



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ – UFC
CENTRO DE CIÊNCIAS
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

DOUGLAS PEREIRA GOMES DA SILVA

**O ENSINO DE ENERGIA E O LIVRO DIDÁTICO DE FÍSICA:
UM OLHAR ATRAVÉS DO CONSTRUTIVISMO HUMANO**

FORTALEZA
2012

DOUGLAS PEREIRA GOMES DA SILVA

O ENSINO DE ENERGIA E O LIVRO DIDÁTICO DE FÍSICA:
UM OLHAR ATRAVÉS DO CONSTRUTIVISMO HUMANO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Centro de Ciências da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática. Área de concentração: Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Isaías Batista de Lima.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca do Curso de Matemática

-
- S579e Silva, Douglas Pereira Gomes da
O ensino de energia e o livro didático de física : um olhar através do construtivismo humano /
Douglas Pereira Gomes da Silva. - 2012.
223 f. : il., enc. ; 31 cm.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-
Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática, Fortaleza, 2012.
Área de Concentração: Ensino de Ciências e Matemática
Orientação: Prof. Dr. Isaías Batista de Lima.
1. Energia. 2. Construtivismo. 3. Pesquisa bibliográfica. I. Título.

DOUGLAS PEREIRA GOMES DA SILVA

O ENSINO DE ENERGIA E O LIVRO DIDÁTICO DE FÍSICA: UM OLHAR
ATRAVÉS DO CONSTRUTIVISMO HUMANO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática. Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática.

Orientador: Prof. Dr. Isaías Batista de Lima

Aprovada em: 19 / 12 / 2012.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Isaías Batista de Lima (Orientador)
Universidade Estadual do Ceará – UECE



Prof. Dra. Ivoneide Pinheiro de Lima
Universidade Estadual do Ceará – UECE



Prof. Dr. Francisco Sales Ávila Cavalcante
Universidade Estadual do Ceará – UECE

Aos professores, profissionais da educação, que, apesar das dificuldades em sua própria formação, têm a força e a garra de reinventarem-se na luta pela formação de seus alunos.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por permitir que eu conseguisse vencer mais essa etapa da minha formação, com alegria, apesar das dificuldades.

À minha esposa, por conseguir suportar muito tempo sem mim, tanto pelos problemas do acidente por que passei, quanto pelo tempo em que tive de me dedicar para refazer todo o trabalho.

A meus pais, que, desde cedo, me ensinaram o valor da educação, e que me deixaram a herança mais preciosa: a paixão pelo conhecimento!

A minha irmã, que sempre me encorajou a buscar novos desafios.

Ao meu orientador, professor Isaías, que adotou nosso curso e assumiu compromissos que não lhes eram obrigação, mas o fez com profissionalismo e dedicação.

À professora Ivoneide, que contribuiu para que o projeto desta pesquisa fosse qualificado com sucesso.

Aos amigos que fiz no curso e aos professores com os quais tive o prazer de conviver, e que contribuíram com suas discussões durante as aulas.

“Conhecimento não é descoberto como ouro ou petróleo, mas sim construído como carros ou pirâmides” (Novak)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar a abordagem do conteúdo energia em livros didáticos de ensino médio selecionados pelo Governo Federal para uso em escolas públicas no Guia Nacional do Livro Didático PNLD 2012, à luz da teoria do Construtivismo Humano. A metodologia utilizada para a efetivação desse inquérito envolveu uma pesquisa bibliográfica acerca dos conceitos ensino de Física, livro didático, Construtivismo Humano, Aprendizagem Significativa e energia. O estudo dos livros didáticos selecionados constituiu uma pesquisa de natureza descritiva, em relação à exposição do conteúdo energia nesses manuais. A abordagem adotada foi qualitativa, a partir dos fundamentos epistemológicos da teoria do Construtivismo Humano e da concepção científica de energia de Duit e Heausller (1994). Assim, analisaram-se os livros segundo categorias: concepções alternativas de energia (ou seja, concepções baseadas no senso comum, em desacordo com as concepções científicas), concepções equívocas de energia (referentes ao uso equivocado das concepções alternativas como científicas), quatro aspectos do conceito energia (conservação, transformação, transporte e degradação), concepções dos conceitos correlatos a energia (tais como calor, trabalho e entropia) e organização da exposição. Em geral, observou-se que as coleções de livros didáticos analisadas apresentavam poucas considerações acerca das concepções alternativas de energia, na introdução dos capítulos. Por outro lado, verificou-se que expõem equivocadamente como científicas algumas concepções alternativas. Além disso, na maioria das coleções, observou-se que são abordados todos os aspectos que caracterizam a energia, contudo, de forma fragmentada, em volumes diferentes. Quanto à hierarquia conceitual, verificou-se comumente uma breve introdução acerca do conteúdo energia antes da abordagem de trabalho mecânico, apesar de não se considerar o conceito de sistema físico como mais geral do que o conceito de energia. Portanto, pode-se afirmar que os livros apresentam falhas conceituais e de abordagem, quando referenciados pelo Construtivismo Humano.

Palavras-chave: Livro didático. Construtivismo Humano. Energia. Aprendizagem significativa. Física.

ABSTRACT

This study has the objective of analyzing the approach of the energy content in school textbooks selected by the Federal Government for use in public schools in the Guide National Textbook PNLD 2012, on the light of the theory of Human Constructivism. The methodology used for the accomplishment of this investigation involved literature review on the concepts of Physics Teaching, Textbook, Human Constructivism, Meaningful Learning and Energy. The study of selected textbooks was a descriptive research, in relation to the exhibition energy content of these manuals. A qualitative approach was adopted, from the epistemological foundations of the theory of Human Constructivism and the scientific conception of energy by Duit and Heausller (1994). Thus, we analyzed the books according to these categories: alternative energy concepts (concepts based on common sense, at odds with scientific conceptions), energy misconceptions (for the use of misconceptions as scientific conceptions), four aspects of the energy concept (conservation, transformation, transport and degradation), conceptions of concepts related to energy (like heat, work and entropy) and organization of the presentation. In general, it was observed that the collections of textbooks analyzed had few considerations concerning alternative conceptions of energy in the introduction of chapters. On the other hand, it was found that they expose some misconceptions on scientific concepts. Furthermore, in most collections, we observed that all aspects are discussed characterizing the energy, however, it is fragmented in different volumes. Considering the conceptual hierarchy, it is commonly a brief introduction on the energy content before the approach of mechanical work, although not considering the concept of the physical system to be more general than the energy concept. So, it can be said that the books had failures on the conceptual approach, when referred to Human Constructivism.

Keywords: Textbooks. Human Constructivism. Energy. Meaningful Learning. Physics.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Diagrama em Vê abordando esta pesquisa.	18
Figura 2 – Organizadores gráficos representando os tipos de aprendizagem significativa.	33
Figura 3 – Círculo de conceitos envolvendo as propriedades de um sistema físico.	36
Figura 4 – Estrutura do Vê de Gowin.	38
Figura 5 – Mapa conceitual representando alguns conceitos envolvidos na teoria do Construtivismo Humano.	41
Figura 6 – Mapa conceitual envolvendo o conceito de energia subsumido ao conceito de sistema físico.	54
Figura 7 – Mapa conceitual tipo diagrama de fluxo apresentado na coleção 1.	97
Figura 8 – Mapa conceitual representando as relações apresentadas na coleção 1.	178
Figura 9 – Mapa conceitual representando as relações acerca do conceito sistema mecânico.	179
Figura 10 – Mapa conceitual apresentando as relações com o conceito energia térmica, na coleção 1.	180
Figura 11 – Mapa conceitual acerca da concepção de energia exposta na coleção 2.	181
Figura 12 – Mapa conceitual acerca do princípio de conservação de energia exposto na coleção 2.	182
Figura 13 – Mapas conceituais acerca do conceito de calor e de Termodinâmica expostos na coleção 2.	183
Figura 14 – Mapas conceituais representando as noções iniciais apresentadas na coleção 3, acerca do conteúdo energia.	184
Figura 15 – Mapa conceitual relacionando conceitos acerca da introdução do capítulo de energia na coleção 3.	185
Figura 16 – Mapa conceitual acerca de energia mecânica, resultante da análise da coleção 3.	186
Figura 17 – Concepção de calor e de energia térmica mapeados, coleção 3.	186
Figura 18 – Mapa conceitual acerca de energia interna, coleção 3.	187
Figura 19 – Mapa conceitual acerca de Termodinâmica, coleção 3.	188
Figura 20 – Mapas conceituais relacionando conceitos sobre trabalho e energia na coleção 4.	189
Figura 21 – Mapa conceitual acerca de energia mecânica, construído na análise da coleção 4.	190

Figura 22 – Mapa conceitual acerca de Termodinâmica, coleção 4.....	191
Figura 23 – Mapa conceitual acerca da introdução do conceito energia apresentada na coleção 5.....	192
Figura 24 – Mapas conceituais acerca da abordagem de trabalho e energia mecânica na coleção 5.....	193
Figura 25 – Mapa conceitual acerca de sistema mecânico, coleção 5.....	194
Figura 26 – Mapas conceituais acerca de Termodinâmica, coleção 5.....	195

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIRD	Banco Internacional para Reconstrução e Desenvolvimento
CTSA	Ciência Tecnologia Sociedade e Meio Ambiente
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
OIT	Organização Internacional do Trabalho
PCNEM	Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
PNLEM	Programa Nacional do Livro Didático: Ensino Médio
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	14
2	O CONTEXTO DO PAPEL DO LIVRO DIDÁTICO NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA.....	19
2.1	O contexto do ensino de Física	20
2.2	O papel do livro didático no ensino de Ciências	22
2.3	O contexto da política educacional	24
3	O CONSTRUTIVISMO HUMANO COMO REFERENCIAL PARA ANALISAR A APRESENTAÇÃO DOS CONCEITOS NOS LIVROS DIDÁTICOS	27
3.1	O evento educativo segundo o Construtivismo Humano	28
3.2	Aprendizagem Significativa.....	29
3.2.1	<i>A interação dos conhecimentos prévios com as novas informações segundo Ausubel..</i>	32
3.3	Os organizadores gráficos segundo a teoria do Construtivismo Humano	34
3.3.1	<i>Círculos de conceitos</i>	35
3.3.2	<i>Vê de Gowin</i>	36
3.3.3	<i>Os mapas conceituais.....</i>	40
3.4	O Construtivismo Humano de Novak e os materiais de instrução	42
4	O CONCEITO ENERGIA E SUAS RELAÇÕES COM OS DEMAIS CONCEITOS FÍSICOS	44
4.1	Sistema físico: um conceito superordenado	45
4.2	Os princípios que regem o comportamento da propriedade energia	46
4.3	A abstração do conceito de energia.....	47
4.4	Energia como capacidade de realizar trabalho	48
4.5	Energia cinética e energia potencial	49
4.6	Energia interna, energia térmica e calor	50
4.7	Concepções alternativas, segundo Duit, Haeussler e Linjse.....	51

