

## **Análise de conteúdos de física nuclear em livros escolares brasileiros**

**André Tenório<sup>1</sup>, Louise Souza Quintana<sup>1</sup>, Wallace Vallory Nunes<sup>1</sup> e Thaís Tenório<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, Brasil;

<sup>2</sup>Universidade Aberta do Brasil, Brasil. E-mails: [tenorioifrj@gmail.com](mailto:tenorioifrj@gmail.com), [tenoriocalc@gmail.com](mailto:tenoriocalc@gmail.com).

**Resumo:** Foram analisadas as abordagens dos temas energia nuclear e radiação presentes em vinte e sete livros escolares brasileiros. A análise foi baseada em critérios delineados nos parâmetros curriculares nacionais do Ensino Médio. Comparativamente, os conteúdos de física de nuclear são apresentados de maneira desigual e inconsistente entre as obras. A preocupação com a contextualização foi observada em todas. Entretanto, muitas sequer dedicam um capítulo à física nuclear, com temáticas importantes, como geração de energia elétrica por origem nuclear, poluição radioativa, riscos à saúde, reações nucleares e estelares, enriquecimento de urânio, acidentes nucleares e aplicações médicas, geológicas ou arqueológicas, omitidas ou mencionadas de forma esparsa e avulsa. Abordagens históricas ou interdisciplinares mostraram-se raras, bem como alusões do contexto brasileiro. Poucas obras foram consideradas satisfatórias no tratamento da maioria dos aspectos científicos, tecnológicos, políticos, históricos e sociais da ciência nuclear. No geral, o tema parece estigmatizado pelo terror da guerra fria e dos grandes acidentes. Numa época de crise energética e climática, em que o mundo volta a olhar para as fontes nucleares como alternativa aos combustíveis fósseis, em que nutre esperança de alcançar a fusão controlada autossustentável, os livros revelam descompasso com os desafios às gerações do século XXI.

**Palavras-chave:** livros escolares, energia nuclear, radioatividade.

**Title:** Content's Analysis of Nuclear Physics in Brazilian Textbooks.

**Abstract:** The contents on nuclear energy and radiation of twenty seven Brazilian textbooks were analyzed. The analysis was based on criteria outlined in the national curriculum for Secondary Education. Comparatively, the subject is presented in an uneven and inconsistent manner throughout the various collections. Attention to contextualization was observed in all of them. However, many collections do not even dedicated a whole chapter to nuclear physics, with important themes, such as nuclear powered electricity production, radioactive pollution, health risks, nuclear and stellar reactions, uranium enrichment, nuclear accidents and medical, geological or archaeological applications, omitted or mentioned in sparse and patchy fashion. Historical or interdisciplinary approaches were discovered rare either, with few allusions to Brazilian context. Only few collections were considered satisfactory in its treatment of most of the scientific, technological, political, historical and social aspects of nuclear science. The

theme overall seemed still stigmatized due to Cold War terror and large scale accidents. In an era of energetic and climatic crisis, when the world looks back at nuclear sources as an alternative to fossil fuels and nourishes the hope of achieving self-sustaining controlled fusion, the books revealed themselves in misalignment with the challenges facing XXI century generations.

**Keywords:** textbooks, nuclear energy, radioactivity.

### **Introdução**

Atualmente, o livro escolar exerce papel fundamental na Educação Básica e representa um importante guia no trabalho do professor (García *et al.*, 2002; Barganha e Garcia, 2009; Lamarque e Terrazan, 2009; Lobato *et al.*, 2009; Nogueira, Dias e Junior, 2009).

No Brasil, o primeiro programa de distribuição de livros escolares se iniciou em 1929 com nome e formato diferentes. A partir de agosto de 1985, através do decreto-lei nº 91.542, a iniciativa intitulou-se Programa Nacional do Livro Didático (PNLD) (Höfling, 2000). Com o passar dos anos a ação cresceu, então o Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio (PNLEM) foi criado. Entretanto, somente em 2008 ocorreu à distribuição de livros de Física em todas as regiões do Brasil. A última edição do PNLEM ocorreu em 2011, pois esse foi inserido no PNLD desde 2012 (Ministério da Educação e Cultura, 2011a).

Assim, cada vez mais, o livro escolar ganhou relevância no ensino brasileiro, ao atuar desde ferramenta de trabalho a objeto de estudo nas mais diversas áreas de conhecimento, inclusive na disciplina de Física do Ensino Médio (Valente *et al.*, 2008; Lamarque e Terrazan, 2009; Mendes, Cruz e Angotti, 2009; Souza e Germano, 2009; Batista e Siqueira, 2011; Maia e Villani, 2011; Silva e Pereira, 2011).

Devido ao seu valor na construção do conhecimento, o livro escolar deveria promover o desenvolvimento de habilidades diversas previstas nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) (Ministério da Educação e Cultura, 2000a) e nos Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM) (Ministério da Educação e Cultura, 2000b) do Brasil.

Os PCNs têm como principal objetivo direcionar os conteúdos ministrados na Educação Básica e estabelecer competências e habilidades a serem desenvolvidas pelo educando (Ministério da Educação e Cultura, 2000a; Dias e Abreu, 2006).

Os PCNEM no âmbito das Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias propõem promover a contextualização dos conhecimentos de Física e indicam a discussão de fontes energéticas, inclusive a nuclear. Esses sugerem abordar os benefícios e riscos da energia nuclear e das radiações para permitir ao educando exprimir opiniões sobre as consequências de acidentes envolvendo radiações ionizantes, a importância de procedimentos atenuadores de impactos ambientais e a participação de cientistas na produção de bombas atômicas. O aspecto histórico e suas relações com o contexto cultural, social, político e econômico também devem ser discutidos (Ministério da Educação e Cultura, 2000b).

A física nuclear faz parte do cotidiano dos estudantes e é importante entender seus aspectos científicos, tecnológicos, políticos e sociais (Sorpreso e Almeida, 2010; Oliveira e Herculano, 2012). Esse assunto atual, polêmico e controverso pode apresentar onhecimentos no ensino médio capazes de fazer os alunos se posicionarem criticamente nos debates apresentados pelas mídias (Kuramoto e Apolloni, 2002; Valente *et al.*, 2008).

### **Fundamentação teórica**

Diversos estudos (Samagaia e Peduzzi, 2004; Barragán, Mortimer e Leal, 2007; Ribeiro, 2007; Krey e Moreira, 2009; Pereira, Filho e Neves, 2009; Pinto e Marques, 2010) destacaram a importância de discutir Física Moderna e Contemporânea na Educação Básica.

Samagaia e Peduzzi (2004) citaram a possibilidade de empregar jogos no ensino de fissão nuclear, radiação e energia, de modo a problematizar a criação de bombas atômicas no contexto da segunda guerra mundial. Já Ribeiro (2007) e Pinto e Marques (2010) ressaltaram a necessidade de a radioatividade ser aludida no ensino médio por meio de abordagens contextualizadas e interdisciplinares.

Barragán, Mortimer e Leal (2007) investigaram as opiniões de um grupo de discentes brasileiros do primeiro ano do ensino médio sobre tópicos relacionados à Física Nuclear. Muitos associaram a radiação a efeitos negativos como câncer, mas alguns citaram os benefícios da energia nuclear como fonte energética.

Sorpreso e Almeida (2008; 2010) pesquisaram as percepções de licenciandos em Física de uma universidade paulista a respeito da Física Nuclear e verificaram as dificuldades deles ministrarem tal conteúdo. Além de perceberem que os licenciandos produziram discursos influenciados por concepções anteriores à aprendizagem na universidade.

Pereira, Filho e Neves (2009) questionaram vinte professores de Física e cento e quinze estudantes brasileiros do ensino médio acerca dos conteúdos de Física Moderna e Contemporânea. Segundo a pesquisa, poucos professores abordavam o tema em sala de aula. Os alunos tinham um conhecimento superficial proveniente, em geral, dos meios de comunicação de massa.

Pesquisas acerca do livro escolar e dos conteúdos de física atômica, radiação e energia nuclear também representam um campo fértil de estudo (Lamarque e Terrazan, 2009; Mendes, Cruz e Angotti, 2009; Souza e Germano, 2009; Batista e Siqueira, 2011; Silva e Pereira, 2011).

Valente *et al.* (2008) estudaram oito livros de Física comumente usados no ensino médio brasileiro e destacaram o ensino dos conteúdos nas obras como simplista e superficial com poucos aspectos tecnológicos e sociais.

Mendes, Cruz e Angotti (2009) analisaram livros de Física do PNLEM 2008/2009. Eles mencionaram a superficialidade das obras e o foco em matematizar conteúdos. Já Souza e Germano (2009) ressaltaram a omissão de temas importantes em livros escolares brasileiros, como lixo nuclear, Projeto Manhattan e acidentes nucleares.

Lamarque e Terrazan (2009) investigaram setenta e sete questões de Física Moderna em quatro coleções do PNLEM 2008. Embora, quarenta e uma fossem situações-problema, trinta e seis envolviam apenas a memorização conceitual.

