso de texto, equação e esquema para descrição do fenômeno

Logo após a explicação fenomenológica, o livro apresenta a seção “Exemplos” que são exercícios resolvidos – normalmente quantitativos – na qual concede ao professor a oportunidade de explicar aos alunos o conteúdo recém visto. Segue-se com a seção “Elabore as Resoluções”, trata-se de uma pequena lista de exercícios, geralmente iniciada com os qualitativos e o restante com os quantitativos.


Para encerrar o conteúdo o livro apresenta a seção “Elabore em Casa” em que o autor preconiza exercícios de vestibular de diversas universidades do Brasil. Tal seção apresenta exercícios de fixação para o aluno tentar resolver sem o auxílio do professor.

Verifica-se outra característica no livro didático que pode ser categorizada de forma diferente, a seção chamada de “Quer Saber?”. Esta seção promove a interdisciplinaridade da Física com outras disciplinas, por meio de discussões que

envolvem os conteúdos estudados no capítulo. Além disso, motiva o professor a propor uma atividade investigativa para os alunos. A figura 05 mostra esta característica especial do livro.

**Quer saber?** **O que é urânio enriquecido?**

Para otimizar as reações nucleares, o urânio é enriquecido antes do seu uso nos reatores. O processo de enriquecimento consiste em aumentar o teor do isótopo U-235 existente na mistura natural. Sabemos que na mistura de isótopos do urânio natural (U-234, U-235 e U-238) o único que se fissiona é o isótopo U-235. Nas usinas nucleares brasileiras, os reatores utilizam elementos combustíveis com 3,5%. Porém, o urânio encontrado na natureza contém apenas 0,7% do isótopo U-235. Por isso, para abastecer essas usinas é preciso que o urânio encontrado na natureza passe por um processo de



*Centro de enriquecimento de urânio no Rio de Janeiro.*

enriquecimento para atingir a porcentagem necessária do isótopo U-235. É preciso destacar que o teor do enriquecimento depende dos objetivos a que se destina o elemento combustível. Apenas como exemplo, no caso da fabricação das bombas nucleares, esse enriquecimento deverá ser superior a 90%.

Resumidamente, podemos dizer que o processo para obter o elemento combustível depende das seguintes etapas: inicialmente o minério é extraído do solo e beneficiado, ou seja, separado de outros minérios. O produto desse beneficiamento é convertido em gás que será enriquecido (o teor de U-235 será aumentado). Esse gás é convertido em pó e compactado, formando pastilhas que serão colocadas em cilindros metálicos que constituirão os elementos combustíveis utilizados no núcleo do reator.

**Atividade**

Atualmente existe uma grande preocupação mundial quando se descobre que algum país está trabalhando com o enriquecimento de urânio. Por que países como os Estados Unidos da América consideram perigoso o fato de países como o Irã e a Coreia do Norte estarem investindo no enriquecimento do urânio? Resposta pessoal que possibilita uma discussão sobre política internacional aliada às notícias atuais sobre a produção de urânio enriquecido.

Figura 5 - Seção “Quer Saber?” do livro L2

#### 4.2.3 Uso dos elementos esperados no livro L3

O livro L3 é o terceiro volume da coleção dividido em duas unidades, a última é dividida em quatro capítulos, sendo os três primeiros referentes ao conteúdo de Física Moderna: Relatividade Especial, Física Quântica e Física Nuclear.

No início dos capítulos os autores apresentam uma situação que é explicada brevemente, de forma a intrigar o aluno e deixá-lo interessado no assunto tratado pelo capítulo. É uma forma de chamar a atenção do aluno. Trata-se de situações curiosas e muito bem contextualizadas.

Os elementos de história da Ciência aparecem na parte introdutória dos conteúdos ou em raras caixas (boxes) posicionadas na periferia da página. No texto, a história da Ciência é utilizada para mostrar como um fato histórico foi importante



para o desenvolvimento de certo conhecimento, e não simplesmente como uma breve biografia de físicos importantes, que é deixada para relatar nas caixas.

Além de aparecerem junto com parágrafos que contemplam história, os elementos ilustrativos acompanham a descrição do fenômeno. Figuras, fotos históricas, esquemas e desenhos tornam o texto mais claro. Além disso, gráficos são utilizados para discutir situações específicas, por exemplo: a porcentagem de núcleos existentes em uma amostra em função do tempo enaltece o conceito de meia vida. A figura 06 apresenta exemplos de alguns elementos ilustrativos encontrados no livro L3.

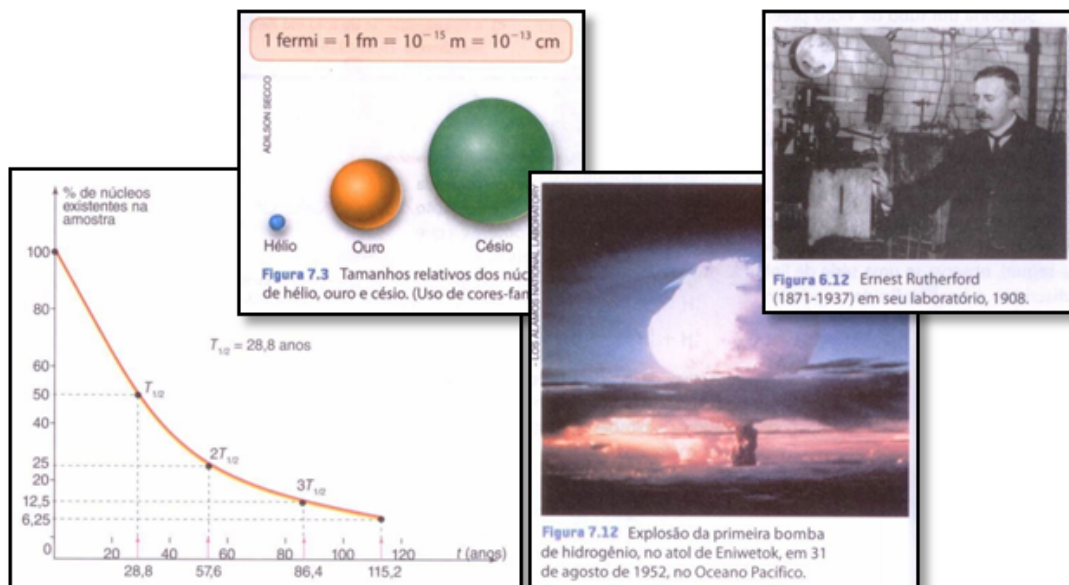


Figura 6 - Exemplos de elementos ilustrativos do livro L3

A descrição do fenômeno é feita em forma de texto – com auxílio, tanto de elementos de história como elementos ilustrativos – seguida de formulação matemática. Percebe-se que os autores possuem preocupação em mostrar o que principiou determinada equação, ou seja, quando sua dedução é possível de ser mostrada neste nível, os autores mostram-na.