5	PROBLEMA DE PESQUISA E METODOLOGIA.....	57
5.1	Objetivos da pesquisa.....	57
5.2	Questões de pesquisa	57
5.3	Metodologia.....	58
5.4	Livros didáticos, os objetos de estudo.....	59
5.5	Procedimentos metodológicos	60
6	DADOS ANALISADOS DOS LIVROS DIDÁTICOS E DISCUSSÕES	64
6.1	Coleção 1 – Física	64
6.1.1	<i>Concepções alternativas de energia.....</i>	<i>65</i>
6.1.2	<i>Concepções equívocas de energia.....</i>	<i>65</i>
6.1.3	<i>Quatro aspectos do conceito energia.....</i>	<i>66</i>
6.1.4	<i>Concepções dos conceitos correlatos a energia</i>	<i>66</i>
6.1.5	<i>Organização da exposição</i>	<i>68</i>
6.2	Coleção 2 – Curso de Física	73
6.2.1	<i>Concepções alternativas de energia.....</i>	<i>73</i>
6.2.2	<i>Concepções equívocas de energia.....</i>	<i>74</i>
6.2.3	<i>Quatro aspectos do conceito energia.....</i>	<i>75</i>
6.2.4	<i>Concepções dos conceitos correlatos a energia</i>	<i>76</i>
6.2.5	<i>Organização da exposição</i>	<i>79</i>
6.3	Coleção 3 - Física para o Ensino Médio	83
6.3.1	<i>Concepções alternativas de energia.....</i>	<i>84</i>
6.3.2	<i>Concepções equívocas de energia.....</i>	<i>84</i>
6.3.3	<i>Quatro aspectos do conceito energia.....</i>	<i>85</i>
6.3.4	<i>Concepções dos conceitos correlatos a energia</i>	<i>86</i>
6.3.5	<i>Organização da exposição</i>	<i>89</i>
6.4	Coleção 4 – Conexões com a Física	97
6.4.1	<i>Concepções alternativas de energia.....</i>	<i>98</i>

6.4.2	<i>Concepções equívocas de energia</i>	98
6.4.3	<i>Quatro aspectos do conceito energia</i>	98
6.4.4	<i>Concepções dos conceitos correlatos a energia</i>	99
6.4.5	<i>Organização da exposição</i>	103
6.5	Coleção 5 – Física em contextos	110
6.5.1	<i>Concepções alternativas de energia</i>	111
6.5.2	<i>Concepções equívocas de energia</i>	111
6.5.3	<i>Quatro aspectos do conceito energia</i>	113
6.5.4	<i>Concepções dos conceitos correlatos a energia</i>	114
6.5.5	<i>Organização da exposição</i>	116
7	PRODUTO EDUCACIONAL	124
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	127
	REFERÊNCIAS	136
	APÊNDICE A – TRECHOS DOS TEXTOS ANALISADOS DAS COLEÇÕES .	139
	APÊNDICE B – RESUMO DOS RESULTADOS DAS ANÁLISES CONCEITUAIS	173
	APÊNDICE C – MAPAS CONCEITUAIS CONSTRUÍDOS A PARTIR DA ANÁLISE DAS COLEÇÕES	178
	APÊNDICE D – PRODUTO EDUCACIONAL.....	196
	ANEXO A – COMO CONSTRUIR UM CÍRCULO DE CONCEITOS.....	221
	ANEXO B – COMO ELABORAR UM DIAGRAMA EM VÊ.....	222

1 INTRODUÇÃO

Alguns temas, no estudo da Física, tiveram uma construção sócio-histórica conturbada e, ainda hoje, permeiam o senso comum com conceitos e com proposições superadas. Nessa situação, encontra-se o conceito de energia e seus correlatos, trabalho e calor. Dada a importância desses conteúdos para todo o universo das Ciências da Natureza, torna-se relevante investigar suas abordagens nos livros didáticos e averiguar estratégias que objetivem a construção de significados corretos e contextualizados. De acordo com os Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio (PCNEM):

Uma compreensão atualizada do conceito de energia, dos modelos de átomo e de moléculas, por exemplo, não é algo “da Física”, pois é igualmente “da Química”, sendo também essencial à Biologia molecular, num exemplo de conceitos e modelos que transitam entre as disciplinas. (BRASIL, 1999)

Note-se que, nas disciplinas de Biologia e de Química, é necessário ir além da aplicação de relações matemáticas no estudo dos fenômenos que envolvam energia. Caso não tenha havido a compreensão do significado dessa grandeza, provavelmente haverá dificuldade na compreensão dos acontecimentos que a envolvam, resultando, mais uma vez, em memorização literal, cujo esquecimento deixará poucos rastros na estrutura cognitiva do aluno.

Acrescente-se que o uso exaustivo do termo energia, em vários contextos, provoca, em cada indivíduo, uma construção de um significado subjetivo. Essa significação é capaz de produzir a construção de proposições falsas ou incoerentes, se comparadas às concepções científicas. Muitas vezes, esse processo implica aprendizagem significativa¹, embora desalinhada com as concepções científicas. A fim de evitar tais construções, é necessário que se promova um diálogo entre as concepções objetivas, legitimadas pela comunidade científica, e as subjetivas, dos alunos, culminando com uma reinterpretação dos fenômenos à luz das concepções científicas, em busca da aprendizagem significativa.

Uma vez que o novo Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) tem como objetivo avaliar habilidades e competências dos alunos no contexto de conteúdos relevantes, fica evidente que o foco não é mais observar a capacidade do aluno de reter informações literalmente, mas de relacioná-las no contexto de Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio

¹ Entendida nesta pesquisa como um processo de construção de conhecimentos no qual os conceitos se relacionam de forma não arbitrária, na estrutura cognitiva do sujeito.

Ambiente (CTSA), refletindo a partir de situações-problema. Sendo assim, a presente pesquisa encontra sua relevância na conjuntura do momento histórico vivido na ruptura de paradigma² de um ensino eminentemente enciclopédico, de acúmulo de informações, alheio às relações significativas entre os conceitos.

Junto a isso, encontra-se o novo Programa Nacional do Livro Didático: Ensino Médio (PNLEM) (BRASIL, 2011), confirmando a necessidade de questionar a abordagem didático-pedagógica dos livros, buscando alterar a consideração dos conteúdos no contexto da sala de aula. Daí a exigência de fundamentação teórico-metodológica na produção do texto da obra, acompanhada pela exigência de melhora na formação dos professores, constituindo passos importantes em busca do enriquecimento na qualidade do ensino e da aprendizagem.

Vive-se, assim, um novo panorama na política educacional, vislumbrando a busca por uma nova forma de aprendizagem, onde o ser humano deixa de ser um mero acumulador de saberes, para desenvolver habilidades e competências através da ressignificação de conteúdos. A produção de aprendizagem significativa e contextualizada, portanto, configura-se em uma demanda da sociedade hodierna, acerca da formação do cidadão.

O sistema de ensino-aprendizagem tradicional começa, assim, a esgotar-se, mostrando-se a necessidade de as teorias construtivistas da educação, que busquem o engrandecimento humano através da aquisição de conhecimentos significativos, permearem as salas de aula. Para que isso se concretize, é imprescindível a investigação dos instrumentos diretamente ligados a esse processo: a Didática e o livro didático.

Nesse panorama, surgiram alguns questionamentos que demandaram investigação: a abordagem do tema energia nas coleções de livros didáticos de Física para ensino médio é capaz de favorecer a aprendizagem significativa dos conceitos, proporcionando ao aluno relacioná-los de forma substantiva ao seu sistema cognitivo? Quais as concepções de energia presentes nesses livros? Qual a hierarquia conceitual proposta pelos autores desses livros?

Este trabalho tem, como objetivo principal, analisar a abordagem do conteúdo energia presente em cinco coleções de livros didáticos de Física para ensino médio aprovadas pelo Guia de Livros Didáticos PNLD 2012, à luz da teoria do Construtivismo Humano. Seus objetivos específicos são:

² O termo paradigma é utilizado aqui no sentido apresentado por Thomas Kuhn (1978) em A estrutura das revoluções científicas: “realizações científicas universalmente reconhecidas que, durante algum tempo, fornecem problemas e soluções modelares para uma comunidade de praticantes de uma ciência” (p.13).

- a) analisar o papel do livro didático na educação científica;
- b) investigar a concepção de energia presente nos livros didáticos analisados;
- c) investigar a correlação entre energia e demais conceitos presente nesses livros;
- d) investigar a coerência com o Construtivismo Humano da metodologia utilizada na exposição desse conteúdo.

A metodologia empregada para o desenvolvimento deste estudo implicou a análise de conteúdo, constituindo uma pesquisa de natureza descritiva com abordagem qualitativa. O quadro conceitual escolhido resultou de uma pesquisa bibliográfica, envolvendo leituras e reflexões acerca de uma teoria de Educação que considerasse o conhecimento científico como uma construção humana, ponderando as subjetividades envolvidas. Além disso, a escolha pela teoria do Construtivismo Humano de Novak (1977, 2000) ocorreu porque esse autor considera aspectos da construção cognitiva subjetiva do conhecimento – aprendizagem significativa de Ausubel (2003) – e das relações conceituais e metodológicas da produção social do conhecimento científico – diagramas epistemológicos de Gowin (*apud* Moreira 2006).

A concepção científica de energia adotada para esta investigação foi apresentada por Duit e Heausler (1994), tendo como considerações adicionais as concepções alternativas referentes aos estudos de Lijnse (1990).