Batista e Siqueira (2011) destacaram que, de seis livros escolares do PNLEM 2009, apenas dois discutiram a produção de energia elétrica a partir da energia nuclear. Silva e Pereira (2011) avaliaram alguns livros do PNLEM 2008 e perceberam uma abordagem superficial e pouco interdisciplinar do tema radiação.

Neste artigo, os conteúdos de energia nuclear e radiação dos livros escolares de Física comumente usados no ensino médio brasileiro e fornecidos pelo PNLD 2012 (Ministério da Educação e Cultura, 2011b) foram investigados de acordo com alguns critérios mencionados nos PCNs (Ministério da Educação e Cultura, 2000a; Ministério da Educação e Cultura, 2000b), e nas suas orientações educacionais complementares (Ministério da Educação e Cultura, 2002). Tais critérios foram detalhados na seção contexto e metodologia.

### **Contexto e metodologia**

Este artigo analisou a abrangência do tema energia nuclear e radiação em livros escolares de Física do ensino médio. Nove das dez coleções (Tabela 1) que compunham o PNLD 2012 (Ministério da Educação e Cultura, 2011b) foram avaliadas. Apenas uma, intitulada Física e Realidade dos autores Aurélio Gonçalves Filho e Carlos Toscano, não foi analisada devido à dificuldade de encontrá-la em bibliotecas e de obtê-la junto à editora. Todos os volumes foram investigados, o que totalizou vinte e sete obras.

Os livros foram escolhidos para a pesquisa por serem uns dos mais usados na Educação Básica brasileira, devido à inserção do PNLD (Ministério da Educação e Cultura, 2011b). O programa, além de cada vez mais abrangente nas escolas brasileiras, seleciona as obras por uma criteriosa avaliação a qual considera o respeito à legislação, às diretrizes e às normas oficiais relativas ao ensino médio. O presente estudo não teve intenção de refutar tal avaliação, mas sim de analisar a abordagem das obras para conteúdos de física nuclear. A metodologia observou trabalhos já publicados, como o de Lamarque e Terrazan (2009), Souza e Germano (2009) e Batista, Cunha e Cândido (2010).

Os critérios delineados nos PCNs (Ministério da Educação e Cultura, 2000a; Ministério da Educação e Cultura, 2000b) e nas suas orientações educacionais complementares (Ministério da Educação e Cultura, 2002) englobam aspectos relacionados a:

- a) Contextualização;
- b) Interdisciplinaridade;
- c) Discussão de conflitos sociais acerca do tema;
- d) Abordagem histórica;
- e) Clareza dos textos;
- f) Qualidade dos exercícios e

g) Indicação de outras fontes para expandir o conhecimento.

Os tópicos foram analisados em todas as obras. Além disso, as orientações educacionais complementares aos PCNEM (Ministério da Educação e Cultura, 2002), na unidade temática Energia Nuclear e Radioatividade, estabelecem objetivos a serem atingidos no âmbito da Física Nuclear. São eles:

- Entender os processos que dão origem à radioatividade para reconhecer sua presença na natureza e na tecnologia;
- Conhecer as interações que ocorrem no núcleo atômico e as dimensões das energias envolvidas para explicar suas aplicações e;
- Avaliar os efeitos biológicos e ambientais da radioatividade, identificando medidas de proteção (Ministério da Educação e Cultura, 2002, pp. 78).

<b>Título</b>	<b>Autor (es)</b>	<b>Editora</b>	<b>Edição/ Ano</b>	<b>Número de páginas por volume</b>
Compreendendo a Física	Alberto Gaspar	Ática	1º/2011	v. 1: 376p v. 2: 448p v. 3: 416p
Conexões com a Física	Blaidi Sant'Anna Glória Martini Hugo C. Reis Walter Spinelli	Moderna	1º/2010	v. 1: 472p v. 2: 448p v. 3: 416p
Curso de Física	Antônio Máximo R. da Luz Beatriz Alvarenga	Scipione	1º/2011	v. 1: 400p v. 2: 360p v. 3: 448p
Física	Gualter José Biscuola Ricardo Helou Doca Newton Vilas Bôas	Saraiva	1º/2010	v. 1: 448p v. 2: 448p v. 3: 368p
Física Aula por Aula	Benigno Barreto Filho Claudio Xavier da Silva	FTD	1º/2010	v. 1: 368p v. 2: 336p v. 3: 384p
Física - Ciência e Tecnologia	Carlos Magno A. Torres Nicolau Gilberto Ferraro Paulo A. de Toledo Soares	Moderna	2º/2010	v. 1: 320p v. 2: 264p v. 3: 360p
Física em Contextos - Pessoal, social, histórico	Alexander Pogibin Maurício Pietrocola Renata de Andrade Talita Raquel Romero	FTD	1º/2010	v. 1: 400p v. 2: 496p v. 3: 528p
Física para o Ensino Médio	Luiz Felipe Fuke Kazuhito Yamamoto	Saraiva	1º/2010	v. 1: 384p v. 2: 336p v. 3: 288p
Quanta Física	Carlos Aparecido Kantor Lílio A. Paoliello Junior Luis Carlos de Menezes Marcelo de C. Bonetti Osvaldo Canato Junior Viviane Moraes Alves	PD	1º/2010	v. 1: 264p v. 2: 232p v. 3: 240p

Tabela 1.- Dados editoriais das coleções de Física analisadas.

Para revelar se os objetivos propostos pelas orientações complementares aos PCNEM (Ministério da Educação e Cultura, 2002) poderiam ser atingidos, foram verificadas a presença e as características dos tópicos:

- a) Geração de energia;
- b) Poluição;
- c) Riscos à saúde;
- d) Reações nucleares;
- e) Reações estelares;
- f) Enriquecimento de urânio;
- g) Riscos de acidentes nucleares e
- h) Usos na indústria, medicina e demais aplicações.

Quando o tópico existia na coleção, a abordagem do livro era apontada como superficial (se havia apenas menção) ou satisfatória (se havia explicações). Considerou-se haver poucos exemplos de "Usos na indústria, medicina e demais aplicações" quando existia três ou menos na coleção inteira.

O conteúdo das obras foi ainda analisado quanto à correção. As falhas reconhecidas foram destacadas.

### **Resultados**

Os livros escolares brasileiros foram analisados cuidadosamente de acordo com os critérios estabelecidos na metodologia.

<b>Coleção</b>	<b>Contextualização</b>	<b>Interdisciplinaridade</b>	<b>Conflitos sociais</b>	<b>Abordagem histórica</b>	<b>Clareza textual</b>	<b>Indicação de fontes</b>
Compreendendo a Física	Sim	Não	Não	Sim	Sim	Sim
Conexões com a Física	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim
Curso de Física	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim
Física	Sim	Não	Não	Não	Sim	Sim
Física Aula por Aula	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Sim
Física - Ciência e Tecnologia	Sim	Sim	Sim	Não	Sim	Sim
Física em Contextos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Física para o Ensino Médio	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Quanta Física	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Tabela 2.- Presença ou não dos critérios investigados.

A tabela 2 mostra a ausência ou a presença nas obras de: contextualização, interdisciplinaridade, discussão de conflitos sociais acerca

da física nuclear, abordagem em história da ciência, clareza dos textos e sugestões de referências para pesquisa.

A tabela 3 menciona a quantidade de páginas e exercícios relativos ao tema. Em coleções sem um capítulo específico, as questões não foram avaliadas. Isso porque havia diversos exercícios sem qualquer divisão por tema e apenas ao final dos livros, o que dificultou a análise e a identificação dos conteúdos tratados em cada questão.

<b>Coleção</b>	<b>Quantidade de páginas</b>	<b>Quantidade de exercícios</b>	<b>Qualidade dos exercícios</b>
Compreendendo a Física	42 (volumes 1 e 3)	Não avaliado	Não avaliado
Conexões com a Física	15 (volumes 1 e 3)	Não avaliado	Não avaliado
Curso de Física	27 (volumes 1 e 3)	Não avaliado	Não avaliado
Física	20 (volumes 1, 2 e 3)	Não avaliado	Não avaliado
Física Aula por Aula	22 (volumes 1, 2 e 3)	26	Exigiam raciocínio e conhecimentos prévios
Física - Ciência e Tecnologia	41 (volumes 1 e 3)	21	Exigiam o raciocínio
Física em Contextos	90 (volumes 1, 2 e 3)	35	Exigiam raciocínio e conhecimentos prévios
Física para o Ensino Médio	39 (volumes 1 e 3)	12	Exigiam o raciocínio
Quanta Física	53 (volumes 1, 2 e 3)	28	Exigiam raciocínio e conhecimentos prévios

Tabela 3.- Número de páginas e exercícios.

#### *Coleção Compreendendo a Física*

Os livros da coleção *Compreendendo a Física* não possuíam um capítulo específico sobre os conteúdos investigados (Tabela 4) e tópicos importantes (e.g. enriquecimento do urânio) não foram contemplados.