Os exercícios resolvidos – sempre quantitativos – não aparecem em uma seção especial ou isoladamente para chamar a atenção de quem está lendo o livro, surgem para calcular e discutir algum resultado ou exemplo numérico no meio do texto. Já os exercícios propostos encontram-se em uma seção no final da explicação do conteúdo, contemplados de exercícios quantitativos e qualitativos.

Por fim, o livro L3, apresenta uma seção cujo nome é “Aplicação Tecnológica”. Trata-se de textos posicionados estrategicamente com título e figuras que chamam a atenção de um aluno interessado. Como o próprio nome já diz, o texto vincula o conteúdo discutido anteriormente com aplicações tecnológicas, normalmente relacionadas com o cotidiano do aluno.

#### 4.2.4 Uso dos elementos esperados no livro L4

O livro L4 é o terceiro livro da coleção dos livros didáticos de Física para o ensino médio, e é composto por cinco unidades, sendo a quarta unidade que discorre sobre o tema de Física Moderna.

O livro destina dois capítulos para apresentar: noções de Física Quântica e Relatividade. A unidade é iniciada com uma introdução à Física Moderna, como forma de breve explicação desse conteúdo e correlação aos fatos do cotidiano.

A descrição do fenômeno é realizada através de explicações textuais, não muito longas, porém que são suficientes para o entendimento desse assunto por um aluno do ensino médio.

O autor utiliza recursos visuais, como figuras, fotos, gráficos e esquemas para dar continuidade a cada tópico e se prevalece da parte histórica para entrar nos assuntos relacionados com a Física Moderna, o que leva o aluno a entender e fixar os conteúdos de forma facilitada.

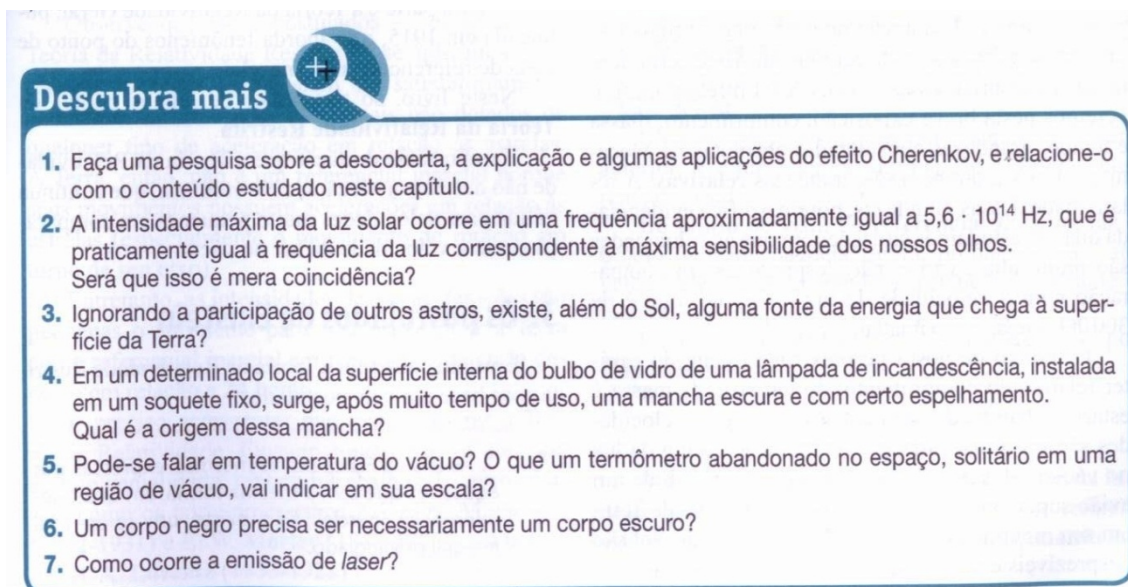
A formulação matemática serve de base para explicação dos conceitos, uma vez que esse recurso é bastante utilizado no livro didático. É importante ressaltar que essa é uma das maneiras de auxiliar a aprendizagem do aluno.

Os exercícios estão separados por “Questões Comentadas” e “Questões Propostas” no desenrolar dos capítulos, deixando a seção “Questões de Sedimentação e Aprofundamento” para o final dos mesmos.

Nas questões comentadas, o autor propõe um exercício e logo após mostra sua resolução de forma explicativa. Já as questões propostas e questões de sedimentação e aprofundamento, são exercícios para os alunos, com respostas objetivas ao final do livro. Todas as seções apresentam exercícios qualitativos e quantitativos.

Na figura 07, está exemplificada a seção “Descubra Mais”, na qual o autor sugere que o aluno pesquise mais sobre os assuntos estudados e responda

algumas questões mais aprofundadas. Essa parte está sempre no final da última seção de exercícios, no final do capítulo.



**Descubra mais**

1. Faça uma pesquisa sobre a descoberta, a explicação e algumas aplicações do efeito Cherenkov, e relacione-o com o conteúdo estudado neste capítulo.
2. A intensidade máxima da luz solar ocorre em uma frequência aproximadamente igual a  $5,6 \cdot 10^{14}$  Hz, que é praticamente igual à frequência da luz correspondente à máxima sensibilidade dos nossos olhos. Será que isso é mera coincidência?
3. Ignorando a participação de outros astros, existe, além do Sol, alguma fonte de energia que chega à superfície da Terra?
4. Em um determinado local da superfície interna do bulbo de vidro de uma lâmpada de incandescência, instalada em um soquete fixo, surge, após muito tempo de uso, uma mancha escura e com certo espelhamento. Qual é a origem dessa mancha?
5. Pode-se falar em temperatura do vácuo? O que um termômetro abandonado no espaço, solitário em uma região de vácuo, vai indicar em sua escala?
6. Um corpo negro precisa ser necessariamente um corpo escuro?
7. Como ocorre a emissão de *laser*?

Figura 7 - Seção “Descubra Mais” do livro L4

O livro traz conceitos físicos de forma destacada em retângulos, separados do texto. Esses adendos demonstram que o autor explica parte do conteúdo de Física Moderna de forma romântica e entusiasmada. Ao final da unidade, a seção “Leitura” traz textos que correlacionam, mais uma vez, os conteúdos com a realidade do aluno. Nessa unidade, o tema foi sobre a relatividade do tempo, totalizando três páginas. Após o término do texto, são feitos questionamentos a fim de instigar no aluno curiosidade e novas pesquisas.

#### 4.2.5 Uso dos elementos esperados no livro L5

O livro L5 – volume único – é dividido em seis grandes ramos da física: Mecânica; Física Térmica; Ótica Geométrica; Ondulatória; Eletromagnetismo; e Física Moderna. A parte de Física Moderna é dividida em quatro capítulos: Física Atômica; Relatividade; Radioatividade e Física Nuclear; e Astronomia. Vale ressaltar que, embora seja um livro condensado, por ser volume único, o conteúdo é suficiente.