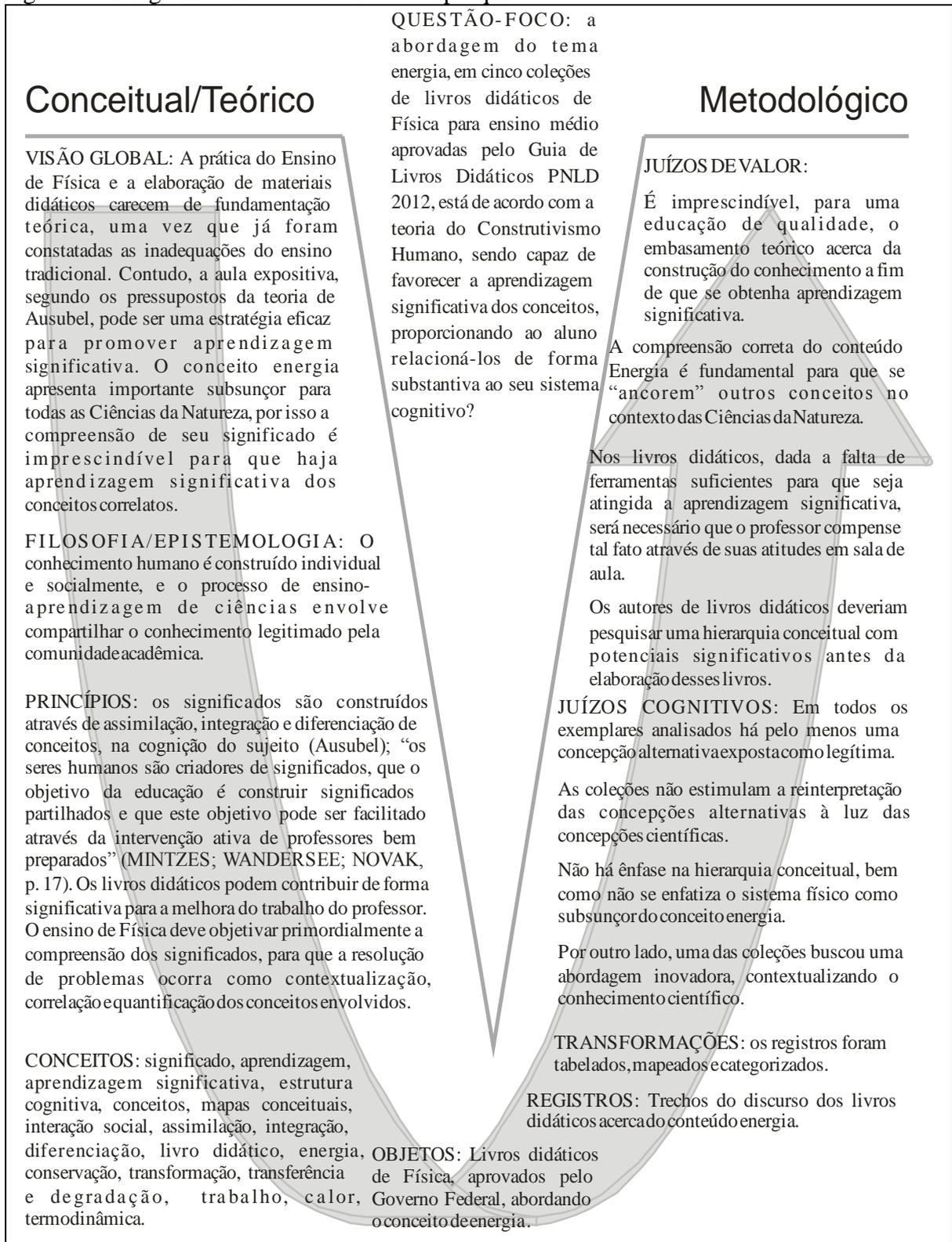
Os dados coletados na análise da concepção de energia presente nas coleções foram classificados de acordo com categorias predefinidas. Com isso, foi possível obter um panorama das concepções de energia presentes nessas coleções de livros didáticos. Além disso, elaboraram-se mapas conceituais ao longo da investigação da organização da exposição presentes nas coleções de livros de Física estudadas, apresentados no APÊNDICE C.

Este trabalho encontra-se organizado em seis capítulos além desta introdução e das considerações finais. O capítulo 2 corresponde a uma contextualização do papel do livro didático na educação científica, em especial no âmbito do ensino de Física. O capítulo 3 traz uma síntese das concepções educacionais apresentadas pelo Construtivismo Humano, para que se possa tomá-lo como referência na análise da abordagem expositiva presente nos livros didáticos acerca do tema energia. Ainda nesse capítulo, são apresentados organizadores gráficos guiados pela teoria para delinear relações entre conceitos, bem como aspectos referentes à produção do conhecimento científico. O capítulo 4 trata da concepção científica adotada para a análise do conceito energia. No capítulo 5, enfatiza-se o problema de pesquisa, e descreve-se a metodologia utilizada na investigação. No capítulo 6, são apresentados os dados coletados e analisados dos livros, envolvendo os aspectos conceituais e de abordagem

conceitual. O capítulo 7 destinou-se à descrição do produto educacional desenvolvido. Esse capítulo fora concebido devido ao fato de tratar-se de um mestrado profissional, exigindo-se um produto, resultante da pesquisa efetuada. Esse produto educacional encontra-se no APÊNDICE D.

A fim de ilustrar o desenvolvimento desta pesquisa, elaborou-se o diagrama epistemológico em vê (esse tipo de organizador gráfico será discutido no capítulo 3) presente na Figura 1.

Figura 1 – Diagrama em Vê abordando esta pesquisa.



Fonte: Elaborada pelo autor.

2 O CONTEXTO DO PAPEL DO LIVRO DIDÁTICO NA EDUCAÇÃO CIENTÍFICA

Neste capítulo, apresenta-se a conjuntura do ensino de Física nas escolas, e busca-se caracterizar o conceito de livro didático, relacionando-o com o contexto do ensino de Ciência e com as políticas educacionais. Note-se que tais contextualizações são fundamentais para que se discuta o papel do livro didático na educação científica.

Com efeito, a didática das ciências tem encontrado obstáculos em sua concretização como instrumento eficaz de ensino-aprendizagem como, por exemplo, a inadequação na preparação dos professores e o uso de materiais didáticos incoerentes com as teorias contemporâneas de educação. Nesse âmbito, o ensino tradicional tem-se perpetuado como principal proposta de ensino aplicada, pois é centrado essencialmente em exposição, lista de exercícios e avaliação.

O atual contexto histórico é marcado por um profundo processo de mudanças provocadas pela revolução da informática, da engenharia genética e da robótica. Tais transformações têm tido uma expressiva repercussão na vida social, inaugurando novas formas de produção através dos processos de automação, no que ficou chamado de Terceira Revolução Industrial. A consequência imediata dos processos de automação que invadiram o mundo do trabalho foi a mudança nas aptidões que se passou a requerer do trabalhador, como condição de sua empregabilidade. Daí, afirma Frigotto (1995) *apud* Lima (2002, p.22) que o trabalhador hodierno deve ter:

[...] uma formação geral básica e sólida que permitem serem treinados e retreinados conforme as exigências do mercado, em subordinação à lógica da exclusão social, cujas competências se definem pela capacidade de abstração, polivalência, flexibilidade e criatividade, tudo isto adequado às exigências da competição capitalista global. É um *détour* à teoria do capital humano rejuvenescida pelos organismos internacionais (BIRD, UNESCO, OIT) representantes dos interesses privados da classe proprietária.

Tais mudanças caem como expectativa sobre a educação, no sentido de que é tomada como instrumento social de preparação do operário ao trabalho. Por isso, insiste-se nas duas últimas décadas do século passado em conjunto de mudanças no aparato jurídico e normativo da educação, oriundos das mudanças ocorridas no sistema nacional de educação³,

³ Cf. Lima (2002, p. 6), “Lei 9.394/96, estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional; 9.424/96 dispõe sobre o Fundo de Manutenção e Desenvolvimento do Ensino Fundamental e de Valorização do Magistério; Emenda Constitucional 14/96 modifica os arts. 34, 208, 211, 212 da Constituição Federal, e dá nova redação ao art. 60 do Ato das Disposições Constitucionais Transitórias; Parecer nº CNE/CP 009 de 08/05/2001, institui

com vistas a atender não só às mudanças acima referidas, mas também a acordos elaborados pelo Brasil em plano internacional⁴ (LIMA, 2002).

Assim, o contexto atual tem sido marcado pela crítica ácida ao modelo tradicional, que de forma quase hegemônica predominava no país, em favor de um ensino menos centrado na memorização e na reprodução, e mais arrimado com a reflexão crítica, em saber contextualizado que assume a tarefa de inserir o aluno como cidadão frente à dinâmica da vida social. Nesse sentido, não há como distanciar o ensino da vida cotidiana. Por outro lado, Sforzi (2004) ressalta que o ensino não deve ficar restrito ao pensamento empírico, mas que provoque a transição do conhecimento espontâneo ao conhecimento científico.

Esse debate se ancora no ensino de ciências sobre a narrativa da educação científica a favor de uma aprendizagem significativa contextualizada nas esferas Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio Ambiente (CTSA).

2.1 O contexto do ensino de Física

Há muitos anos se observa a prática de ensino de Física em uma perspectiva mecânica (*rote learning*) nas escolas, justificada exaustivamente pelos professores, em relação à praticidade e à conveniência de sua aplicação didática. Um discurso persistente, no sentido de justificar tal prática, é o de que o conteúdo é demasiado extenso e o tempo não é suficiente para apresentá-lo. Além disso, as provas de vestibulares, em muitas situações, traziam questões cujas soluções não exigiam do aluno um pensamento crítico. Tais soluções se reduziam à mera aplicação de fórmulas ou à reprodução de alguma definição ou fato, solicitando ao aluno predominantemente a memorização literal.

Uma situação do contexto do ensino de Física muito comum é a presença do professor como o detentor do conhecimento científico a ser transmitido através de “boa”

Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores da Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena; Parâmetros Curriculares Nacionais (ensino fundamental e médio); Plano Decenal de Educação para Todos (nacional e estadual)”.