<b>Volume</b>	<b>Conteúdos de energia nuclear e radioatividade</b>
Primeiro	Breve discussão sobre a geração de energia por fontes nucleares e exemplos para contextualização
Segundo	Não encontrados
Terceiro	Alguns tópicos nos capítulos "As origens da física quântica" e a "Nova Física"

Tabela 4.- Distribuição dos conteúdos na coleção "Compreendendo a Física".

A interdisciplinaridade e os conflitos sociais sobre o emprego da energia nuclear e da radioatividade não foram abordados. Ao final de cada volume havia sugestões de referências (artigos de revistas científicas) divididas por grupos de capítulos.

Dois textos no primeiro volume contextualizaram os conteúdos. Um trouxe exemplos de uso da física na ciência e no cotidiano. Outro, "Do ciclotron ao LHC", explicou resumidamente os princípios de funcionamento do ciclotron e do *Large Hadron Colliders* (LHC).

As obras apresentaram os conteúdos com uma boa abordagem histórica. Por exemplo, o contexto da descoberta da radioatividade foi detalhadamente discutido. Menções à vida e à obra de Wilhelm Röntgen, Antonie Henri Becquerel, Pierre Curie, Marie Curie, Ernest Rutherford, Niels Bohr, César Lattes e Enrico Fermi foram feitas.

Os exercícios não foram avaliados (Tabela 3), pois ao final de cada volume havia um apêndice de questões do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), mas sem separação por tema.

#### *Coleção Conexões com a Física*

A coleção Conexões com a Física foi pouco profunda no estudo de energia nuclear e de radioatividade (Tabela 5). O terceiro volume apresentou mais informações e focou-se nas partículas subatômicas e interações nucleares.

<b>Volume</b>	<b>Conteúdos de energia nuclear e radioatividade</b>
Primeiro	Dois textos
Segundo	Não encontrados
Terceiro	Algumas informações no capítulo "Desafios da física no século XXI"

Tabela 5.- Distribuição dos conteúdos na coleção "Conexões com a Física".

A interdisciplinaridade não foi contemplada, tampouco os dilemas sociais acerca da energia nuclear e da radioatividade. Textos de história da ciência eram escassos, e a descoberta da radioatividade não foi aludida.

As fontes de pesquisa foram expostas ao fim de cada unidade. Havia diversas sugestões com resumos do que seria encontrado em cada indicação. Ao final de cada volume foram sugeridas visitas a centros de ciência e museus pelo Brasil.

Dois textos contextualizaram o conteúdo. Um deles comparou os aceleradores de partículas lineares e circulares.

#### *Coleção Curso de Física*

Os livros escolares da coleção Curso de Física não dedicaram um capítulo à energia nuclear ou à radioatividade. Textos relativos ao tema serviam apenas para complementar o aprendizado de outros conteúdos (Tabela 6).

<b>Volume</b>	<b>Conteúdos de energia nuclear e radioatividade</b>
Primeiro	Poucos textos
Segundo	Não encontrados
Terceiro	Poucos textos

Tabela 6.- Distribuição dos conteúdos na coleção "Curso de Física".

A coleção não buscou trabalhar a interdisciplinaridade ou a história da ciência para tais conteúdos. Ao longo dos capítulos, entretanto, exibiu resumos da biografia de alguns cientistas.

O primeiro volume mostrou a contextualização em dois momentos. Um discursou sobre a produção de energias nuclear e hidrelétrica no mundo. Outro abordou a fissão e fusão nucleares ao mencionar as bombas atômicas



lançadas sobre Hiroshima e Nagasaki e o temor da bomba de hidrogênio durante a guerra fria.

No terceiro volume, a discussão de tipos de baterias, pilhas nucleares e aceleradores de partículas contextualizaram o tema.

Uma abordagem clara e consciente dos conflitos sociais que permeiam o emprego da energia nuclear foi feita. Na coleção foi destacada a relação entre produção de energia elétrica e de armas nucleares no Oriente Médio, e a comparação entre poluição nuclear e poluição ambiental pelos gases de efeito estufa.

As fontes de pesquisa foram indicadas ao longo dos capítulos com um breve resumo. Ao final dos volumes havia sugestões de livros e sítios da internet para aprofundar o conhecimento, mas sem divisão por capítulos, o que dificultaria o estudo do aluno por conta própria.

#### *Coleção Física*

A obra discutiu os conteúdos de física nuclear e radioatividade nos três volumes. A interdisciplinaridade, a abordagem histórica da ciência e os dilemas sociais não foram contemplados.

A contextualização pôde ser observada em dois momentos. No texto "Energia nuclear: a energia do futuro?" do segundo volume citou-se usinas termonucleares em funcionamento em trinta países e a construção de mais três, em Cuba, Irã e Romênia. Os Estados Unidos da América (EUA) seria o país de maior produção com 109 usinas, seguido da França, com 56, e do Japão, com 51. Em novembro de 2011, de acordo com o Panorama da Energia Nuclear no Mundo (Eletronuclear, 2011), o Irã possuía uma usina em operação, a Romênia, duas em operação e mais duas em construção, e Cuba ainda não teria a pretensão de construir uma. O mesmo documento revelou a existência de 104 usinas nos EUA, 58 na França e 50 no Japão. Tais dados contrapõem-se aos apresentados nos livros de 2010 e revelaram necessidade de adequação.

Em "Aceleradores de partículas" no terceiro volume, a construção do LHC e seu custo foram relatados.

Ao fim dos volumes, sem divisão por capítulo, tinha sugestões de livros, vídeos e sítios da internet com alusão ao que seria encontrado na fonte.

#### *Coleção Física Aula por Aula*

A coleção "Física aula por aula" mostrava o tema ao longo dos três volumes, em especial no capítulo "Física nuclear" do terceiro.

Não se buscou uma discussão interdisciplinar ou da história da ciência. No segundo volume existia, entretanto, um resumo sobre a vida de cientistas como César Lattes e Gleb Wataghin.

Os autores contextualizaram a física nuclear e a radioatividade em diversas oportunidades. O primeiro volume destacou os riscos do uso da energia nuclear e a desativação de reatores pela Alemanha e Itália. O terceiro discutiu o Plano Decenal de Expansão de Energia Elétrica 2006-2015 no Brasil, que previa a construção de três usinas hidrelétricas e uma nuclear. A coleção era de 2010, quando as obras na terceira usina brasileira estavam paradas, no entanto, atualmente, quatro mil operários

trabalham no projeto de construção e a previsão de sua conclusão é para o final de 2015 (Eletronuclear, 2012a).

Os dilemas sociais foram citados em textos ao longo da coleção, o que demonstrou interesse em expor uma perspectiva atual e contextualizada. Foram relatados riscos e benefícios da energia nuclear com menção aos acidentes na usina de Chernobyl e ao armazenamento indevido do lixo nuclear em Goiânia.

Indicações de livros, revistas ou sítios da internet existiam ao fim de cada volume. Todavia não estavam divididas por capítulos, nem havia sinopses.

Os vinte e seis exercícios do capítulo "Física nuclear" foram investigados (Tabela 3). Havia dezoito de múltipla escolha, seis discursivos e dois de verdadeiro ou falso. Quinze eram oriundos de exames vestibulares e seis do ENEM. Grande parte das questões tinha uma qualidade satisfatória e exigiam raciocínio e conhecimentos prévios. Alguns problemas buscavam complementar e avaliar os conhecimentos conceituais sobre o tema. Ao menos quatro buscavam estimular o pensamento crítico.

#### *Coleção Física - Ciência e Tecnologia*

Os textos da coleção eram claros e estabeleciam as noções básicas de energia nuclear e radioatividade no terceiro volume (Tabela 7).

<b>Volume</b>	<b>Conteúdos de energia nuclear e radioatividade</b>
Primeiro	Exemplo de contextualização
Segundo	Não encontrados
Terceiro	Capítulo específico intitulado "Física nuclear"

Tabela 7.- Distribuição dos conteúdos na coleção "Física - Ciência e Tecnologia".

Os livros da coleção buscaram contextualizar o tema. O texto "Começa a grande corrida da Física", único de física nuclear do primeiro volume, abordou, resumidamente, o funcionamento básico e algumas características do LHC. O terceiro volume aludiu um estudo de 2008 sobre o consumo energético mundial e pesquisas na área de energia por fusão termonuclear.

Existiam duas propostas interdisciplinares de atividade em grupo. Uma visou conectar a física e a história ao solicitar que os alunos buscassem em livros ou na internet a carta de Einstein ao presidente Roosevelt na qual era descrito o perigo do uso bélico. Outra conectou a física e a biologia ao instar o educando a pesquisar vantagens e desvantagens do emprego da energia nuclear como fonte alternativa de energia, suas aplicações na medicina e seus perigos ao ambiente.

A história da ciência não foi debatida, mas alguns comentários da descoberta da radioatividade e de elementos radioativos foram feitos. Os dilemas sociais acerca do uso da energia nuclear e da radioatividade também não foram abordados, havia apenas menção aos questionamentos do físico brasileiro José Goldemberg. Um questionava se um governo poderia instalar reatores sem alertar a população sobre seus perigos, nem consultá-la sobre a decisão. Outro se valeria à pena correr os riscos de um acidente como o de Chernobyl.