Os capítulos apresentam a teoria e a descrição do fenômeno de forma a priorizar a construção dos conceitos com exemplos contextualizados, exercícios para a sala de aula e exercícios complementares. Os exercícios para a sala de aula não são resolvidos, e se enquadram na categoria de exercícios propostos,

qualitativos e quantitativos. Os exercícios complementares oferecem aos alunos a oportunidade de solidificar seu aprendizado e ter uma visão do grau de exigência das provas de vestibular.

A parte de Física Moderna é iniciada com uma introdução histórica, um texto que mostra como a Ciência se desenvolveu até chegar nos assuntos mais atuais. Embora seja a única menção histórica, o texto não narra breves biografias de físicos famosos, mas possui informações importantes deixando a ideia de que a Física não é uma Ciência acabada.

O visual do livro não é poluído e cansativo, possui elementos ilustrativos que tornam a explicação do conteúdo mais clara. O uso de tais elementos ocorre principalmente durante a descrição dos fenômenos que também é acompanhada de formulação matemática na maioria dos casos.

#### 4.2.6 Uso dos elementos esperados no livro L6

O último capítulo do livro L6 – terceiro volume da coleção – refere-se ao conteúdo de Física Moderna, cujo título é “A Nova física” e os tópicos são: uma visão panorâmica; o mundo do muito pequeno; o mundo do muito grande; e o mundo das estruturas complexas.

O conteúdo apresentado pelo livro é explicado em forma de texto, em todos os momentos, com auxílio de elementos ilustrativos, como figuras, esquemas e fotografias. Além disso, o uso de fatos históricos é bastante corriqueiro, o que não significa que isto torna o texto mais explicativo. A descrição dos fenômenos poderia ser complementada com alguns exemplos de aplicação contextualizados e exercícios, pois é básica e resumida.

#### 4.2.7 Uso dos elementos esperados no livro L7

O livro L7 – terceiro volume da coleção – é dividido em três unidades. A última é destinada a assuntos de Física Moderna, contidos em três capítulos: a natureza da luz; estrutura da matéria; e partículas elementares.

A descrição do fenômeno é apresentada sempre com linguagem simples e clara durante todo o capítulo, a parte conceitual mais relevante para a compreensão fenomenológica é tratada nesta ocasião, durante a descrição do fenômeno. Em alguns momentos, ainda durante o texto principal, os autores pausam a leitura com questões de interpretação que problematizam um conceito recém-apresentado

(seção "Explorando o Assunto"). Detalhes mais específicos de um conceito são apresentados no decorrer da seção "Por Dentro do Conceito", cujo objetivo é aprofundar o conteúdo.

O livro L7 é muito colorido e ilustrado, todas as páginas contêm algum tipo de elemento ilustrativo, seja, foto, figura, quadro, esquema, ou organograma. Ou seja, elementos ilustrativos acompanham todos os demais elementos especificados no quadro 1. Além disso, formulações matemáticas e exemplos numéricos são muito utilizados para detalhar o conteúdo.

Pequena biografia dos principais cientistas é apresentada na seção "O cientista no tempo e na história", em que o aluno pode conhecer parte da trajetória das pessoas da Ciência.

Na última unidade do livro, apenas uma proposta de experimento é feita, sobre Laser. Trata-se de procedimentos experimentais com materiais simples e de baixo custo que podem ser realizados em sala de aula. É uma atividade de investigação, com levantamento de hipóteses, e não experimentos de simples constatação. A figura 09 mostra a proposta experimental sobre Laser.

## Laser

Vamos investigar o dispositivo que emite luz *laser* por meio da comparação com a luz emitida por uma lanterna e pesquisar suas diversas aplicações.

### Material

- ponteira *laser*
- lanterna comum
- folha de papel
- tubo de caneta esferográfica

### Roteiro e questões

**Qual a diferença entre o LASER e a luz de uma lanterna?**

- Posicione a ponteira laser a 5 cm de uma folha de papel, acione e estime o tamanho da mancha luminosa formada nela.
- Faça o mesmo com a lanterna.
- Afaste o papel mais 5 cm e refaça os testes.
- Retire a carga do tubo de uma caneta esferográfica e projete a luz da ponteira *laser* pelo tubo, de modo a atravessá-la. Anote suas observações.
- Repita esse procedimento com a luz emitida pela lanterna.

**1)** Como é a luz emitida pela lanterna? E a luz emitida pelo *laser*? Em que se distinguem?

**2)** O que ocorreu com a luz emitida pela *laser* e pela lanterna ao atravessarem o tubo de caneta?

**3)** Que situações você conhece que utilizam o *laser*? Quais suas aplicações? Faça uma pesquisa na internet e elabore uma tabela que relacione as situações de uso do *laser* a sua aplicação.

Figura 8 - Proposta de experimento do livro L7 na parte de Física Moderna

O livro apresenta exercícios resolvidos que servem como auxílio para a resolução dos exercícios propostos. Estes podem ser feitos pelos alunos na sala de aula ou em casa, sugere o autor. São exercícios, qualitativos e quantitativos, relevantes no momento em que o aluno já fixou os conteúdos desenvolvidos no capítulo.

Na seção “técnica e tecnologia” o livro mostra a relação da Física, em particular do conteúdo apresentado, com a tecnologia. Verifica-se que o autor busca mostrar exemplos contextualizados e como a pesquisa científica pode ser aplicada para o bem-estar da sociedade.

### 4.3 TERCEIRA ETAPA – CONTEÚDO DE RAIOS X NOS LIVROS DIDÁTICOS

#### 4.3.1 Raios X no livro L1

O conteúdo de raios X do livro L1 não se encontra na parte de Física Nuclear, encontra-se no capítulo de ondas eletromagnéticas. Durante a explicação do espectro eletromagnético os raios X aparecem, juntamente com as demais radiações.

Dois páginas do livro são dedicadas a este tema. A descrição de como os raios X são produzidos, apesar de resumida, existe. Os autores apresentam um esquema simplificado de uma ampola de raios X, de um tomógrafo, e de como os raios X são utilizados na obtenção de radiografias. Além disso, possui uma foto de um paciente submetido a exame de tomografia.

#### 4.3.2 Raios X no livro L2

Apesar do quadro 1 não assinalar que o livro L2 apresenta o conteúdo de raios X na unidade de Física Moderna, o autor preferiu abordar este assunto na unidade 5 (Ondulatória) no capítulo de ondas eletromagnéticas.

O conteúdo é insuficiente, pois o livro faz apenas uma explanação histórica e cita algumas aplicações dos raios X na medicina. A seção de raios X não apresenta figura, esquemas e formulação matemática, porém contém exercícios qualitativos para fixação do conteúdo. Além disso, a descrição do fenômeno está mascarada por

uma explicação muito genérica, que, muito provavelmente, deixará o aluno em dúvida. Como mostrado a seguir:

“Os raios catódicos, ao se chocarem contra o ânodo, são desacelerados bruscamente e emitem os raios X, ou seja, ondas eletromagnéticas cujas frequências são maiores que as frequências da radiação ultravioleta. O poder de penetração dos raios X depende de seu comprimento de onda, pois, quanto menor seu comprimento de onda, maior será sua penetração como também a do material penetrado.” (Trecho retirado do livro L2).