⁴ Lima (2002) salienta que o Brasil assumiu o compromisso internacional frente às agências de fomento da educação de cumprir as orientações da Conferência Mundial de Educação para Todos, ocorrida em Jontien (Tailândia) entre 5 e 8 de março de 1990, sendo signatário da Declaração Mundial de Educação para Todos e o Plano de Ação decorrente da referida conferência: “O Brasil participou desta *Conferência* e foi um dos 155 signatários do *Plano de Ação* de centrar suas atenções no ensino fundamental. Assim, suas ações, se encaminharam no sentido de orientar a educação para a satisfação das necessidades básicas de aprendizagem, conforme a proposta do referido plano. Assim sendo, emergiu no cenário brasileiro o discurso da prioridade e defesa da qualidade da educação, em que a formação de professores é associada a esta preocupação, com a melhoria da qualidade do ensino fundamental. Esta decisão do Brasil não foi fortuita, mas obedece a uma política determinada pelo Banco Mundial, que a partir de então passou a direcionar, com prioridade, os seus empréstimos em matéria de educação para a educação básica (BANCO MUNDIAL, 1995b, p. 117, apud. TOMMASI, WARDE, HADDAD, 2000, P. 196).” (LIMA, 2002, p. 26)

explicação, de exemplificação e de soluções de “questões problema”. Nesse contexto, “o professor, visto como o centro do processo de ensino, deveria dominar os conteúdos fundamentais a serem transmitidos aos alunos” (LOPES, 1991, p.36), apresentando os conceitos científicos em sua forma final, sem dialogar com as concepções prévias desses alunos. Assim, não é incomum haver memorização de forma literal do que é exposto na aula, reproduzindo-se na prova o que fora imposto pelo professor, com a finalidade de “sobreviver” no ambiente escolar, “passando de ano” (MORETTO, 2000).

O problema dessa abordagem é que dificilmente se consegue uma mudança conceitual, entendida como a ruptura com os conceitos vinculados apenas às experiências cotidianas do sujeito, fazendo o aluno compartilhar do conhecimento legitimado pela comunidade científica. Com isso, para efeito de avaliação, o aluno reproduz mecanicamente o que foi transmitido pelo professor, mas em outras situações, continua a fazer uso das concepções prévias, adquiridas tanto por suas experiências cotidianas, quanto pela interação com as pessoas e meios de informação com que convive. Dessa forma, sem haver mudança conceitual, reinterpretando as concepções prévias alternativas à luz das concepções científicas, a aprendizagem se restringe à memorização literal desprovida de significado, culminando com o esquecimento já em curto prazo (NOVAK, 2000).

Tal abordagem também vem impregnada de aplicações de relações matemáticas – as fórmulas – sem que delas se extraíam significados. Não é incomum observar um professor de Física definir muitas grandezas apenas através da exposição da equação e da solução de uma situação problema que envolva mera substituição de valores, sem discussão significativa dos resultados (CARVALHO; GIL-PÉREZ, 2009).

Consequência disso é a confusão que se faz ao diferenciar Física de Matemática. Muitos alunos demonstram compreender a Física como uma extensão da Matemática, por conta do uso exaustivo de fórmulas na explicação do professor, na solução dos exercícios propostos e na avaliação. Infelizmente, “o conhecimento físico ainda é tratado como enciclopédico, resumindo-se a um aparato matemático que, normalmente, não leva à compreensão dos fenômenos físicos e ainda, acaba por causar aversão pela disciplina” (LOSS; MACHADO, 2005, p. 2).

É imaginável que esse comportamento do professor, utilizando a concepção bancária de educação, na qual o educador “enche” os educandos com o conteúdo de sua narração (FREIRE, 2005), tenha como causas as deficiências em sua formação e a situação vivenciada nas instituições de ensino. Conforme afirma Lopes:

Na prática da sala de aula o que se tem constatado é a adoção da aula expositiva com características tradicionais predominantes, ou seja, atividade exclusiva do professor e passividade dos alunos. Essa realidade, contudo, pode ser decorrência das contradições existentes entre a formação teórica do professor e as situações de trabalho encontradas nas instituições de ensino. (1991, p.37)

Acrescente-se ainda que essa prática docente tem suas raízes na fundação das primeiras licenciaturas em 1930, em que se priorizava o bacharelado em detrimento da licenciatura, caracterizado pelo o modelo tradicional denominado “3+1” (três anos de disciplinas específicas e um ano em disciplinas pedagógicas), cuja concepção era: para formar um bom professor, era imperativo abordar o conhecimento específico. A parte pedagógica ficava direcionada à didática que se limitava, segundo Moreira e David (2005), a um conjunto de técnicas. Porém, mesmo com todas as mudanças educativas que foram implantadas ao longo dos tempos aqui no Brasil, os cursos que formam esses profissionais ainda desenvolvem, na prática, esse exemplo de educação (LIMA; SANTOS; BORGES NETO, 2010).

Portanto, um professor que tenha sido educado segundo a concepção tradicional, tende a reproduzir os procedimentos que vivenciou enquanto estudante, tanto na universidade quanto na escola. Nesse sentido, uma formação adequada para esse profissional, além de preocupar-se com o próprio conteúdo a ser ensinado, deve proporcionar uma reflexão crítica acerca da prática pedagógica e do processo de construção social do conhecimento científico, culminando com uma alteração da prática em sala de aula.

2.2 O papel do livro didático no ensino de Ciências

O instrumento mais significativo presente na atividade do professor parece ser o livro didático. De acordo com Fracalanza e Megid Neto, os professores:

[...] devido à deficiente formação recebida e sem possibilidade de atualização adequada, cada vez mais passaram a depender dos manuais escolares. Assim, para muitos professores, os livros didáticos se converteram, de recursos auxiliares para o ensino, em quase que determinantes da prática pedagógica em sala de aula (LEÃO; MEGID NETO, 2006, p. 9).

Esse pensamento é também compartilhado por Moreira (2000) quando expõe que o curso de Física é guiado pelo livro-texto, que direciona a condição e a efetivação do curso. No que se refere à ementa, ao programa e ao plano de ensino da disciplina, ele reforça que ainda predomina o paradigma do livro.

Lajolo define livro didático como:

Didático, então, é o livro que vai ser utilizado em aulas e cursos, que provavelmente foi escrito, editado, vendido e comprado, tendo em vista essa utilização escolar e sistemática. Sua importância aumenta ainda mais em países como o Brasil, onde uma precaríssima situação educacional faz com que ele acabe determinando conteúdos e condicionando estratégias de ensino, marcando, pois, de forma decisiva, o *que* se ensina e *como* se ensina o que se ensina. (LAJOLO, 1996, grifos do autor)

Ainda a respeito da diferenciação do livro didático, autora continua:

Assim, para ser considerado *didático*, um livro precisa ser usado, de forma sistemática, no ensino-aprendizagem de um determinado objeto do conhecimento humano, geralmente já consolidado como disciplina escolar. Além disso, o livro didático caracteriza-se ainda por ser passível de uso na situação específica da escola, isto é, de aprendizado coletivo e orientado por um professor. (Ibid.)

O livro didático pode ser analisado segundo diversos pontos de vista, conforme ressalta Bittencourt:

As pesquisas e reflexões sobre o livro didático permitem apreendê-lo em sua complexidade. Apesar de ser um objeto bastante familiar e de fácil identificação, é praticamente impossível defini-lo. Pode-se constatar que o livro didático assume ou pode assumir funções diferentes, dependendo das condições, do lugar e do momento em que é produzido e utilizado nas diferentes situações escolares. Por ser um objeto de "múltiplas facetas", o livro didático é pesquisado enquanto produto cultural; como mercadoria ligada ao mundo editorial e dentro da lógica de mercado capitalista; como suporte de conhecimentos e de métodos de ensino das diversas disciplinas e matérias escolares; e, ainda, como veículo de valores, ideológicos ou culturais. (BITTENCOURT, 2004)

Considerando as "múltiplas facetas" do livro didático, foi dado foco a ele, neste trabalho, enquanto suporte de conhecimento e de métodos de ensino de ciências.

No âmbito das tentativas governamentais de proporcionar uma mudança na qualidade da educação, encontra-se o Programa Nacional do Livro Didático (PNLD). Seguindo orientações do Banco Mundial (BIRD) (LEÃO; MEGID NETO, 2006), o governo brasileiro começou a implantar mudanças no sistema de adoção dos manuais didáticos nas escolas, através de avaliações, classificando os livros. Além disso, o Estado passou a distribuir gratuitamente esses livros didáticos aos alunos das escolas públicas. A argumentação que procurou justificar tal procedimento foi o fato de que o investimento é mínimo e o livro didático representa, conforme mencionado, a principal referência teórico-metodológica de que dispõe o professor.

Apesar de a melhora da qualidade do livro didático ser um passo importante na mudança da prática pedagógica em sala de aula, a formação do professor é condição primordial para a concretização dessa transformação. As convicções desse profissional (ou seja, suas próprias concepções, baseadas em suas experiências cotidianas, sem embasamento científico) podem fazê-lo desprezar os aspectos teórico-metodológicos presentes no manual didático, fazendo uso dele apenas como sequência de assuntos a serem abordados e como lista de exercícios (MEGID NETO; FRACALANZA, 2006).

Apesar disso, compêndios escolares preocupados com a aprendizagem significativa dos alunos podem, através de leitura agradável e substantiva (não apenas fornecendo dados, equações e relatos de dados experimentais) ter o potencial de proporcionar um passo expressivo na busca por educação de qualidade.

O Ministério da Educação, através do novo Guia de Livros Didáticos PNLD 2012, indica ter como objetivo

(...) conseguir a permanência desses alunos, acompanhada de uma aprendizagem significativa em todos os componentes curriculares, que os capacite para o exercício pleno de sua cidadania, com possibilidades efetivas em termos de participação ativa e crítica na sociedade, de inserção adequada no mercado de trabalho, de continuidade dos estudos em nível superior e de formação contínua ao longo da vida. (BRASIL, 2011, p. 7).

Dessa forma, evidencia-se a necessidade de educar os alunos para que tomem consciência de seu aprendizado, fazendo-os buscar relações significativas entre os novos conceitos com que venham a ter contato e aqueles já presentes em sua estrutura cognitiva. Com isso, serão capazes de ir além da memorização de fatos, de conceitos ou de equações, podendo também relacioná-los de forma significativa às situações-problema com as quais venham a deparar. Assim, tornar-se-ão preparados para gerenciar as informações e seus conhecimentos no mercado de trabalho ou no prosseguimento de sua educação, rumo ao ensino superior.