Ao fim dos capítulos existia a bibliografia sugerida, livros, sítios da internet, simulações ou vídeos, com uma sinopse para cada referência.

Havia vinte e um exercícios ao longo do capítulo "Física nuclear" (Tabela 3), seis retirados de exames vestibulares. Dezesesseis eram discursivos, quatro de múltipla escolha e um de verdadeiro ou falso. A maioria complementava e avaliava conhecimentos conceituais. Em geral, eles tinham baixo nível de dificuldade, mas exigiam raciocínio.

#### *Coleção Física em Contextos*

Nesta coleção, o tema permeou os três volumes. A maior parte estava no terceiro, nos capítulos "Estrutura da matéria" e "Partículas elementares". De modo geral, os textos eram claros e conseguiam prover ao estudante os principais conceitos relacionados ao núcleo atômico e à energia nuclear.

Os livros buscaram contextualizar o assunto. No segundo volume, as diversas fontes de geração de energia no Brasil foram destacadas. Entretanto, havia uma falha no texto "Fontes para a produção de energia". A oferta interna de energia foi citada como 251,526 milhões de toneladas de petróleo, mas uma tabela na página seguinte se referiu ao valor como  $2,5 \times 10^{20}$ , o que representa um equívoco na ordem de grandeza.

O terceiro volume discutiu o funcionamento de aceleradores de partículas, com citação aos existentes no Brasil.

A interdisciplinaridade foi observada no terceiro volume ao relacionar a física à história. Destacou-se a datação de gravuras de paleoíndios em pedras no Parque Nacional da Serra da Capivara (Piauí), mais importante patrimônio pré-histórico brasileiro. Atividades em grupo buscaram estimular os estudantes a pesquisarem em sítios da internet e livros de história, geografia, biologia, física e química diversos assuntos como o contexto do lançamento das bombas atômicas, alguns acidentes nucleares e aplicações da energia nuclear na agricultura, na medicina e na exploração de petróleo.

A abordagem histórica permitiu o entendimento das principais noções a respeito do tema. Os trabalhos de Wilhelm Röntgen, Henri Becquerel e Pierre e Marie Curie foram aludidos.

Os dilemas sociais do uso da energia nuclear e da radioatividade também foram discutidos satisfatoriamente. O segundo volume propôs uma atividade para debater a produção de energia nuclear no Brasil. O terceiro volume citou a polêmica no entre guerras do século XX a respeito do desenvolvimento de pesquisas na área nuclear, onde o baixo custo e a crescente demanda eram alguns pontos favoráveis e o risco de vazamento e contaminação, o problema do lixo nuclear e a possibilidade do uso para fins bélicos, aspectos negativos.

Ao fim de cada unidade havia indicações de livros ou filmes, com sinopse.

As questões do capítulo "Estrutura da matéria" não foram analisadas, pois outros conteúdos, além da física nuclear, foram discutidos. O capítulo "Partículas elementares" tinha trinta e cinco exercícios (Tabela 3). Catorze retirados de exames vestibulares. Nove de múltipla escolha, vinte e quatro discursivos e dois de verdadeiro ou falso. Esses abordavam adequadamente a parte conceitual e equacional dos conteúdos com nível de dificuldade razoável, ao exigir raciocínio e conhecimentos prévios.

### *Coleção Física para o Ensino Médio*

O terceiro volume trazia um capítulo específico acerca da física nuclear, mas outras informações existiam ao longo do primeiro e terceiro volumes. No segundo, nada foi observado. De maneira geral, os textos eram claros, apesar de superficiais.

Ao longo dos capítulos visou-se a contextualização. Citou-se formas de obtenção de energia, a datação por isótopos para identificação da idade de fósseis e a irradiação nos alimentos.

A interdisciplinaridade foi observada em um trecho do primeiro volume ao conectar a ciência à música por meio de uma letra de um rap escrito por uma jornalista científica, com o objetivo de ensinar o funcionamento e os objetivos do LHC de forma lúdica.

Havia comentários das principais descobertas sobre o modelo atômico e a radioatividade, mas sem possibilitar ao aluno entender o contexto da época. Os conflitos sociais não foram mencionados.

Ao longo dos capítulos foram indicados livros, revistas, sítios da internet, filmes ou aplicativos computacionais com um resumo de cada fonte.

No final do capítulo "Física nuclear" do terceiro volume havia doze questões discursivas ou múltipla escolha (Tabela 3), das quais 25% foram retiradas de exames vestibulares. Elas avaliaram, especialmente, o conhecimento conceitual. Somente uma exigia conhecimentos prévios.

### *Coleção Quanta Física*

A tabela 8 mostra a distribuição do conteúdo por volume. O terceiro foi o foco das investigações por apresentar um capítulo específico sobre o tema.

<b>Volume</b>	<b>Conteúdos de energia nuclear e radioatividade</b>
Primeiro	Pequeno trecho no capítulo "Recursos energéticos naturais"
Segundo	Um pouco sobre reações estelares
Terceiro	Capítulo intitulado "As radiações, o núcleo atômico e suas partículas"

Tabela 8.- Distribuição dos conteúdos na coleção "Quanta física".

Alguns textos da coleção buscaram contextualizar a física nuclear. Por exemplo, ao discutir os aceleradores de partículas, o funcionamento de bombas atômicas e o uso de armas nucleares na segunda guerra mundial.

Apenas um texto mostrou uma abordagem interdisciplinar ao trazer a ciência e tecnologia a serviço da guerra e expor o contexto histórico da produção de armas atômicas.

A importância da radioatividade para a descoberta do núcleo atômico foi descrita, mas a discussão não permitiria ao aluno compreender os fatos históricos que possibilitaram a descoberta da radioatividade.

Os conflitos sociais a respeito do uso da energia nuclear foram citados e recomendados como pesquisa. Comentou-se a relação entre geração de energia elétrica nuclear e indústria bélica, e o temor mundial do emprego de armas nucleares no Oriente Médio.

Sugestões bibliográficas, em especial livros e sítios da internet, foram citadas ao longo dos capítulos acompanhadas por um resumo.

Os exercícios da coleção eram satisfatórios e exigiam, mormente, conhecimentos prévios. O capítulo "As radiações, o núcleo atômico e suas partículas" continha vinte e oito questões, quinze discursivas e treze de múltipla escolha (Tabela 3). Dezoito de exames vestibulares, uma do ENEM e nove elaboradas pelos autores. Dois problemas demandavam a simples memorização. Os demais envolviam a interpretação de conceitos e ou problemas numéricos que exploravam o desenvolvimento do raciocínio e empregavam conhecimentos adquiridos em capítulos anteriores de modo a evitar a fragmentação do conhecimento.

Além dos aspectos já analisados, a presença dos tópicos geração de energia, poluição nuclear, riscos à saúde, reações nucleares, reações estelares, enriquecimento (enriq.) de urânio, riscos de acidentes nucleares e usos na indústria, medicina e demais aplicações também foram investigados. A tabela 9 indica a menção ou não aos tópicos.

<b>Coleção</b>	<b>Gera- ção de ener- gia</b>	<b>Polu- ição</b>	<b>Ris- cos à saú- de</b>	<b>Rea- ções nucle- ares</b>	<b>Rea- ções este- lares</b>	<b>Enriq. de urâ- nio</b>	<b>Riscos de aci- dentes</b>	<b>Apli- ca- ções</b>
Compreen- do a Física	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não	Sim
Conexões com a Física	Sim	Não	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Curso de Física	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim
Física	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Sim	Não	Sim
Física Aula por Aula	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Física - Ciência e Tecnologia	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Física em Contextos	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Física para o Ensino Médio	Sim	Não	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Quanta Física	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim

Tabela 9.- Presença ou não dos tópicos analisados.

#### *Coleção Compreendendo a Física*

Os livros não mencionaram o enriquecimento do urânio, os riscos à saúde e de acidentes nucleares. A poluição radioativa foi parcamente apresentada. Em toda a coleção encontrou-se apenas um parágrafo sobre a dificuldade de armazenar elementos provenientes das reações de fissão e sua nocividade ao ser humano e ao meio ambiente.

A possibilidade da rotação de turbinas que originam a energia elétrica ser proveniente da energia nuclear foi citada.

O conteúdo de reações estelares foi discutido satisfatoriamente. Havia explicações da origem da energia solar e da interação da radiação com a atmosfera terrestre. As reações nucleares foram debatidas com exemplos e explicações sobre as origens das reações de fissão e fusão bem como de seus saldos energéticos.

Havia menos de três exemplos de aplicações da radioatividade. Citou-se o emprego na medicina da ressonância magnética nuclear e da tomografia por emissão de pósitrons (PET).

#### *Coleção Conexões com a Física*

A obra fez referência apenas à geração de energia elétrica. No primeiro volume, os autores questionaram o conhecimento dos estudantes sobre as usinas nucleares brasileiras e propuseram como atividade pesquisar apostilas educativas no sítio da eletronuclear. O terceiro volume trouxe o princípio de funcionamento dos geradores elétricos e os tipos de usinas geradoras de energia elétrica com destaque às term nucleares.