É importante ressaltar que a citação acima corresponde a única tentativa de explicação da produção de raios X.

#### 4.3.3 Raios X no livro L3

No livro L3 o conteúdo de raios X aparece durante a explicação do espectro das ondas eletromagnéticas. O material didático possui um esquema da produção de uma radiografia e da aparelhagem usada numa seção de tomografia. As imagens e fotos são utilizadas para ilustrar: uma radiografia com fratura; tomografia do cérebro; e um paciente submetido à radioterapia.

O texto apresenta uma introdução histórica breve e várias aplicações na medicina. Além disso, os autores explicam que os raios X podem ser produzidos pela oscilação de elétrons das camadas mais internas dos átomos ou quando elétrons de alta energia colidem com outras cargas elétricas ou com átomos de um alvo metálico, todavia o processo para que isso aconteça não é citado.

#### 4.3.4 Raios X no livro L4

Os capítulos que envolvem a Física Moderna não contemplam o conteúdo de raios X, nem mesmo nos outros livros que compõe a coleção.

Na análise, foi encontrado um exercício na seção das questões propostas, que satisfaz a explicação sobre produção de raios X, com um esquema ilustrando, como mostrado na figura 09. Porém é somente este exercício que mostra esse conceito, sendo essa parte insuficiente para a compreensão do impacto da tecnologia dos raios X na vida humana.



Figura 9 - Explicação da produção de raios X por meio de exercício

#### 4.3.5 Raios X no livro L5

O conteúdo de raios X é apresentado no penúltimo capítulo da parte de Física Moderna. De forma resumida, porém interessante, os autores explicam suas aplicações na área médica e na indústria. Elementos ilustrativos, como figuras e esquemas são utilizados para tornar a explicação mais detalhada e contextualizada, todavia, não há formulação matemática e exercícios.

A descrição do fenômeno é incompleta, pois, na tentativa de explicar como os raios X são produzidos, os autores simplesmente dizem:

“Em 1895, Wilhelm Corad Roengten, usando um tubo com vácuo, um filamento incandescente e alta voltagem, acelerou os elétrons emitidos do filamento. Usou um princípio bem semelhante aos dos atuais tubos de TV. Ao atingir a tela do tubo, grande parte da energia era transformada em energia térmica, mas uma parte se transforma em energia radiante.” (Trecho retirado do livro L5).

#### 4.3.6 Raios X no livro L6

O fenômeno raios X é explicado no capítulo de ondas eletromagnéticas, durante a explicação do espectro eletromagnético. A descrição do fenômeno é feita em forma de texto com auxílio de uma foto e um esquema de um tubo de raios X.

O texto explica, muito rapidamente, que a produção de raios X é feita quando acelera-se elétrons em direção a um alvo de tungstênio por meio de uma voltagem elevada; os elétrons, ao atingir o alvo, sofrem uma desaceleração muito intensa, o que causa emissão de ondas eletromagnéticas de alta frequência.

Os autores apresentam aplicações na medicina com fotos de radiografias que auxiliam os médicos no estudo e prevenção de várias anomalias dos ossos, como lesões por esforço repetitivo, e de uma criança fazendo terapia com utilização dos raios X.



#### 4.3.7 Raios X no livro L7

O livro L7 fala sobre raios X na durante a explicação do espectro eletromagnético, na unidade referente à Física Moderna. Os autores simplesmente escrevem:

“Raios X e raios gama: liberados em reações nucleares, como a nuclear, que ocorre nos reatores das usinas termonucleares e nas bombas atômicas. Podem danificar células vivas originando tumores, porém dosagens controladas e de rápida exposição podem ser usadas em radioterapia para o tratamento de cânceres e no diagnóstico de tumores em alguns órgãos do corpo, a partir de um processo que é chamado de cintilografia.

Raios X: têm importante função na medicina, por serem utilizados em alguns diagnósticos do interior do corpo humano, como fraturas, pneumonia e tumores, a partir de radiografias e tomografias. Em baixas e controladas exposições, são usados em radioterapia; porém em exposições prolongadas e descontroladas são cancerígenos.” (Trecho retirado do livro L7).

É importante ressaltar que este trecho é tudo o que os autores explicam sobre raios X, ou seja, como são produzidos não é explicado. Além disso, nenhum dos elementos didáticos é utilizado, apenas alguns exemplos de aplicação.

#### 4.4 DISCUSSÕES

Os resultados apresentados na primeira etapa da pesquisa mostram que 86% dos livros analisados (seis dos sete) apresentam os seguintes elementos: descrição do fenômeno; exemplos do cotidiano; formulação matemática; elementos ilustrativos; elementos da história da ciência; e exercícios (propostos, qualitativos e quantitativos). Além disso, todos estes livros possuem extensão do conteúdo de Física Moderna suficiente.

Os livros L5, L6 e L7 possuem algumas particularidades. O livro L5 não possui exercícios resolvidos, muito provavelmente por ser volume único, já que as editoras exigem dos autores redução significativa do número de páginas. O livro L6 apenas apresenta três dos sete elementos esperados, sendo o único com extensão do conteúdo insuficiente. O livro L7 foi o único livro que apresentou uma proposta experimental durante a parte de Física Moderna.

Sobre o uso dos elementos esperados nos livros didáticos verifica-se uma unanimidade entre eles. De modo geral, apresentam a descrição fenomenológica muito bem acompanhada de elementos ilustrativos e formulação matemática,

seguido de exemplos contextualizados e aplicações tecnológicas – o que está vinculado com exemplos do cotidiano – seguidos de exercícios.

A segunda etapa mostra que apesar dos livros apresentarem elementos da história da ciência, textos históricos ou biografias, isto não os torna indispensáveis. Na maioria dos casos, breves biografias e textos históricos não contribuem significativamente para o entendimento do fenômeno. Este resultado, de cunho estatístico, aponta que elementos da história da ciência – da forma como foi encontrado nos livros – não é um dos elementos mínimos presentes em um material didático. Ademais, a proposta de experimento fica excluída da lista de elementos mínimos que compõe um material didático de Física Moderna.

A terceira etapa mostra como o conteúdo de raios X nos livros didáticos analisados é pobre. Quando há uma explicação do fenômeno de produção de raios X, a mesma é completamente resumida e simples. Basicamente os livros apresentam as aplicações tecnológicas na medicina e apenas um livro mostrou a aplicação na indústria. Na realidade, verifica-se que os autores não podem explicar o fenômeno devidamente, já que o mesmo está alocado na parte de Física Clássica. A teoria eletromagnética clássica não pode explicar tal fenômeno, pois a explicação é quântica.

O material didático de raios X para os professor de física do ensino médio foi produzido com base nos elementos didáticos essenciais pesquisados nos livros didáticos. Os livros de ensino superior: Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas (EISBERG e RESNICK, 1979); Física Radiológica (TILLY, 2010); e Manual de técnica radiográfica (VAL, 2006) foram utilizados como referenciais para elaboração do material apresentado no apêndice A.