2.3 O contexto da política educacional

As mudanças referidas na política educacional oriundas de acordos assumidos pelo Brasil, referenciadas anteriormente, culminariam hodiernamente com o estabelecimento da prova do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM) como critério de seleção para o ingresso em parte das universidades públicas brasileiras. Assim, surge uma possibilidade para

que se contestem as posturas até então adotadas em sala de aula, de repetição literal e pouco crítica dos conteúdos abordados. O novo ENEM, a partir de 2009, representa uma prova reestruturada, com uma relação de conteúdos arraigados a matrizes de habilidades e competências, ou seja, constitui uma avaliação preocupada com os aspectos teórico-metodológicos, fazendo referências às teorias de Philippe Perrenoud e de Jean Piaget (MACEDO, 2005). Dessa forma, “O Exame Nacional do Ensino Médio (Enem) propõe mensurar modalidades estruturais da inteligência mediante uma concepção construtivista com amplo foco na resolução de problemas” (GOMES; BORGES, 2009, p. 73).

Após muitos anos de educação científica voltada para a memorização, com pouca reflexão crítica e sem preocupação com a aprendizagem significativa, os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (PCNEM), indicam uma direção quanto aos objetivos educacionais almejados pelo Governo Federal. Daí, para o Ministério da Educação e Cultura (MEC), os PCNEM partem da propositura de que:

Os objetivos do Ensino Médio em cada área do conhecimento devem envolver, de forma combinada, o desenvolvimento de conhecimentos práticos, contextualizados, que respondam às necessidades da vida contemporânea, e o desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo. Para a área das Ciências da Natureza, Matemática e Tecnologias, isto é particularmente verdadeiro, pois a crescente valorização do conhecimento e da capacidade de inovar demanda cidadãos capazes de aprender continuamente, para o que é essencial uma formação geral e não apenas um treinamento específico. (BRASIL, 1999)

Pelo próprio texto dos PCNEM, é possível inferir que o treinamento para resolução de questões de vestibular já não é mais o foco central almejado para as escolas. Nesse contexto, a capacidade de inovar só é possível se o conteúdo aprendido tiver sido internalizado de forma significativa, ou seja, relacionado com aspectos relevantes (conceitos, proposições, teorias) já presentes na estrutura cognitiva do aluno, modificando-a de forma substantiva. Só assim, munido de significados corretos, o sujeito será capaz de produzir inovação, buscando novas relações significativas entre os conteúdos estudados e os novos fatos observados em seu cotidiano ou em suas atividades. Fica, portanto, evidente que as reproduções literais de conteúdo não são capazes de atingir os objetivos ora propostos.

No primeiro semestre de 2011, foi publicado, pelo Governo Federal, o Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio (PNLEM), indicando a necessidade de um novo olhar acerca dos livros didáticos adotados pelas escolas. Segundo esse documento:

[...] é fundamental que professores e alunos [...] trabalhem, além de outros aspectos igualmente importantes, com materiais didáticos de qualidade, que estejam disponíveis para subsidiar, para embasar, para acompanhar, para enriquecer o desenvolvimento do processo de ensino e de aprendizagem da Física escolar. (BRASIL, 2011, p. 7)

Com isso, nota-se ser importante, para o Governo Federal, a disponibilização de material didático de qualidade para o ensino médio.

No processo de avaliação das obras inscritas no programa, são analisados mais do que aspectos gráficos ou editoriais, o PNLEM busca agora “coerência e adequação da abordagem teórico-metodológica assumida pela obra, no que diz respeito à proposta didático-pedagógica explicitada e aos objetivos visados” (Ibid. p. 12). Além disso, são feitas exigências acerca de “critérios [...] específicos para o componente curricular Física” (Ibid. p. 15). Tal fato vai ao encontro dos anseios de Megid Neto e de Hilário Fracalanza, que notaram a carência de critérios específicos do ensino de ciências em outras edições do Guia (MEGID NETO; FRACALANZA, 2006).

Apesar de representar apenas uma etapa do processo de mudança no contexto ensino-aprendizagem escolar, a reelaboração do material didático, no sentido de valorizar a aprendizagem significativa, é de fundamental importância na ruptura do paradigma do ensino tradicional. Mesmo que isso não provoque uma alteração imediata na postura do professor, a leitura de um texto que motive a compreensão dos significados das grandezas, dos conceitos, das preposições e dos fenômenos físicos pode estimular uma mudança na postura do aluno quanto à própria aprendizagem. Com isso, a investigação de estratégias didático-pedagógicas na conjuntura da abordagem dos conteúdos, baseadas em uma teoria de educação contemporânea, tem o potencial de impulsionar essa alteração do contexto da aprendizagem.

Considerando-se o que fora exposto acerca do livro didático, será apresentada, no capítulo seguinte, a teoria do Construtivismo Humano, como referencial para que se observe a exposição do conteúdo energia nesses livros. Tal teoria sugere que essa abordagem do conteúdo deve respeitar princípios relacionados à Aprendizagem Significativa. Nesse sentido, o próximo capítulo irá tratar do evento educativo segundo o Construtivismo Humano e da teoria da Aprendizagem Significativa a fim de relacioná-los aos materiais de instrução.

3 O CONSTRUTIVISMO HUMANO COMO REFERENCIAL PARA ANALISAR A APRESENTAÇÃO DOS CONCEITOS NOS LIVROS DIDÁTICOS

No processo de produção de um texto didático de ciências, além de serem averiguados os objetivos presentes no processo de instrução, é também necessário que se observem as relações hierárquicas entre os conceitos, bem como as possíveis estratégias que visem à incorporação do conteúdo de forma significativa (não apenas arbitrária) à estrutura cognitiva do leitor.

O conhecimento científico, legitimado academicamente, é potencialmente significativo. Contudo, a interação do sujeito cognoscente com esse conhecimento pode resultar em memorização literal (com poucas reflexões acerca dos significados envolvidos nas proposições) ou em aprendizagem significativa, proporcionando a ele relacionar o conhecimento assimilado a conceitos posteriormente a ele apresentados.

Nesse sentido, a fim de nortear as reflexões conceituais no contexto do processo ensino-aprendizagem, optou-se pela teoria educacional de Novak (2000), o Construtivismo Humano. No âmbito do ensino de Física, tal escolha foi feita porque o teórico defende

[...] uma visão de ciência que reconheça um mundo externo cognoscível, mas que dependa em grande parte de uma luta intelectualmente exigente para construir heurísticamente explicações fortes, através de largos períodos de interação com os objectos, factos e outros indivíduos. Na sua forma mais simples, acredita que os seres humanos são criadores de significados, que o objectivo da educação é construir significados partilhados e que este objectivo pode ser facilitado através da intervenção activa de professores bem preparados. (MINTZES; WANDERSEE; NOVAK, 2000, p. 17)

Além disso, para Novak, o conhecimento é composto de fatos, que representam registros válidos de objetos ou acontecimentos; de conceitos, constituindo “uma regularidade percebida em acontecimentos ou objectos, ou registros de acontecimentos ou objectos, designada por um rótulo” (NOVAK, 2000, p. 22); e de princípios, que relacionam conceitos. Assim, a observação de regularidades no comportamento da natureza, sendo registrada de forma válida, pode promover a construção de um conceito ou de uma proposição.

A teoria de educação proposta por esse autor reconhece a Aprendizagem Significativa de Ausubel (2003) como um conceito subjacente à integração construtiva do pensamento. Novak enumera algumas vantagens a respeito:

Em primeiro lugar, os conhecimentos adquiridos significativamente ficam retidos por mais tempo [...]. A segunda vantagem é que as informações subsumidas

resultam num aumento da diferenciação dos subsunçores, aumentando, assim, a capacidade de uma maior facilitação da subsequente aprendizagem dos materiais relacionados. Em terceiro lugar, as informações que não são recordadas, após ter ocorrido a subsunção obliteradora, ainda deixam um efeito residual no conceito de subsunção e, na verdade, em todo o quadro de conceitos relacionados [...]. A quarta e, talvez mais importante, vantagem é que as informações apreendidas significativas podem ser aplicadas numa enorme variedade de novos problemas ou contextos [...]. (Ibid., p. 61)

Note-se ainda que a teoria de Ausubel defende a eficácia e a necessidade do ensino expositivo e receptivo nas escolas, desde que vise a estratégias que tenham como objetivo a aprendizagem significativa, em oposição à memorização literal:

Também contrariamente a convicções expressas em muitos âmbitos educacionais, a aprendizagem por recepção verbal não é necessariamente memorizada ou passiva (tal como o é frequentemente na prática educacional corrente), desde que se utilizem métodos de ensino expositivos baseados na natureza, condições e considerações de desenvolvimento que caracterizam a aprendizagem por recepção significativa. Além disso, [...] a aprendizagem pela descoberta também pode ser – e, geralmente, na maioria das salas de aula é – de natureza memorizada, pois não se adapta às condições da aprendizagem significativa. (AUSUBEL, 2003, p. 5)

Por isso, as ideias desses teóricos vão ao encontro das necessidades da realidade vivenciada nas escolas. Tal consideração é feita porque, através do quadro teórico proposto, a aula expositiva – modelo comum na maioria das escolas brasileiras – não precisa ser extinta, mas sim modificada, a fim de atender à demanda por aprendizagem com significado. Nesse sentido, uma metodologia eficaz na construção de textos com finalidade didática torna-se imprescindível na busca pela aprendizagem significativa, haja vista serem os livros didáticos os principais referenciais do conhecimento científico e do processo de aprendizagem em sala de aula.

3.1 O evento educativo segundo o Construtivismo Humano

Segundo Novak, um evento educativo envolve cinco elementos básicos: aprendizagem, na figura do aluno; ensino, orientado pelo professor; conhecimento, representando as concepções aceitas e legitimadas pela comunidade científica; contexto, representando a conjuntura sócio-político-econômico-intelectual do processo; e avaliação, inevitável nos mais diversos contextos da interação social e, no âmbito educacional, necessária para ajustar o processo, para que sejam atingidos os objetivos educacionais.

Quando um aluno é sujeito a uma experiência, o pensamento, o sentimento e a ação dele no contexto desse evento serão os responsáveis por dar significado a essa experiência:

Uma educação bem sucedida deve concentrar-se em muito mais do que no pensamento do formando. Os sentimentos e ações também são importantes. Devem considerar-se as três formas de aprendizagem que são: aquisição de conhecimento (aprendizagem cognitiva), alterações das emoções ou sentimentos (aprendizagem afectiva) e aumento das ações físicas ou motoras ou do desempenho (aprendizagem psicomotora), que melhoram a capacidade das pessoas tirarem sentido de suas experiências. Uma experiência educacional positiva aumenta a capacidade das pessoas pensarem, sentirem e/ou agirem em experiências posteriores. Uma experiência educacional deficiente diminui esta capacidade. (NOVAK, 2000, p. 9)

No sentido de considerar as experiências afetivas dos alunos, Novak sugere, a fim de estimular sentimentos positivos no contexto do ensino-aprendizagem, enfatizar a aprendizagem significativa segundo Ausubel (2003), que será abordada a seguir.