#### *Coleção Curso de Física*

Os riscos de acidentes nucleares, o enriquecimento de urânio e a poluição nuclear não foram comentados.

As produções mundiais de energia hidrelétrica e nuclear foram comparadas. O funcionamento de usinas nucleares e termoelétricas foi apenas mencionado.

As reações estelares foram tratadas com destaque no primeiro volume. A dependência entre o tamanho estelar e a força gravitacional foi explicada e as reações de fusão no Sol, ressaltadas. As reações nucleares serviram de exemplo de conservação de energia nos sistemas.

Os riscos à saúde como efeitos dos tipos de radiação foram citados. O ultravioleta, os raios x e os raios gama foram relacionados ao câncer.

Havia na coleção dois exemplos de aplicações da radioatividade, o uso de pilhas nucleares e as bombas atômicas.

#### *Coleção Física*

Os riscos de acidentes e as reações estelares e nucleares não foram discutidos. As reações de fissão e fusão foram uma sugestão de pesquisa.

A geração de energia elétrica, a história da energia nuclear e o enriquecimento de urânio no Brasil foram abordados, sem menção às porcentagens de enriquecimento para produzir energia nuclear e materiais bélicos. A superficialidade foi percebida no tópico poluição nuclear, citado em um parágrafo do segundo volume. Esse levantou os problemas de vazamentos radioativos e do armazenamento de resíduos da fissão nuclear.

O primeiro volume destacou os riscos à saúde em um parágrafo, ao citar raios gama, provenientes da explosão de uma bomba atômica, como promotores de degeneração. As interações moleculares promotoras de danos celulares não foram explicadas.

Havia dois exemplos de aplicações no primeiro volume. Um mencionou a PET e outro, a datação de compostos orgânicos. A datação pelo método do carbono-14 foi discutida satisfatoriamente.

#### *Coleção Física Aula por Aula*

Todos os tópicos constavam na coleção. Contudo, muitos foram abordados superficialmente.

Os autores comentaram a explosão do reator nuclear de Chernobyl na Ucrânia (1986) e a violação da cápsula de césio-137 em Goiânia no Brasil (1987). Havia apenas duas propostas de pesquisas discentes relacionadas aos riscos de acidentes nucleares, acerca das condições de segurança das usinas termonucleares e do armazenamento de rejeitos radioativos.

A geração de energia elétrica foi abordada satisfatoriamente. A oferta mundial de energia elétrica produzida a partir da nuclear, o funcionamento de uma usina e o panorama da energia nuclear no Brasil foram aludidos, mas algumas falhas foram percebidas. Uma referente ao incremento da produção de energia elétrica a partir da nuclear, pois, segundo o balanço energético nacional (Empresa de Pesquisa Energética, 2011), a mesma aumentou 10% em 35 anos (1973-2008), não 16% em 30 anos. Outra foi o ano de início de operação de Angra II ser 2001, não 2000. Além disso, as potências de operação de Angra I e II não estavam atualizadas, pois já foram como cita o livro de 657 MW e 1300 MW, mas em 2012 eram 640 MW e 1350 MW. O suprimento de energia nuclear das usinas Angra I e II ao estado do Rio de Janeiro (Brasil) não correspondia a 45% da demanda como afirmou o livro escolar, mas a 30% (Eletronuclear, 2012b).

As reações estelares e nucleares, a poluição nuclear e os riscos à saúde foram citados de forma deficiente. As reações nucleares de fissão foram explicadas satisfatoriamente ao contrário do observado para as de fusão. Houve apenas referência à fusão nuclear no interior das estrelas, à poluição térmica e ao lixo atômico. A abordagem dos riscos à saúde não permitiria o entendimento dos efeitos da radiação nuclear no organismo.

Em contrapartida, o enriquecimento de urânio recebeu mais atenção. Abordou-se o ciclo do combustível nuclear e suas etapas do processo de obtenção, as diferenças de enriquecimento e o contexto brasileiro.

Em toda coleção havia três exemplos de aplicações: a técnica de mapeamento por radioisótopos, o uso de radiofármacos para o tratamento do câncer e os processos de análise não destrutiva na indústria.

#### *Coleção Física - Ciência e Tecnologia*

Todos os tópicos foram mencionados. O contexto, as causas e as principais consequências dos acidentes nucleares ocorridos em Three Mile Island (1979), Chernobyl (1986) e Goiânia (1987) foram discutidos. O uso da energia nuclear no mundo e o funcionamento de uma usina foram citados. As noções básicas acerca da poluição radioativa foram estabelecidas. Explicaram-se formas de gerar rejeito radioativo e métodos de armazená-lo. As reações nucleares foram debatidas inclusive por figuras ilustrativas. As reações estelares também foram bem explicadas e apresentaram os processos de fusão nuclear no interior das estrelas e as noções básicas de evolução estelar.

Os conhecimentos fundamentais sobre o enriquecimento de urânio foram transmitidos. Entretanto, segundo o livro, apenas os EUA, a Rússia e o Brasil teriam a tecnologia necessária ao enriquecimento, mas outros países como Alemanha, Holanda, França e Reino Unido também a detém.

A abordagem dos riscos à saúde, provavelmente, não permitiria ao educando reconhecê-los. Houve duas menções na coleção. A possibilidade de a radiação ionizante provocar câncer e a necessidade de profissionais que trabalham com materiais radioativos realizarem exames periódicos.

Os exemplos de aplicações eram suficientes. Citou-se a técnica de mapeamento por radioisótopos, a PET, a braquiterapia e a datação de amostras orgânicas por carbono-14.

#### *Coleção Física em Contextos*

A coleção mostrou um extenso conteúdo de física nuclear e todos os tópicos foram mencionados, mas com algumas falhas, principalmente, nos parâmetros de massa da evolução estelar. No texto havia frases sem sentido por ausência de algum termo ou troca de palavras (por exemplo, enfraquecimento de urânio no lugar de enriquecimento).

Algumas controvérsias referentes à oferta de energia elétrica para o estado do Rio de Janeiro após a construção de Angra III existem na literatura. Segundo Mendonça (2011), o complexo nuclear de Angra fornecerá 58% da energia consumida no Rio de Janeiro, o que corrobora os dados da coleção "Física em contextos". Todavia a Eletronuclear (2012a) informou que seria 50%.

Comentou-se brevemente a possibilidade de geração de energia elétrica a partir da nuclear e o funcionamento de uma usina. Os riscos de acidentes nucleares foram apenas exemplificados com o de Chernobyl e de Goiânia.

As reações estelares foram discutidas ao longo da coleção. Abordaram-se os processos de fusão termonuclear no interior do Sol, o ciclo de vida estelar e a formação de estrelas a partir de nuvens moleculares de hidrogênio. Entretanto, outros gases leves poderiam constituir as nuvens, não apenas o hidrogênio como citado. Os parâmetros de massa utilizados na explicação sobre a evolução das estrelas foram distintos dos constantes na literatura (Bowers e Deeming, 1984; Chaisson e McMillan, 1999).

Estrelas com massas inferiores a 4 vezes a massa solar, após o ciclo de prótons, se transformariam em gigantes vermelhas (Bowers e Deeming, 1984), não massas estelares entre 0,8 e 10 vezes a massa solar.

Estrelas com massas inferiores a 0,1 da massa solar são denominadas anãs marrons, com período de vida curto, pois não conseguem sustentar seu ciclo de prótons e morrem como objetos parecidos com superplanetas (Chaisson e McMillan, 1999).

Já estrelas com massas superiores a 4 vezes a massa solar se transformariam em supergigantes vermelhas e poderiam dar origem a uma estrela de nêutrons ou a um buraco negro (Bowers e Deeming, 1984), não estrelas com massas muito superiores a 10 vezes a massa solar como afirma o livro.



Os perigos de contaminação por materiais radioativos e a inexistência de uma tecnologia de tratamento do lixo nuclear foram ressaltados. Os métodos empregados para armazenar o lixo radioativo, conhecimento indispensável para os alunos entenderem o destino dos rejeitos nucleares, não foram mencionados. A poluição térmica foi citada como um problema causado pelo uso comercial da energia nuclear, mas uma tabela a colocou como vantagem das fontes nucleares, o que poderia gerar confusão e até mesmo um aprendizado errôneo. Houve uma discussão superficial dos riscos à saúde que aludiu à possibilidade de dano celular por radiação e da morte de órgãos.

Alguns dados sobre o enriquecimento de urânio foram omitidos: as diferentes porcentagens de enriquecimento para fins pacíficos ou bélicos e o Brasil ser um dos países detentores da tecnologia de enriquecimento. Em contrapartida, as reações nucleares foram debatidas satisfatoriamente com textos e figuras sobre a fissão e a fusão nucleares.

Os exemplos de aplicação da radioatividade foram o diagnóstico de tumores a partir da cintilografia, as primeiras cirurgias cerebrais feitas com radiação gama e a datação por carbono-14.