## 5 CONCLUSÕES

Com relação à elaboração de um material didático sobre raios X de apoio aos professores, o trabalho propiciou o desenvolvimento de um texto mais confiável e detalhado. A descrição do fenômeno de produção de raios X é bem clara – na qual procurou-se explicar a origem dos detalhes – juntamente com elementos ilustrativos e formulação matemática. Isto foi possível pela identificação dos elementos pedagógicos que compõe um material didático, o que se efetivou pelas análises dos materiais nos quais esta pesquisa foi focada.

Para que os objetivos fossem atingidos, a parte relacionada ao ensino de Física Moderna dos livros foi analisada principalmente sobre o tema raios X, o que tornou possível uma proposta que atende o ponto de vista de melhoria do ensino médio, de acordo com os PCN (PCN, 2013).

Assim, de acordo com os dados obtidos, os elementos mínimos de um material didático de Física Moderna para o ensino médio são: descrição do fenômeno; exemplos do cotidiano; formulação matemática; elementos ilustrativos; e exercícios (resolvidos, propostos, qualitativos, quantitativos). Pode-se obter um resultado com um intervalo de confiança maior a partir da análise de uma amostra maior de livros didáticos, que fica como sugestão para trabalhos futuros.

O resultado desta pesquisa permitiu a elaboração de um material didático, como já mencionado, para auxiliar professores de Física do ensino médio que queiram ensinar o tópico raios X. Desta forma, este trabalho apresenta um material no qual espera-se contribuir para o ensino de física.

## REFERÊNCIAS

- BISCUOLA, G. J.; VILLAS BÔAS, N.; DOCA, R. H. **Física**, 3.v. 3. 1ª ed. São Paulo: Saraiva, 2010.
- BONJORNO, J. R.; BONJORNO, R. A.; CONJORNO, V.; RAMOS, C. M. **Física: História e Cotidiano**. São Paulo:FTD, 2004
- CARRON, W.; GUIMARÃES, O. As faces da física. v. único. 2ª ed. São Paulo: Moderna, 2002.
- COSTA, R. R., SALGADO, C. M. S. V. S., SANTIAGO, M. M. F. Tópicos de radiação no ensino médio. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18, 2009, Vitória. **Anais**. Vitória: SBF, 2009.
- EISBERG, R.; RESNICK, R. **Física Quântica: átomos, moléculas, sólidos, núcleos e partículas**. 35ª reimpressão. Rio de Janeiro: Elsevier, 1979.
- E-STORE. Catálogo de produtos. Disponível em <http://www.p-wholesale.com/cn-pro/10/453to1/x-ray-tube-gd-434644.html> acessado em 30/04/2013.
- GASPAR, A. **Física**. São Paulo: Ática, 2004.
- LUDKE, M.; ANDRÉ, M. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física**. São Paulo: Scipione, 2007.
- MÁXIMO, A.; ALVARENGA, B. **Curso de Física**. São Paulo: Scipione, 2000.
- OLIVEIRA, F. F.; VIANNA, D. M. O ensino de Física Moderna, com enfoque CTS: um tópico para o ensino médio – Raios X. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 10, 2006, Londrina. **Anais**. Londrina: SBF, 2006.
- OLIVEIRA, M. P. P.; POGIBIN, A.; OLIVEIRA, R. C. A.; ROMERO, T. R. L. **Física em contextos: pessoal, social e histórico: eletricidade e magnetismo, ondas eletromagnéticas, radiação e matéria**. V. 3. 1ª ed. São Paulo: FTD, 2010.
- OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de física na escola de nível médio: um estudo desta problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 7, 2000, Florianópolis. **Anais**. Florianópolis: SBF, 2000.
- PCN. Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Disponível em: [http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza .pdf](http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf) acessado em 13/06/2012.

RAMALHO, F. Jr.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Os Fundamentos da Física**. v. 3. 9ª ed. São Paulo: Moderna, 2007.

SÁ-SILVA, J. R.; ALMEIDA, C. D. de; GUINDANI, J. F. Pesquisa documental: pistas teóricas e metodológicas. **Revista Brasileira de História & Ciências Sociais**, v. 1, n. 1, p. 01 – 15, 2009.

SILVA, C. X.; BARRETO, B. F. **Física aula por aula: eletromagnetismo, ondulatória, Física Moderna**. v. 3. 1ª ed. São Paulo: Editora FTD, 2010.

SOUSA, W. B.; PIETROCOLA, M.; UETA, N. Física das radiações: uma proposta para o ensino médio. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11, 2008, Curitiba. **Anais**. Curitiba: SBF, 2008.

TEIXEIRA, R.R.P.; MACHADO, C.B.; SANTOS, I. P.; AGUILA, S.V. Possibilidades didáticas do uso do livro “o incrível mundo da Física Moderna” no ensino de física. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE ENSINO DE FÍSICA, 18, 2009, Vitória. **Anais**. Vitória: SBF, 2009.

TILLY Jr., J. G. **Física radiológica**. 1ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2010.

VAL, F. L. Manual de técnica radiográfica. Barueri, SP: Manole, 2006

TORRES, C. M. A.; FERRARO, N. G.; SOARES, P. A. T. **Física – Ciência e Tecnologia**. v. 3. 2ª ed. São Paulo: Moderna, 2010.

UFPR. Processo Seletivo 2011/2012: Guia do Candidato. Disponível em: [http://www.nc.ufpr.br/concursos\\_institucionais/ufpr/ps2012/documentos/guia\\_candidato\\_ps2012.pdf](http://www.nc.ufpr.br/concursos_institucionais/ufpr/ps2012/documentos/guia_candidato_ps2012.pdf) acessado em 13/06/2012.

VALENTE, L.; BARCELLOS, M. E.; SALÉM, S.; KAWAMURA, M. R. D. Física nuclear: caminhos para a sala de aula. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 11, 2008, Curitiba. **Anais**. Curitiba: SBF, 2008.

## **APÊNDICE A – MATERIAL DE APOIO SOBRE TÓPICOS RELACIONADOS A RAIOS X PARA PROFESSORES DE ENSINO MÉDIO**

Tendo em vista que os livros didáticos não apresentam uma discussão aprofundada sobre o conteúdo de raios X, este apêndice tem o objetivo de fornecer um material mais confiável para aqueles professores que desejam ensinar este tópico. Livros didáticos de ensino superior foram utilizados para elaborar este material didático. Assim, espera-se apresentar um conteúdo baseado em fontes confiáveis que possa contribuir para o ensino de física.

### **INTRODUÇÃO**

A radiação ou onda eletromagnética origina-se de perturbações eletrônicas em um meio material, um exemplo disso é o movimento acelerado ou desacelerado de elétrons (TILLY Jr., 2010; EISBERG e RESNICK, 1979). Uma onda é caracterizada fisicamente por amplitude, comprimento de onda, frequência e velocidade de propagação.