3.2 Aprendizagem Significativa

Para Ausubel,

A essência do processo de aprendizagem significativa, tal como já se verificou, consiste no facto de que novas ideias expressas de forma simbólica (a tarefa de aprendizagem) se relacionam àquilo que o aprendiz já sabe (a estrutura cognitiva deste numa determinada área de matérias), de forma não arbitrária e não literal, e que o produto desta interacção activa e integradora é o surgimento de um novo significado, que reflecte a natureza substantiva e denotativa deste produto interactivo. Ou seja, o material de instrução relaciona-se quer a algum aspecto ou conteúdo *existente especificamente relevante* da estrutura cognitiva do aprendiz, i.e., a uma imagem, um símbolo já significativo, um conceito ou uma proposição, quer a algumas ideias anteriores, de carácter menos específico, mas geralmente relevantes, existentes na estrutura de conhecimentos do mesmo. (AUSUBEL, 2003, p. 73, grifos do autor)

Por esse motivo, o autor defende que o material instrucional respeite o princípio da “diferenciação progressiva”, que consiste em adotar uma sequência de abordagem do assunto apresentando primeiramente os conceitos mais gerais e inclusivos, a fim de, progressivamente, proporcionar às novas ideias (mais específicas) ancorarem-se nesses conceitos mais abstratos, diferenciando-os (como, por exemplo, o conceito de interação gravitacional diferenciando o conceito de força).

Dessa forma, o novo conceito, caso o aluno predisponha-se à aprendizagem significativa, poderá ser incorporado de forma substantiva, não literal à estrutura cognitiva do

estudante, proporcionando a ele compartilhar os significados da estrutura conceitual academicamente legitimada, através da intervenção do professor (ou do material didático) preparado para tal.

Parte do processo de “diferenciação progressiva” corresponde ao que Ausubel (2003) chama de “reconciliação integradora”, através da qual o sujeito cognoscente é capaz de fazer novas conexões entre os elementos de sua estrutura cognitiva, podendo delinear explicitamente as semelhanças e as diferenças entre os conceitos:

Os alunos que aprendem significativamente começam a formular (...) conexões-cruzadas entre conceitos relacionados e acabam por desenvolver estruturas de conhecimento bem integradas e muito coesas, que lhes permite fazer o tipo de raciocínio inferencial e analógico, exigido para ter êxito nas ciências naturais (MINTZES; WANDERSEE, 2000, p. 52)

Uma estratégia utilizada com o fim de proporcionar essa diferenciação é o “organizador avançado” (AUSUBEL, 2003) ou “organizador prévio” (MOREIRA, 2006). Ausubel os caracteriza como

[...] mecanismos pedagógicos que ajudam a implementar os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora, estabelecendo a ligação entre o que o *aprendiz* já sabe e o que *precisa* de saber, caso pretenda apreender e reter, de forma eficaz, novos materiais de instrução. Em termos operacionais, definem-se os organizadores como introduções relativamente breves, que diferem em termos de visão geral e previsão, na medida em que as ideias que contêm (1) são quer mais abstractas, inclusivas e gerais do que o material de aprendizagem mais detalhado que as precede, (2) quer mais relacionais e explicativas do que as ideias relevantes existentes, já presentes na estrutura cognitiva. Como é óbvio, o último critério é necessário, caso se pretenda que o próprio organizador seja passível de aprendizagem. (AUSUBEL, 2003, p. 151, grifos do autor)

Por outro lado, é importante atentar para o fato de que os organizadores avançados não são constituídos de resumo do que será abordado. Ao contrário disso, esses organizadores devem conter conceitos mais gerais, sobre os quais serão ancorados os conceitos mais específicos que devem dar sequência ao processo de ensino-aprendizagem.

Nesse sentido, para Novak, é fundamental que se reflita, na concepção curricular, sobre a estrutura de proposições que relaciona os conceitos:

[...] uma boa concepção curricular exige, em primeiro lugar, uma análise dos conceitos numa das áreas do conhecimento e, depois, uma apreciação de algumas relações entre estes conceitos, que podem servir para ilustrar quais são os conceitos mais gerais e superordenados, e quais os mais específicos e subordinados. Uma das razões por que a instrução escolar e a dos programas de formação empresarial têm sido pouco eficazes, é que os autores dos currículos raramente escolhem os

conceitos que esperam ensinar e, ainda mais raramente, tentam procurar relações hierárquicas possíveis entre estes conceitos. (NOVAK, 2000, p. 63)

Considerando os mencionados princípios que constam na teoria de Novak, é possível observar criticamente o livro didático, analisando-o segundo a organização sequencial, bem como segundo o tipo de aprendizagem que ele favorece: mecânica ou significativa. Assim, um material didático de qualidade deve ter a preocupação de considerar aquilo que o aluno já sabe, a fim de proporcionar a possibilidade de relacionar os novos conhecimentos de forma substantiva e não literal àquilo que ele já conhece. Caso essa estratégia não seja pensada, restará ao educando apenas memorizar literalmente o que fora apresentado. Acrescente-se ainda que, segundo Ausubel (2003), para ocorrer aprendizagem significativa, o material produzido tem de ser potencialmente significativo para o aluno, ou seja, deve apresentar significado lógico e ter potencialidade de ser incorporado de forma não arbitrária à estrutura cognitiva preexistente dele.

Outro fator importante nessa discussão é que, devido às suas experiências relevantes no decorrer de sua vida, o aluno constrói relações significativas baseadas em sua observação através diretamente dos sentidos. Com efeito, essas concepções são muito estáveis, dificilmente modificáveis e, portanto, devem ser exploradas e discutidas até que o sujeito cognoscente seja capaz de compreender as limitações presentes em suas ideias originais. Caso contrário, poderá conviver com duas concepções em paralelo em sua estrutura cognitiva, de tal forma que escolherá uma ou outra dependendo do contexto em que está inserido. No âmbito da prova, poderá ser selecionada a concepção abordada em sala; contudo, na conjuntura cotidiana, é possível que o aluno continue fazendo uso daquela concepção equivocada. Por esse motivo, reforça-se a importância de ressaltar as inconsistências presentes nesses modelos alternativos.

Por tudo o que fora apresentado, o livro didático deve considerar as pesquisas feitas acerca das concepções alternativas, buscando sempre discutir as inconsistências presentes nelas. Além disso, prevendo a diversidade de leitores que terão contato com o livro, deve considerar a utilização de organizadores avançados (também conhecidos como organizadores prévios), cujos objetivos são “identificar o conteúdo relevante na estrutura cognitiva e explicitar a relevância desse conteúdo para a aprendizagem do novo material” (MOREIRA, 2006, p.137), motivando essa aprendizagem, proporcionando sentimentos positivos; “dar uma visão geral do material em um nível mais alto de abstração, salientando as relações importantes” (MOREIRA, 2006, p.137), tomando o cuidado de não representar

apenas um resumo de variados tópicos que serão apresentados, haja vista que “são destinados a facilitar a aprendizagem significativa de tópicos específicos, ou de série de ideias estreitamente relacionadas” (MOREIRA, 2006, p.141); “prover elementos organizacionais inclusivos que levem em consideração, mais eficientemente, e ponham em melhor destaque, o conteúdo específico do novo material” (MOREIRA, 2006, p.137), assim possibilitando estabelecer conceitos subsunsores, mesmo que provisórios e não muito estáveis, podendo, através da reconciliação integradora, constituírem-se em conceitos relevantes.

3.2.1 A interação dos conhecimentos prévios com as novas informações segundo Ausubel

Para Ausubel, “os novos significados são produtos interativos de um processo de aprendizagem significativa, no qual novas ideias se relacionam e interagem com ideias relevantes da estrutura cognitiva já existente” (2003, p. 76). Tais interações podem ser descritas pelo “Princípio de Assimilação”.

Segundo esse princípio, quando se é apresentado a uma nova ideia a , esta deve interagir de forma significativa com uma ideia relevante A presente na estrutura cognitiva do sujeito. Nesse processo, a é assimilada a A . Com isso, ambas se alteram de alguma forma no que o autor chama de produto interativo $A'a'$. Assim, elabora-se um novo significado idiossincrático a' para a nova ideia, e modifica-se o conceito associado à ideia relevante prévia, resultando em A' .

Durante esse processo, por algum tempo, o sujeito é capaz de dissociar as ideias componentes do produto interacional. Contudo, após esse tempo, elas se tornam menos dissociáveis, culminando com o estágio chamado “assimilação obliteradora”, no qual $A'a'$ pode ser reduzido a A' na estrutura cognitiva. Apesar disso, o subsunçor A adquiriu significados adicionais em A' quando comparado à forma original A .

Quanto aos processos de aprendizagem significativa, distinguem-se: **representacional**, envolvendo “a atribuição de significados a determinados símbolos (tipicamente palavras), isto é, a identificação, em significado, de símbolos com seus referentes (objetos, eventos, conceitos)” (MOREIRA, 2006, p. 25); **conceitual**, em que se compreendem conceitos como “objetos, acontecimentos, situações ou propriedades que possuem atributos específicos comuns e são designados pelo mesmo signo ou símbolo” (AUSUBEL, 2003, p. 2); e **proposicional** referindo-se a aprendizagem do significado de ideias na forma de proposição.

Para Moreira (2006), na aprendizagem proposicional, o objetivo “não é aprender o significado dos conceitos (embora seja um pré-requisito) e, sim, o significado das ideias expressas verbalmente, por meio de conceitos, na forma de proposição” (p. 27).