#### *Coleção Física para o Ensino Médio*

Todos os tópicos constavam na coleção. O processo de geração de energia foi contemplado. Os vários sistemas de segurança para prevenir acidentes em Angra I e II foram descritos e a possibilidade de acidentes ao construir uma usina mencionada. Comparou-se a usina nuclear e a bomba atômica. Entretanto, não foram citados os principais acidentes nucleares ocorridos no mundo. A discussão das reações nucleares de fissão e fusão possibilitaria o entendimento básico dos princípios reacionais. As reações de fusão no interior do Sol e sua importância para a vida foram mencionadas, mas a fusão de núcleos diferentes do hidrogênio não foi citada.

No que tange ao enriquecimento do urânio, falou-se apenas das diferenças entre o enriquecimento para a fabricação de bombas e a produção de energia elétrica. Apenas uma figura ilustrou a poluição. Em sua legenda, o uso do símbolo para representar materiais radioativos e a relevância de armazenar o lixo nuclear adequadamente foram aludidos.

Os riscos à saúde foram resumidos em uma tabela de efeitos da irradiação aguda em adultos de acordo com a forma e a dose absorvida. Foram citados dois exemplos de aplicação da radioatividade: a datação por isótopos e a irradiação de alimentos.

#### *Coleção Quanta Física*

A coleção mencionou todos os tópicos. O debate sobre geração de energia elétrica, enriquecimento de urânio e poluição nuclear foi superficial. Contudo, discutiram-se os riscos à saúde, as reações nucleares e as aplicações da radioatividade de maneira concisa, mas satisfatória.

Os riscos de acidentes nucleares foram explorados ao debater o perigo de grandes vazamentos de radiação. Recomendou-se a pesquisa dos maiores acidentes conhecidos, o de Three Mile Island e o de Chernobyl.

Na parte de geração de energia elétrica os processos de transformação energética em uma usina termonuclear foram citados, mas o contexto

brasileiro, não. O enriquecimento de urânio foi mencionado sem a conjuntura do Brasil. Citou-se a importância do processo para o combustível nuclear e a diferenciação entre as porcentagens de enriquecimento.

Os textos de reações estelares possuíam boa sequência e entendimento. A vida estelar e os elementos envolvidos nas reações de fusão no interior das estrelas foram destacados. As reações nucleares foram bem descritas, o assunto foi contextualizado ao abordar bombas de fissão e fusão.

O lixo nuclear e seus métodos de armazenamento não foram ressaltados. A obra somente destacou o fato de isótopos radiativos levarem milhares de anos até se transformarem em isótopos mais estáveis. As malformações celulares ocasionadas por radiações e malefícios como o câncer foram lembrados.

Havia um bom número de exemplos de aplicações da radioatividade ao longo do terceiro volume, como a datação por decaimento radioativo, a radiação gama na gamagrafia, as radiografias de peças metálicas em processos produtivos, o uso terapêutico das radiações gama e beta para o tratamento do câncer e as técnicas de cintilografia e ressonância magnética nuclear por imagem para o diagnóstico clínico.

### **Discussão**

Ostermann e Ricci (2004), Valente *et al.* (2008), Mendes, Cruz e Angotti (2009) e Silva e Pereira (2011) constataram a superficialidade de conteúdos de física moderna e contemporânea em livros escolares brasileiros. Esta pesquisa também observou superficialidade na apresentação dos conteúdos de física nuclear, apesar das obras buscarem contextualizar a energia nuclear e a radioatividade com textos de fácil entendimento, a maioria não trouxe a interdisciplinaridade (55%), a discussão de conflitos sociais (55%) e a abordagem histórica (55%).

Quanto às questões de física nuclear analisadas em cinco coleções, a maioria exigia raciocínio e conhecimentos prévios, com o intuito de matematizar e reforçar conceitos.

A figura 1 resume a descrição dos tópicos investigados nas coleções. Todas as obras mencionaram a possibilidade de gerar energia elétrica a partir da nuclear, mas grande parte (44%) não discutiu o assunto. Das demais, duas coleções (22%) debateram o uso da energia nuclear juntamente com o risco ou a prevenção de acidentes, o que deu a ideia de usinas term nucleares serem inseguras. Outras duas (22%), ao tratar da geração de energia, relacionaram usinas e armas nucleares, o que poderia induzir o educando a pensar que o uso de energia nuclear por um país levaria consequentemente ao desenvolvimento de armas nucleares. Apesar de o mundo debater a questão da crise energética e climática iminente, a energia nuclear não foi inserida nesse contexto. Muitas coleções também não destacaram seu uso no Brasil. A "Física aula por aula" se sobressaiu.

A maioria das coleções (56%) citou brevemente a poluição radioativa e muitas nem a mencionaram (33%) (Figura 1.a). De modo geral, elas não aludiram à existência do lixo radioativo, nem às técnicas utilizadas para armazenar os rejeitos. Não obstante, a coleção "Física - ciência e tecnologia" expôs dois métodos para armazenar o lixo nuclear, o

sepultamento em *bunkers* de concreto e o confinamento em depósitos geológicos profundos.

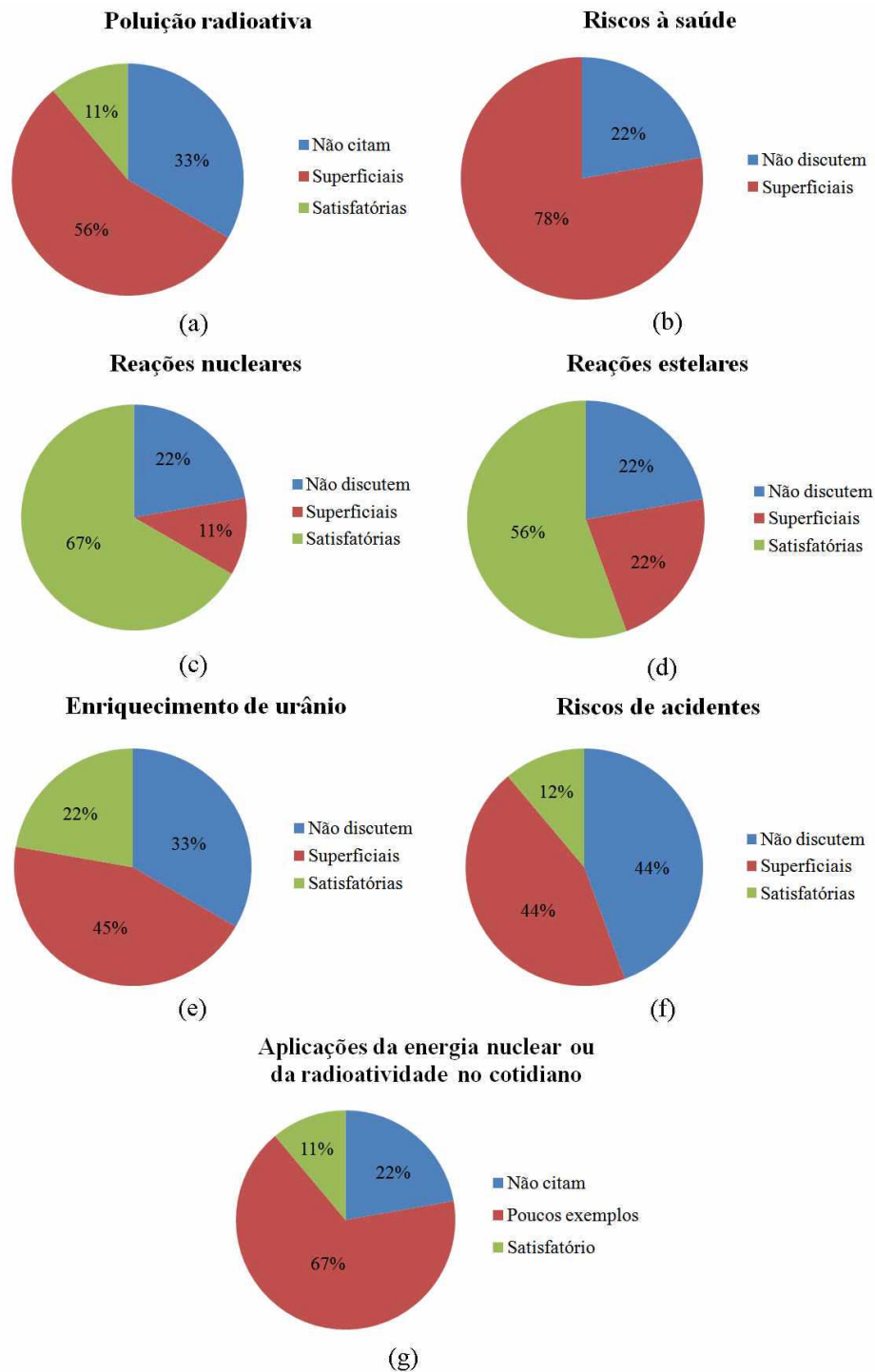


Figura 1.- Tratamento dos tópicos investigados: poluição radioativa (a), riscos à saúde (b), reações nucleares (c), reações estelares (d), enriquecimento de urânio (e), riscos de acidentes (f) e usos na indústria, medicina e demais aplicações (g).