A velocidade ( $v$ ), frequência ( $\nu$ ) e o comprimento de onda ( $\lambda$ ) estão relacionados pela equação 1.

$$v = \lambda \cdot \nu \quad (1)$$

Para a radiação eletromagnética que se propaga no vácuo, a velocidade de propagação é  $v = c$ , onde  $c \cong 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ . Como a velocidade da onda em um meio é constante,  $\lambda$  e  $\nu$  estão interligados, a medida que o comprimento de onda aumenta, a frequência diminui e vice-versa.

A frequência ou o comprimento de onda é o que determina a energia transportada pela onda, dada pelas equações (2) ou (3)

$$E = h \cdot \nu \quad (2) \qquad E = h \cdot \frac{c}{\lambda} \quad (3)$$

onde  $E$  é a energia da onda e  $h$  é a constante de Plank  $h = 4,14 \cdot 10^{-18} \text{ keV}$  ou  $h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ . A energia do fóton associado à onda eletromagnética também é dada pela equação (2) ou (3).

### **PRODUÇÃO DE RAIOS X**

Os raios X são produzidos no alvo de um tubo de raios X, representado esquematicamente pela figura A1, quando um feixe de elétrons de alta energia,

acelerados por uma diferença de potencial é freado ao atingir o alvo (EISBERG e RESNICK, 1979).

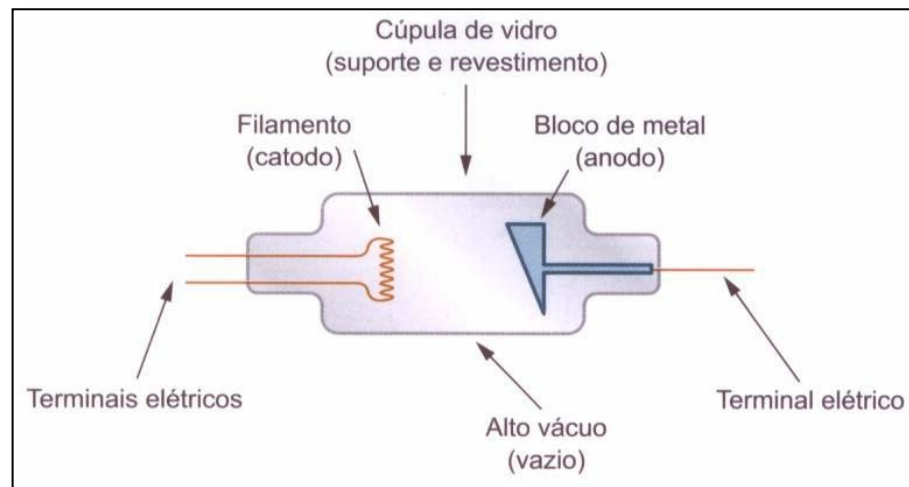


Figura A1 – Representação dos componentes de um tubo de raios X

Fonte: (TILLY Jr., 2010)

Os elementos fundamentais do tubo de raios X são (TILLY Jr., 2010):

- Filamento: fio enrolado, semelhante ao de uma lâmpada incandescente de uso doméstico, que tem a finalidade de fornecer os elétrons para a produção de raios X.
- Anodo: bloco de metal que funciona como alvo para os elétrons; em geral é feito de tungstênio, que, por ser um material de elevado número atômico, favorece a produção de raios X.
- Cúpula de vidro: é usada como suporte para a montagem de todos esses elementos e para manter vácuo em seu interior.

Primeiramente o filamento do catodo deve ser levado a uma temperatura elevada a partir da passagem de uma corrente elétrica – que provoca uma reação eletrônica chamada **emissão termoiônica**, caracterizada pela formação de agrupamento de elétrons ao redor do filamento – para que os elétrons possam ser liberados das órbitas dos átomos do material (VAL, 2006). A temperatura do filamento de tungstênio costuma atingir 2000 °C. Quanto maior for o aquecimento do cátodo e mais extensa a área da superfície de seu filamento, maior será o número de elétrons liberados (VAL, 2006).

Em seguida, é aplicada uma diferença de potencial muito alta entre o catodo e o anodo (entre 30 kV e 150 kV), de tal forma que os elétrons são acelerados em direção ao alvo. Pode-se considerar que o campo elétrico entre o catodo e o anodo

produzido pela diferença de potencial  $V$  é uniforme, assim, o trabalho  $w$  realizado para transportar uma carga  $\Delta q$  de um ponto ao outro é dado pela equação (4).

$$w = \Delta q \cdot V \quad (4)$$

Portanto a energia cinética de um elétron, cuja carga é  $e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$ , ao atingir o alvo é dada pela equação (4).

$$K = e \cdot V \quad (5)$$

Um elétron de energia cinética inicial  $K$  é desacelerado pela interação com um núcleo pesado do alvo, e a energia que ele perde aparece na forma de radiação como um fóton de raios X. O elétron interage com o núcleo carregado através do campo coulombiano, transferindo momento para o núcleo. A desaceleração resultante causa emissão do fóton (EISBERG e RESNICK, 1979).

A energia do fóton é igual a diferença entre a energia cinética antes da colisão (dada pela equação 5) e a energia cinética depois da colisão. Seja  $K'$  a energia cinética do elétron após a colisão, então a energia do fóton emitido é:

$$E = h \cdot \nu = K - K' \quad (6)$$

e o comprimento de onda do fóton é dado pela equação (3).

Os elétrons no feixe incidente podem perder diferentes quantidades de energia nessas colisões, e em geral um elétron chegará ao repouso apenas depois de várias colisões (EISBERG e RESNICK, 1979).

Os raios X assim produzidos pelos elétrons constituem o espectro contínuo da figura A3. Este espectro de radiação é frequentemente chamado de *bremstrahlung* (ou freamento), representado pela figura A2.

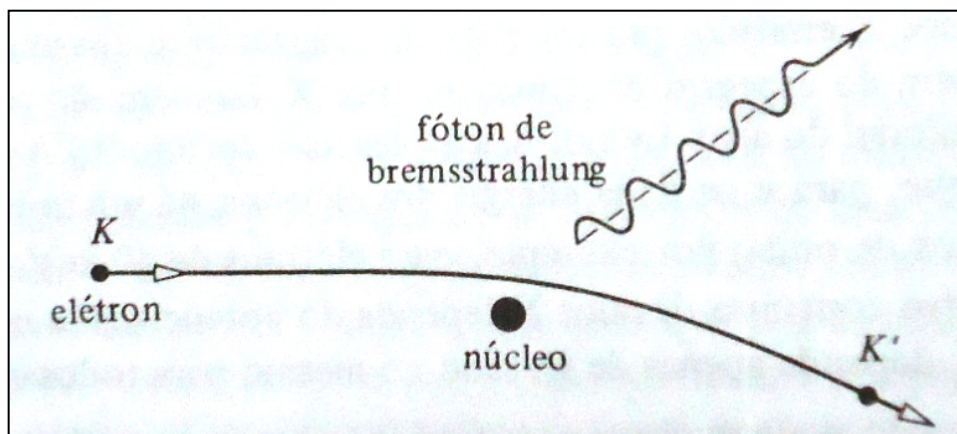


Figura A2 – O processo de bremsstrahlung responsável pela produção do espectro contínuo de raios X. Fonte: (EISBERG e RESNICK, 1979).