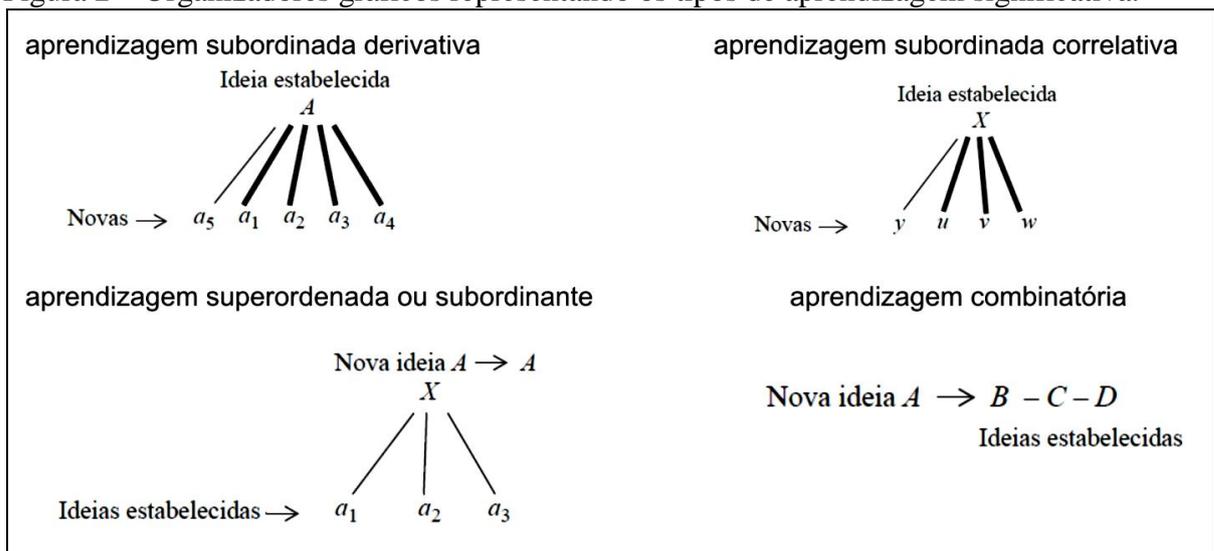
Ressalte-se ainda que as aprendizagens conceitual e proposicional podem ocorrer de três formas distintas:

[...] **subordinada**, quando o novo conceito ou proposição é assimilado por conceitos ou proposições superordenados específicos, existentes na estrutura cognitiva; **superordenada** [ou subordinante], quando o novo conceito ou proposição emerge do relacionamento de significados de ideias preexistentes na estrutura cognitiva e passa a assimilá-las; **combinatória**, quando a nova informação não se relaciona especificamente a ideias subordinadas ou superordenadas, e sim, de maneira geral, com um conteúdo amplo relevante (MOREIRA, 2002, p. 39)

Além disso, no âmbito da aprendizagem subordinada, observam-se duas possibilidades: caso a nova informação represente apenas mais uma extensão da ideia geral (ideia superordenada) já estabelecida, o processo é chamado **subsunção derivativa**; caso represente alteração ou qualificação da ideia superordenada estabelecida, trata-se de **subsunção correlativa**.

Com a finalidade de proporcionar a reconciliação integradora dos conceitos mencionados, sugere-se a observação dos organizadores gráficos da Figura 2:

Figura 2 – Organizadores gráficos representando os tipos de aprendizagem significativa.



Fonte: Ausubel, 2002, p. 111.

De acordo com a representação proposta na Figura 2, na aprendizagem subordinada derivativa, a nova ideia, a_5 representa mais uma extensão do conceito

superordenado A; na aprendizagem subordinada correlativa, a nova ideia, y, altera ou qualifica o conceito já estabelecido X; na aprendizagem superordenada ou subordinante, a nova ideia, X, é mais geral e surge do relacionamento das ideias a_1 , a_2 e a_3 , já estabelecidas na estrutura cognitiva; na aprendizagem combinatória, a nova ideia A está relacionada às ideias preestabelecidas B, C e D de maneira geral, haja vista não serem estas subordinadas ou superordenadas em relação àquela.

É fundamental, nesse ponto observar que Ausubel, com sua teoria acerca de aquisição e retenção de conhecimentos buscou

[...] apresentar uma teoria polivalente da forma como os seres humanos apreendem e retêm grandes conjuntos de matérias organizadas na sala de aula e em ambientes de aprendizagem semelhantes. O âmbito do mesmo limita-se à aprendizagem por ‘recepção’ e à retenção de materiais de instrução potencialmente significativos. A aprendizagem por ‘recepção’ refere-se à situação em que o conteúdo total da tarefa de aprendizagem (aquilo que se está por aprender) se apresenta ao aprendiz, em vez de este a descobrir de forma independente. Ou seja, apenas se exige ao aprendiz que compreenda o material de modo significativo, o incorpore (interiorize) e o torne disponível ou funcionalmente reproduzível para utilização futura. (2003, p. 21).

Além disso, Novak reforça a ideia de Ausubel indicar

[...] o papel da recepção ou do ensino expositivo nas escolas como necessário e eficaz, indicando algumas abordagens de instrução e de aprendizagem que poderiam passar a aprendizagem escolar de predominantemente memorizada para predominantemente significativa. (Novak, 2000, p. 58)

Portanto, uma reformulação na postura didática dos professores e na exposição do conteúdo nos livros didáticos torna-se fundamental para efetivar essa nova forma de conceber a partilha de conhecimentos no contexto da sala de aula. A fim de se observarem o conteúdo e a abordagem presente nos livros didáticos mencionados anteriormente, tomou-se como referência a Teoria de Educação proposta por Novak, a qual traz de forma subjacente a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, haja vista o uso do livro didático centrar-se no contexto da sala de aula.

3.3 Os organizadores gráficos segundo a teoria do Construtivismo Humano

Segundo Jonassen, Beissner e Yacci (1993) *apud* Trowbridge e Wandersee (2000, p. 101), os organizadores gráficos “podem ser definidos como representações visuais que são acrescentadas aos materiais instrucionais para transmitir suas estruturas lógicas”. Nesse

contexto, há três ferramentas utilizadas no âmbito da teoria de Ausubel para o ensino de ciências: círculo de conceitos, vê de Gowin e mapa de conceitos, que serão apresentados em seguida.

Esses organizadores gráficos podem ser utilizados para tornar mais clara as relações entre os conceitos. A exposição das relações entre os conceitos através do uso de organizadores gráficos tem potencial para utilização tanto por parte do professor para estruturar currículo, para expor conteúdo didático, para avaliação de aprendizagem, quanto por parte dos alunos, para organizar o material de estudo e para proporcionar a busca por relações significativas entre os conceitos estudados.

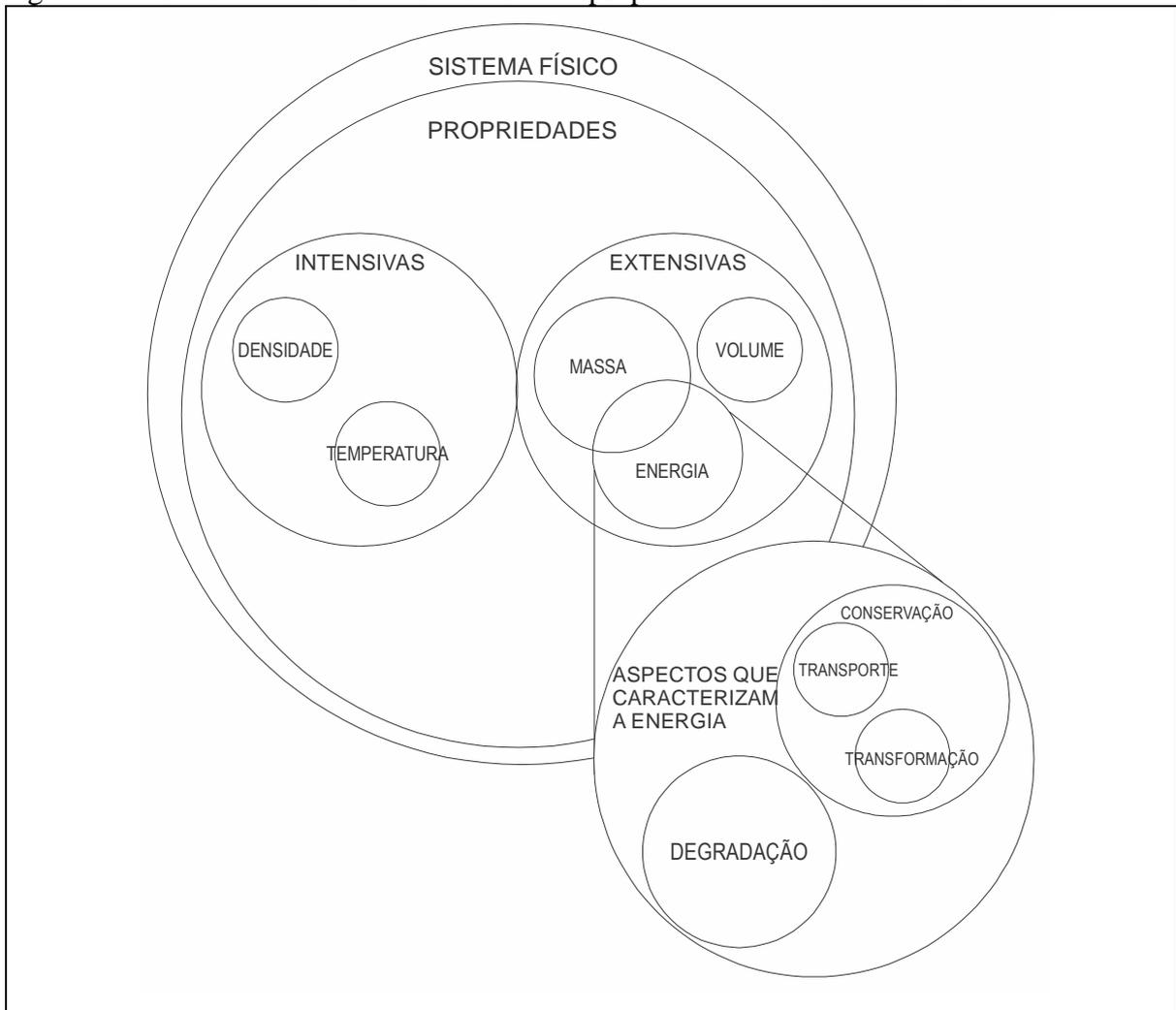
3.3.1 Círculos de conceitos

Os círculos de conceitos constituem uma ferramenta metacognitiva desenvolvida por Wandersee, segundo o qual:

[...] centram-se no uso de diagramas construídos pelos próprios, para ajudar o processo de reflexão na construção do conhecimento e a restauração do conhecimento pessoal. Ao usar parâmetros fisiológicos e psicológicos da aprendizagem e percepção visual (por exemplo, o campo da visão humana é quase circular), podem ser construídos um conjunto de círculos rotulados isomorficamente, para demonstrar a estrutura de uma determinada porção do conhecimento. [...] O limite de cinco círculos para cada diagrama circular é baseado na capacidade da unidade (7 mais ou menos 2) da memória de curto prazo. A concepção dos círculos de conceitos é baseada na teoria da aprendizagem de Ausubel, e os diagramas permitem ao aluno interrelacionar visualmente um pequeno conjunto de conceitos (TROWBRIDGE, WANDERSEE; 2000, p. 112).