Os riscos à saúde foram apenas citados (78%), em especial, o câncer. Nenhuma coleção procurou explicar os prejuízos das radiações nucleares para os organismos vivos (Figura 1.b).

Por outro lado, muitas coleções debateram satisfatoriamente as reações nucleares (67%) e as estelares (56%) (Figuras 1.c e 1.d). No que concerne às reações nucleares, a coleção "Física em contextos" fez uma discussão clara e bem elaborada dos conteúdos. Já a "Física aula por aula" comentou parcamente as reações de fusão. A maioria das obras apresentou os conhecimentos fundamentais a respeito das reações nucleares de fusão ocorridas no interior das estrelas. Algumas, como a "Quanta física" e a "Física em contextos" debateu um pouco da evolução estelar. O conteúdo foi pouco profundo na "Física para o ensino médio" e "Física aula por aula". As coleções "Física" e "Conexões com a Física" não citaram as reações nucleares, nem as estelares.

As abordagens de grande parte dos livros (45%) a respeito do enriquecimento de urânio (Figura 1.e) desprezaram a diferenciação entre as porcentagens para fins bélicos e pacíficos, além do Brasil ser um dos poucos países detentores dessa tecnologia. Os livros não citarem as diferentes porcentagens de enriquecimento sugere ao aluno que o urânio empregado em usinas poderia ser usado sem dificuldades em armas nucleares, o que poderia causar um temor inconsciente a respeito do emprego da energia nuclear. A "Física Aula por Aula" e "Física - Ciência e Tecnologia" mostraram uma abordagem satisfatória.

As coleções deram pouca importância aos grandes acidentes nucleares ocorridos ao longo da história (Figura 1.f). Ressalva à coleção "Física - ciência e tecnologia" que discutiu as causas e principais consequências dos acidentes de Three Mile Island em 1979, de Chernobyl em 1986, e de Goiânia em 1987. Os riscos de acidentes foi o tópico menos abordado pelas obras (44%). Havia poucos exemplos de uso na indústria, medicina e demais aplicações (67%) (Figura 1.g). Em geral, foram apresentados, em média, três. A coleção "Quanta física", todavia, mostrou seis.

A ciência não é descontextualizada e socialmente imparcial (Toulmin, 1972; Massoni e Moreira, 2010), por isso, os livros escolares deveriam ser capazes de propiciar ao estudante uma postura crítica frente a temas importantes. Entretanto, as abordagens dos livros não permitiriam aos alunos entenderem os aspectos tecnológicos, políticos, econômicos e sociais da ciência nuclear, nem desenvolverem as competências previstas nos PCNEM (Ministério da Educação e Cultura, 2000b; Ministério da Educação e Cultura, 2002), pois os benefícios e riscos da energia nuclear e das radiações, as consequências de acidentes, os procedimentos atenuadores de impactos ambientais e a participação de cientistas na produção de bombas atômicas foram pouco discutidos nas obras. Assim, as discussões resumidas omitiram questões relevantes para uma visão geral e crítica do educando. Inclusive, o contexto brasileiro, por vezes, foi posto de lado.

A maioria dos livros ignorou também discussões sobre os fins bélicos da física nuclear. As armas nucleares só foram citadas por quatro das coleções (Curso de Física, Física Aula por Aula, Quanta Física e Física em Contextos). O terror ocasionado na época da guerra fria devido à possibilidade do uso de armas nucleares foi mencionado apenas na coleção Curso de Física. Os grandes acidentes nucleares foram igualmente pouco citados.

Os efeitos positivos e negativos da energia nuclear também foram parcamente discutidos. A possibilidade de empregá-la como uma alternativa

aos combustíveis fósseis foi citada apenas pela Física - Ciência e Tecnologia. Assim, a crise energética e climática mundial pareceu ser posta de lado.

Além disso, apenas dois livros (das coleções Física - Ciência e Tecnologia e Compreendendo a Física) mencionaram o Tokamak, aparato tecnológico necessário para alcançar a fusão controlada. Entretanto, nenhum aludiu à fusão controlada em si. Os livros não propuseram uma abordagem de pesquisas de geração de energia por fusão termonuclear, portanto, eles não trataram da questão da crise energética imponente, nem dos esforços de diversos países para encontrar uma solução.

O Tokamak é a base da tecnologia de grandes projetos de colaboração internacional como o *International Thermonuclear Experimental Reactor* (ITER) e o futuro *Demonstration Power Plant* (DEMO) que buscam dominar a fusão nuclear controlada autossustentável. Entretanto, nem o ITER, nem o DEMO foram destacados pelos livros.

Nesse contexto, os livros não pareceram ser capazes de munir os alunos com os conhecimentos necessários para adoção de posturas críticas frente às discussões presentes nas mídias internacionais e necessárias as gerações do século XXI.

Fica a percepção de que os livros, na tentativa de se manterem isentos, se omitiram em relação a assuntos importantes pertinentes à ciência nuclear.

### **Conclusões**

Todas as coleções investigadas de livros escolares brasileiros seguiram a orientação do PCN (Ministério da Educação e Cultura, 2000a) de abordar os conteúdos de física nuclear. Contudo, algumas o fizeram superficialmente, de modo que dificilmente seriam capazes de desenvolver as habilidades e competências indicadas no PCNEM (Ministério da Educação e Cultura, 2000b) e nas orientações educacionais complementares aos PCNEM (Ministério da Educação e Cultura, 2002).

Entre as obras analisadas, a "Conexões com a física" seria a menos profunda. A "Física em contextos - pessoal, social e histórico" seria a mais completa. Outras boas coleções seriam a Física aula por aula, Física - ciência e tecnologia e Quanta física.

Todos os livros tentaram contextualizar a energia nuclear e a radioatividade, mas poucos (35%) buscaram a interdisciplinaridade, a discussão de conflitos sociais ou uma abordagem histórica. A maioria das questões de física nuclear avaliadas buscou reforçar conhecimentos teóricos e ou matematizar conceitos.

Um fator negativo foi encontrar equívocos em algumas coleções como Física aula por aula, Física em contextos e Física. Isso sugere a necessidade do docente da Educação Básica verificar os conteúdos disponibilizados nos livros adotados em sua instituição de ensino.

Investigou-se a apresentação dos assuntos: geração de energia elétrica por origem nuclear, poluição radioativa, riscos à saúde, reações nucleares e estelares, enriquecimento de urânio, acidentes nucleares e aplicações.

Os tópicos mais citados foram: produção de energia elétrica a partir da nuclear (100%), reações nucleares (67%) e reações estelares (56%). Os riscos de acidentes (44%), a poluição radioativa (33%) e o enriquecimento de urânio (33%) não foram debatidos por muitas obras. Os fins bélicos da ciência nuclear também foram pouco citados (44%).

Além disso, os assuntos associados ao tema mais discutidos nas mídias atualmente, crise energética e climática mundial, fusão controlada e pesquisas de geração de energia por fusão termonuclear, não foram abordados por nenhuma obra, o que pode tornar o aluno alheio a tópicos importantes para o futuro da humanidade.

### **Implicações dos resultados e discussão**

A ciência nuclear é um assunto polêmico na sociedade brasileira. A falta da participação popular em decisões como as construções das usinas nucleares de Angra (Oliveira e Herculano, 2012) associada ao pouco conhecimento recebido das escolas (Pereira, Filho e Neves, 2009) e dos livros escolares gera uma população que absorve informações dos meios de comunicação, sem adotar atitudes críticas.

Mesmo após aulas de Física Nuclear no Ensino Superior, tal situação é difícil de ser revertida e futuros docentes ainda têm seus discursos influenciados pelas mídias (Sorpreso e Almeida, 2008; 2010).

O contexto da ciência nuclear na Educação Básica precisa ser alterado e os livros escolares adequados, de modo a ajudar no entendimento de aspectos tecnológicos, políticos, econômicos, históricos e sociais.

Muitas obras analisadas buscaram conservar a neutralidade, mas o fizeram sem discutir temas importantes para o século XXI, como o uso para fins bélicos, os riscos de acidentes, a poluição radioativa, a inserção na crise energética e climática, a fusão controlada e os projetos de colaboração internacional para dominar a fusão nuclear controlada autossustentável. Tal ignorância pode levar a indivíduos sem opiniões e influenciados continuamente por discursos sem embasamento científico.

Os livros escolares brasileiros devem tentar manter uma postura isenta, mas sem deixar de discutir tópicos necessários aos desafios da humanidade.

### **Referências bibliográficas**

Barganha, D.E. e N.M.D. Garcia (2009). Estudo sobre o uso e o papel do livro didático de ciências no ensino médio. Em: *VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em ciências*. Em: <http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viienepec/pdfs/1608.pdf>.

Barragán, P.; Mortimer, E.F. e A. Leal (2007). Avaliação preliminar sobre o conceito de radiação e algumas de suas tecnologias: idéias informais de estudantes do Ensino Médio. Em: VI Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências. Em: <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec/viempec/CR2/p1090.pdf>.