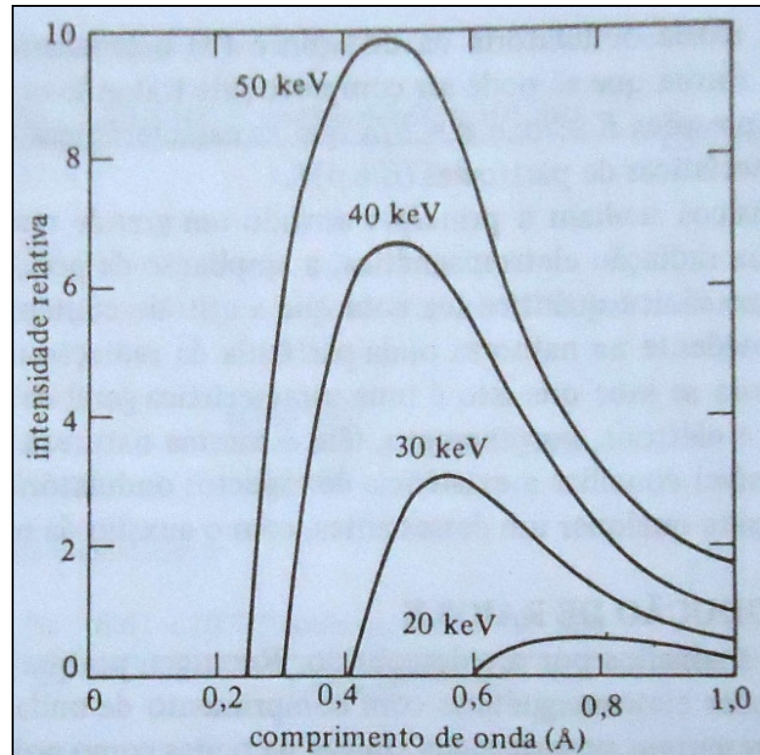


Figura A3 – O espectro contínuo de raios X que é emitido de um alvo de tungstênio, para quatro diferentes valores de eV, a energia dos elétrons incidentes. Fonte: (EISBERG e RESNICK, 1979).

É importante notar que para cada curva, ou seja, para cada energia, há um comprimento de onda mínimo ( $\lambda_{min}$ ), que corresponde ao fóton de raios X mais energético; por exemplo, para elétrons de 50 keV,

$$\begin{cases} E = h \cdot \nu \\ c = \lambda \cdot \nu \end{cases} \Rightarrow E = \frac{h \cdot c}{\lambda} \Rightarrow \boxed{\lambda = \frac{h \cdot c}{E}}$$

$$\lambda_{min} = \frac{h \cdot c}{E} = \frac{4,14 \cdot 10^{-18} \cdot 3,0 \cdot 10^8}{50} \Rightarrow \lambda_{min} = 0,248 \text{ \AA}$$

este é o caso mais raro, em que o elétron perde toda sua energia cinética em apenas um processo de colisão, ou seja,  $K' = 0$ . Todavia, o que acontece é que o número de fótons com  $0,5 \text{ \AA}$  (energia menor que os fótons de  $\lambda_{min} = 0,248 \text{ \AA}$ ) é bem maior que os demais, como pode ser visto na figura A3. Ou seja, na prática, se se deseja fazer um exame radiográfico com raios X de aproximadamente 25 keV ( $\lambda = 0,3 \text{ \AA}$ ) o operador do equipamento deverá usar uma diferença de potencial entre o catodo e o anodo de 50 kV; neste caso  $\lambda = 0,3 \text{ \AA}$  corresponde ao comprimento de onda referente ao pico da curva de 50 keV; 24,84 keV é a energia média, por exemplo. Portanto o limite mínimo dos comprimentos de onda representa a conversão completa da energia dos elétrons em radiação X.

## RAIOS X CARACTERÍSTICO

Além de passarem próximos ao núcleo, elétrons do feixe podem eventualmente passar próximos de elétrons de subcamadas internas, e se sua energia for suficientemente grande, a colisão expulsará o elétron de sua órbita. A vaga deixada pelo elétron expulsado é percebida pelos elétrons mais externos, que tentarão preencher essa vacância (TILLY Jr., 2010; EISBERG e RESNICK, 1979). A primeira parte da figura A4 ilustra esta situação.

Isto deixa o átomo num estado altamente excitado, porque um de seus elétrons de energia muito negativa está faltando. O átomo poderá voltar ao seu estado fundamental emitindo um conjunto de fótons de alta energia e portanto de alta frequência e baixo comprimento de onda; que pertencem ao espectro de raios X (EISBERG e RESNICK, 1979). A radiação X gerada dessa maneira é chamada de radiação característica.

Em cada átomo a energia de ligação de seus elétrons é bastante específica. A energia de ligação da camada K não é a mesma para todos os átomos, o mesmo ocorre para as outras camadas. Por isso, a energia do fóton de raios X liberado nesse processo é característica daquele tipo de transição para aquele átomo, por isso é chamada de radiação característica (TILLY Jr., 2010). A segunda parte da figura A4 apresenta um espectro de raios X típico.

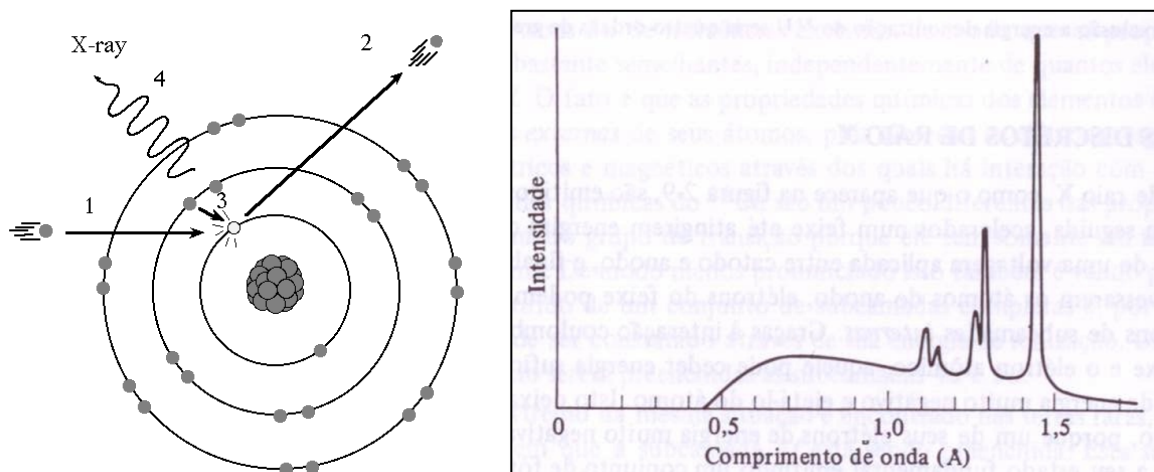


Figura A4 – a) Representação da produção de radiação característica. A ordem dos acontecimentos acompanha a numeração. b) As linhas são características dos átomos do anodo do tubo de raios X (tungstênio neste caso). O contínuo provém do bremsstrahlung produzido pelos elétrons acelerados no espalhamento com os núcleos desses átomos. Fonte: (EISBERG e RESNICK, 1979).

## ESTRUTURA DO TUBO – UMA ATIVIDADE ILUSTRATIVA

É interessante que o professor, durante a explicação teórica sobre raios X, leve ou monte com os alunos uma réplica do tubo de raios X. A figura A5 é uma foto de um tubo real. O fato dos alunos conhecerem melhor seus componentes, muito provavelmente, ajudará na compreensão do fenômeno.



Figura A5 – Representação do tubo de raios X.

Fonte: adaptado de (E-STORE, 2013)

Sugere-se então que o professor faça uma atividade com seus alunos para construir uma espécie de maquete do tubo de raios X. A figura A5 é um bom modelo para a atividade.

O invólucro de vidro pode ser simulado com uma garrafa *pet* de refrigerante transparente, o ânodo por um CD de diâmetro 6 cm ou algum disco metálico, e o filamento do catodo por uma mola de uma caneta velha. Trata-se de uma atividade que estimula a imaginação dos alunos e o custo é baixo. Além disso, esta atividade ajuda a fixar a teoria, pois durante a elaboração da atividade o aluno pensará no papel de cada componente na produção de raios X.

## ASPECTOS PRÁTICOS

Na prática, o operador de um aparelho de raios X pode alterar os seguintes parâmetros: tensão radiográfica (kV), o tempo de exposição (s), a corrente (mA), ou o miliampère-segundo (mAs). A alteração de um ou mais parâmetros altera a qualidade da imagem, pois a energia dos elétrons acelerados é modificada e consequentemente a energia média dos fótons de raios X também.

Tensão radiográfica (kV): é a tensão aplicada entre o anodo e o catodo. O ajuste da tensão é o principal parâmetro da técnica radiográfica, pois determina decisivamente o espectro radiográfico (TILLY Jr., 2010). Uma mudança de kV altera a amplitude e as energias média e máxima do feixe radiográfico. Na medida em que o kV aumenta, a energia dos fótons de raios X aumenta.

Tempo de exposição (s): é o tempo necessário para que o equipamento emita radiação e a imagem seja realizada com qualidade. É o intervalo de tempo em que o tubo é energizado. Normalmente os aparelhos utilizam o segundo (s) como unidade de tempo. Os exames de raios X em um paciente variam entre décimos de segundos e três segundos, o tempo varia de acordo com o exame. Vale ressaltar que o tempo de exposição é o intervalo de tempo que a diferença de potencial entre o catodo e o anodo (kV) fica ligada.

Corrente (mA): trata-se da corrente que passa no filamento do catodo. É interessante que o professor lembre o conceito de corrente elétrica. A corrente elétrica  $i$  é dada por:

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t} = \frac{n \cdot e}{\Delta t} \quad (7)$$

onde  $n$  é o número de elétrons. Se o operador selecionar uma corrente maior, mais elétrons estarão prontos para serem acelerados pelo campo elétrico produzido pela diferença de potencial. Normalmente um aparelho é projetado para operar entre 50 mA e 800 mA.

Miliampère-segundo (mAs): Em alguns equipamentos o controle da corrente e do tempo estão vinculados em um único dispositivo, o miliampère-segundo. Nota-se

que corrente vezes tempo é carga elétrica, portanto A.s é unidade de coulomb. Ou seja o miliampère-segundo é um parâmetro que determina a quantidade de elétrons.

### **ATIVIDADE EXPERIMENTAL – ADIVINHE SE PUDER**

Por mais que as escolas de ensino médio não possuam um equipamento de raios X, eles podem ser encontrados em instituições de ensino superior, como na UTFPR. O Laboratório de Raios X da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR está equipado com um equipamento de raios X de uso médico, e possui todos os requisitos de blindagem nas paredes, biombo e avental de chumbo. Essa prática deverá ser feita em comum acordo entre o Departamento de Física da UTFPR e o professor de Física que estará ministrando a prática. O equipamento somente poderá ser manuseado por um profissional treinado para tal (Tecnólogo em Radiologia, ou físico médico).

O objetivo da aula é proporcionar aos alunos uma aplicação prática para os raios X. Não serão feitos experimentos com humanos por uma questão de proteção radiológica e ética.

A prática abordará conceitos de radiação ionizante, diferença de potencial (tensão) e corrente, e como que esses parâmetros influenciam na imagem obtida. Também, trará para os alunos uma noção de radioproteção. A prática simula o que um equipamento de raios X nos aeroportos fazem. Seu uso não é igual ao de um equipamento para fins médicos, mas o princípio é similar (uso da radiação ionizante).

Apresenta-se um roteiro básico para um aula prática:

- A proposta sugere que o professor coloque, dentro de uma bolsa, mala ou mochila, objetos metálicos comuns (talheres, garfo, pulseira, clips, tesoura, brinco, cinto, moeda, relógio, caneta, celular...) dispondo-os de maneira que fiquem espalhados e não sobrepostos. Também é essencial colocar nessa mochila roupas, (como blusas de lã), para dar volume e mostrar a diferença da penetração da radiação em um objeto metálico e outro que não é. Outros possíveis materiais:
- O profissional da Universidade fará uma exposição à radiação X e o filme com a imagem será revelado.
- Os alunos, por sua vez, irão analisar essa imagem em um negatoscópio e deverão reconhecer os objetos.

- Peça para o operador do equipamento alterar os parâmetros de aquisição: tensão radiográfica (kV), o tempo de exposição (s), a corrente (mA), ou o miliampère-segundo (mAs).

A fim de elucidar a diferença que os parâmetros fazem com a imagem, mais de uma imagem será realizada.

As radiografias obtidas durante a prática podem ser levadas para a sala de aula, onde o professor poderá discutir com os alunos a qualidade da imagem e diferença entre as radiografias devido a alteração dos parâmetros. Vale ressaltar que se deve fazer uma discussão relacionando os parâmetros e o motivo pelo qual as imagens ficaram diferentes.

A figura A6 mostra uma radiografia panorâmica de um paciente com implantes dentários e aparelho de contenção metálico no maxilar inferior. As regiões esbranquiçadas da radiografia ocorrem porque um número maior de fótons foram barrados pelo obstáculo (no caso, os metais e ossos), comparado com o número de fótons barrados pelos demais obstáculos de tecido mais mole (como a gengiva e a pele).



Figura A6 – exemplos de um radiografia panorâmica com elementos metálicos