Barreto Filho, B. e C.X. Silva (2010). *Física aula por aula*. São Paulo: FTD.

Batista, C.A.S. e M. Siqueira (2011). Livros didáticos de Física: a produção de energia elétrica em larga escala. Em: *XIX Simpósio Nacional de Ensino de física*. Em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0347-2.pdf>.

Batista, M.V.A.; Cunha, M.M.S. e A.L. Cândido (2010). Análise do tema virologia em livros didáticos do ensino médio. *Revista Ensaio*, 12, 1, 145-158.

Biscuola, G.J.; Doca, R.H. e N. Villas Bôas (2010). *Física*. São Paulo: Saraiva.

Bowers, R. e T. Deeming (1984). *Astrophysics I, Stars, Jones and Bartlett*. Boston: Publishers Inc.

Chaisson, E. e S. Mcmillan (1999). *Astronomy Today*. New York: Prentice-Hall.

Dias, R.E. e R.G. Abreu (2006). Discursos do mundo do trabalho nos livros didáticos do ensino médio. *Revista brasileira de educação*, 11, 32, 297-307.

Eletronuclear. (2011). *Panorama da energia nuclear no mundo*. Eletronuclear: gerência de planejamento estratégico. Em: <http://www.eletronuclear.gov.br/LinkClick.aspx?fileticket=GxTb5TAen5E%3D&tabid=297>.

Eletronuclear. (2012a). *Angra 3*. Em: <http://www.eletronuclear.gov.br/AEmpresa/CentralNuclear.aspx>.

Eletronuclear. (2012b). *A Eletrobras Eletronuclear*. Em: <http://www.eletronuclear.gov.br/AEmpresa.aspx>.

Empresa de Pesquisa Energética. (2011). *Balço energético nacional: ano base 2010*. Brasília: Ministério de Minas e Energia.

Fuke, L.F. e K. Yamamoto (2010). *Física para o ensino médio*. São Paulo: Saraiva.

García, M.M.T.; Izquierdo, A.M.; Fiedler-Ferrara, N. e C.R. Mattos (2002). Un estudio sobre la evaluación de libros didáticos. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 2, 2, 36-50.

Gaspar, A. *Compreendendo a física*. (2011). São Paulo: Ática.

Höfling, E.M. (2000). Notas para discussão quanto à implementação de programas de governo: em foco o programa nacional do livro didático. *Educação e Sociedade*, XXI, 70, 159-170. Em: [www.scielo.br/pdf/es/v21n70/a09v2170.pdf](http://www.scielo.br/pdf/es/v21n70/a09v2170.pdf).

Kantor, C.A.; Paoliello Junior, L.A.; Menezes, L.C.; Bonetti, M.C.; Canato Junior, O. e V.M. Alves (2010). *Quanta física*. São Paulo: PD.

Krey, I. e M.A. Moreira (2009). Abordando tópicos de física nuclear e radiação em uma disciplina de estrutura da matéria do currículo de licenciatura em ciências através de situações problema. *Latin-American Journal of Physics Education*, 3, 3, 595-605.

Kuramoto, R.Y.R. e C.R. Apolloni (2002). Uma breve história da política nuclear brasileira. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19, 3, 379-392.

Lamarque, T. e E.A. Terrazan (2009). Física Moderna nos livros didáticos do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM). Em: *XVIII Simpósio nacional de ensino de física*. Em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0479-1.pdf>.

Lobato, A.C.; Silva, C.N.; Lago, R.M.; Cardeal, Z.L. e A.L. Quadros (2009). Dirigindo o olhar para o efeito estufa nos livros didáticos de ensino médio: é simples entender esse fenômeno? *Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências*, 11, 11, 2009. Em: <http://www.portal.fae.ufmg.br/seer/index.php/ensaio/article/viewArticle/161>.

Luz, A.M.R. e B.A. Alvarenga (2011). *Curso de física*. São Paulo: Scipione.

Maia, J.O. e A. Villani (2011). O livro didático no ensino de ciências: situação atual no contexto das publicações acadêmicas. Em: *XXXIV Reunião anual da sociedade brasileira de química*. Em: <http://sec.sbq.org.br/cdrom/34ra/resumos/T0156-1.pdf>.

Massoni, N.T. e M.A. Moreira (2010). Un enfoque epistemológico de la enseñanza de la Física: una contribución para el aprendizaje significativo de la Física, con muchas cuestiones sin respuesta. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias*, 9, 2, 283-308.

Mendes, J.N.M.; Cruz, F.F.S. e J.A.P. Angotti (2009). Matéria e suas manifestações: análise crítica da transposição didática sobre temas de estrutura da matéria em livros didáticos de Física e Química do Ensino Médio. Em: *VII Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em ciências*. Em: [www.foco.fae.ufmg.br/pdfs/724.pdf](http://www.foco.fae.ufmg.br/pdfs/724.pdf).

Mendonça, L. (2011). Energia do futuro? *O setor elétrico*, 63, abril. Em: <http://www.osetoreletrico.com.br/web/component/content/article/57-artigos-e-materias/601-energia-do-futuro.html>.

Ministério da Educação e Cultura. (2000a). *Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio: bases legais*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura.

Ministério da Educação e Cultura. (2000b). *Parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura.

Ministério da Educação e Cultura. (2002). *PCNs+ Ensino Médio: orientações educacionais complementares aos parâmetros Curriculares Nacionais*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura.

Ministério da Educação e Cultura. (2011a). *Guia de Livros Didáticos PNLD 2012: apresentação*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura.

Ministério da Educação e Cultura. (2011b). *Guia de Livros Didáticos PNLD 2012: Física*. Brasília: Ministério da Educação e Cultura.

Nogueira, K.L.; Dias, W.S. e M.F.R. Junior (2009). Gravitação nos livros de ensino médio: uma análise à luz de um dos critérios do PNLEM. Em: *XVIII Simpósio nacional de ensino de física*.



Oliveira, I.C.V. e S. Herculano (2012). A usina nuclear de Angra I e seu plano confidencial de evacuação urbana. *Visões Transdisciplinares sobre Ambiente e Sociedade*, 3, 1-35.

Ostermann, F. e T.F. Ricci (2004). Relatividade restrita no Ensino Médio: os conceitos de massa relativística e de equivalência massa-energia em livros didáticos de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 21, 1, 83-102.

Pereira, G.R.; Filho, M.V.B. e M.A. Neves (2009). Um estudo sobre a inserção do tema "energia nuclear" no ensino médio de municípios da Baixada Fluminense. Em: VII Encontro nacional de pesquisa em educação em ciências. Em: <http://www.fae.ufmg.br/abrapec/viempec/7enpec/pdfs/482.pdf>.

Pinto, G.T. e D.M. Marques (2010). Uma proposta didática na utilização da história da ciência para a primeira série do Ensino Médio: a radioatividade e o cotidiano. *História da ciência e ensino: Construindo interfaces*, 1, 27-57.

Pogibin, A.; Pietrocola, M.; Andrade, R. e T.R. Romero (2010). *Física em contextos - pessoal, social e histórico*. São Paulo: FTD.

Ribeiro, F.E. (2007). *Irradiação de alimentos: uma proposta para o ensino de Física*. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais.

Samagaia, R. e L.O. Peduzzi (2004). Uma experiência com o projeto Manhattan no ensino fundamental. *Ciência e Educação*, 10, 2, 259-276.

Sant'anna, B.; Martini, G.; Reis, H.C. e W. Spinelli (2010). *Conexões com a física*. São Paulo: Moderna.

Silva, D.N.G. e M.V. Pereira (2011). Análise preliminar da temática radiações ionizantes em livros didáticos do nono ano do Ensino Médio. Em: XIX Simpósio nacional de ensino de física. Em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xix/sys/resumos/T0015-3.pdf>.

Sorpreso, T.P. e M.J.P.M. Almeida (2008). Aspectos do imaginário de licenciandos em Física numa situação envolvendo a resolução de problemas e a questão nuclear. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 25, 1, 77-98.

Sorpreso, T.P. e M.J.P.M. Almeida (2010). Discursos de licenciandos em Física sobre a questão nuclear no Ensino Médio: foco na abordagem histórica. *Ciência e Educação*, 16, 1, 37-60.

Souza, A.M. e A.S.M. Germano (2009). Análise de livros didáticos de Física quanto a suas abordagens para o conteúdo de Física Nuclear. Em: XVIII Simpósio nacional de ensino de física. Em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xviii/sys/resumos/T0872-2.pdf>.

Toulmin, S. (1972). *Human understanding, volume I: the collective use and evolution of concepts*. Princeton: Princeton University Press.

Valente, L.; Barcellos, M.E.; Salém, S. e M.R.D. Kawamura (2008). Física nuclear: caminhos para a sala de aula. Em: XI Encontro de pesquisa em ensino de física. Em: [www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epenf/xi/sys/resumos/T0124-1.pdf](http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epenf/xi/sys/resumos/T0124-1.pdf).