Defende-se a utilidade dessa ferramenta para avaliar o conhecimento anterior dos alunos, revelando concepções alternativas, permitindo o ajuste do processo educacional. Em virtude da simplicidade dessa ferramenta, seu uso não carece de extensas explicações para os alunos. A Figura 3 exemplifica o uso no contexto do conceito de energia. As relações conceituais envolvidas neste círculo serão abordadas no capítulo 4.

Figura 3 – Círculo de conceitos envolvendo as propriedades de um sistema físico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Com a finalidade de auxiliar a construção desses organizadores gráficos, Wandersee sugere algumas regras e procedimentos, relacionados no ANEXO A. Ressalte-se que se trata de sugestões, não sendo necessário que se utilizem todos os artifícios gráficos para obter-se um círculo de conceitos capaz de ajudar o processo de reflexão na construção do conhecimento ou a reestruturação do conhecimento pessoal.

3.3.2 Vê de Gowin

O Vê de Gowin é conhecido também como Vê epistemológico de Gowin ou simplesmente como diagrama em Vê. Segundo Trowbridge e Wandersee (2000, p. 113), “este gráfico permite visualizar atividades científicas reais à medida que vai dos fenômenos à

recolha de dados, à transformação destes, aos juízos cognitivos e aos juízos de valor, enquanto um projeto de investigação está a ser planeado ou completado”.

Segundo Gowin (1981) *apud* Moreira (2006, p. 97),

O processo de pesquisa pode ser visto como uma estrutura de significados. Os elementos dessa estrutura são eventos, fatos e conceitos. O que a pesquisa faz através de suas ações é estabelecer conexões específicas entre um dado evento, os registros feitos desse evento, os julgamentos fatuais derivados desses registros, os conceitos que focalizam regularidades nos eventos e os sistemas conceituais utilizados para interpretar esses julgamentos a fim de se chegar à explanação do evento. Criar essa estrutura de significados em uma certa investigação é ter feito uma pesquisa coerente.

Para Gowin, uma pesquisa envolve questões-foco, que pedem respostas. Tais questões surgem através da observação de eventos ou de objetos. O estudo desses eventos ou objetos deve levar à resposta às questões-foco, através de fundamentação teórico-conceitual (referente ao domínio conceitual) e metodológica (referente ao domínio metodológico, relacionado aos julgamentos fatuais).

Para ilustrar de forma objetiva as relações entre esses domínios, o autor propõe a construção de um diagrama em que, no centro, encontrem-se as questões-foco (no topo) e os eventos ou objetos (na base). Ao lado esquerdo, propõe-se relacionar os aspectos ligados ao domínio teórico-conceitual, tais como: **visão de mundo**, representando a convicção geral motivadora da pesquisa; **filosofia**, representando as convicções sobre a natureza do conhecimento que guiam a pesquisa; **teoria**, representando os princípios gerais que irão orientar o inquérito e que explicam como os objetos ou os acontecimentos são observados; **princípios**, representando as afirmações que relacionam os conceitos e preveem como os acontecimentos poderão ocorrer ou como os objetos poderão se comportar; **constructos**, representando ideias que relacionam especificamente os conceitos; **conceitos**, representando regularidades apreendidas em acontecimentos ou objetos, designadas por uma palavra-chave (NOVAK, 2000). A construção espacial desse organizador gráfico encontra-se exemplificada na Figura 4.

Figura 4 – Estrutura do Vê de Gowin.



Fonte: Novak (2000, p. 81).

Para Gowin,

Toda pesquisa é influenciada pelas concepções dos pesquisadores, pelas “viseiras conceituais” pelas quais eles veem seu trabalho. Suas filosofias, teorias e perspectivas os levam a formular certas perguntas, a planejar certos eventos que eles pensam que fornecerão respostas e a interpretar os dados de certa maneira. Logo, o lado esquerdo do Vê contém importantes, e às vezes negligenciados, componentes da pesquisa. O Vê desafia os pesquisadores a serem mais explícitos e cômicos sobre o papel que suas visões de mundo desempenham em suas pesquisas, forçando-os a realmente pensar sobre suas filosofias, teorias, princípios e conceitos que estão guiando sua investigação (GOWIN, 1994 *apud* MOREIRA, 2006, p. 129).

Com isso, fica explícito o fato de que a construção do conhecimento científico envolve aspectos subjetivos, evidenciados na pessoa do pesquisador. Portanto, a fim de validar e de embasar o resultado de sua pesquisa, ele tem de deixar explícitas suas influências teóricas e conceituais.

Do lado direito do diagrama, devem-se encontrar aspectos ligados ao método empregado no inquérito, envolvendo: **registros**, representando as observações feitas e registradas a partir dos eventos ou dos objetos estudados; **transformações**, representando as formas como foram organizados os registros, tais como tabelas, gráficos e mapas conceituais; **asserções cognitivas**, representando as declarações que respondem às questões-foco e que são interpretações razoáveis dos registros e das transformações; **asserções de valor**, representando declarações baseadas nas asserções cognitivas declarando o valor ou a importância da pesquisa. (NOVAK, 2000)

Gowin ressalta ainda que

Muitos pesquisadores concentram-se nas asserções de conhecimento (ou seja, naquilo que os resultados significam, no conhecimento produzido) sem dar atenção às asserções de valor (isto é, o valor do estudo feito) que deveriam ter sido feitas sobre, ou que deveriam ter sido levadas em conta antes de, sua pesquisa. A inclusão dessa categoria no lado direito do Vê reflete a visão de seu criador sobre o conhecimento – trata-se de uma construção humana – e no processo de construí-lo por meio da pesquisa não há como deixar de perguntar: “Para que serve?” e “A quem importa?” Alguns pesquisadores pretendem evitar tais questões dizendo que estão fazendo pesquisa objetiva básica e que tais indagações não se aplicam. Mas o Vê sugere que respostas a essas perguntas devem ser uma parte importante de qualquer pesquisa (GOWIN 1994 *apud* MOREIRA, 2006, p. 130).

Novak (2000) ressalta ainda que, para melhorar os processos educativos, é preciso, além de aprender a forma como o ser humano aprende, conhecer como o ser humano cria os conhecimentos. Nesse contexto, o diagrama em Vê, segundo Novak (2000) e Moreira (2006), auxilia no processo de “desempacotar” o conhecimento, como ferramenta em nos contextos de análise de currículo, de avaliação de aprendizagem e de ensino-aprendizagem.

Para Gowin (1981 *apud* MOREIRA 2006, p. 100), currículo é “um conjunto logicamente conectado de asserções de conhecimento e de valor analisadas conceitual e pedagogicamente”. Tais asserções podem ser encontradas em fontes primárias de conhecimento, nas quais são documentadas, como, por exemplo, “artigos de pesquisa, ensaios, capítulos de livros, experimentos de laboratório, poesias e romances” (*idem*, p. 101). Visando à adequação ao processo educacional no contexto da escola, para Gowin, esses materiais precisam ser analisados conceitualmente. Para tal, propõe que o diagrama em Vê

seja utilizado. Gowin (1994 *apud* MOREIRA 2006, p. 132) mostra uma estratégia para que se ensine a utilizar diagramas em Vê, presente no ANEXO B.

3.3.3 Os mapas conceituais

Trowbridge e Wandersee (2000, p. 116) descrevem mapas conceituais como

[...] representações a duas dimensões de um conjunto de conceitos. Os conceitos são ordenados hierarquicamente com um conceito superordenado, no topo. Os conceitos são ligados por linhas legendadas com palavras de ligação, que formam as proposições unificadoras dos conceitos. Existem ligações cruzadas unidas por linhas ponteadas (por convenção), que estabelecem a ponte entre os ramos do mapa para criarem proposições novas e perspicazes. Um mapa de conceitos deve ser fundamentado com exemplos – de preferência exemplos novos, fornecidos por quem cria o mapa.

Portanto, um mapa conceitual é capaz de representar uma organização conceitual de um corpo de conhecimentos. Ressalte-se que, para um dado conjunto de conceitos, há uma infinidade de relações corretas que se podem estabelecer. Por isso, deve-se frisar que não existe “o” mapa conceitual que represente essas relações, mas sempre “um” mapa, que reflete aspectos subjetivos de quem o cria. Note-se ainda que essa criação pode ser individual ou coletiva, proporcionando a negociação dos significados construídos à medida que se constrói o mapa. Um exemplo de mapa conceitual encontra-se na Figura 5.

Quando um aluno constrói um mapa conceitual, é capaz de representar como estão organizadas, em sua estrutura cognitiva, as relações entre os conceitos que conhece. Nesse sentido, é possível fazer uso dos mapas para investigar que concepções os alunos apresentam acerca de um conhecimento, a fim de que seja norteado o processo educacional, haja vista que, segundo Ausubel (2003), o fator mais importante para a aprendizagem de novos conhecimentos é aquilo que o sujeito já conhece. Após os eventos educativos, é possível utilizar a construção de novos mapas, com a finalidade de avaliar os novos conhecimentos construídos idiossincraticamente.

3.4 O Construtivismo Humano de Novak e os materiais de instrução

Para Novak (1977), excetuando-se o caso das crianças que ainda não sabem ler, os materiais impressos têm sido e provavelmente continuarão a ser a mais importante ferramenta educacional. Atualmente, é possível acrescentar as mídias eletrônicas, capazes tanto de apresentar o conteúdo de forma semelhante à do material impresso, quanto de apresentar animações, vídeos e estruturas não lineares de apresentação através da disposição dos *links*.

Segundo Ausubel (2003, p. 80):

A maioria dos manuais está organizada topicamente (logicamente), a um nível uniforme de conceptualização, apesar do facto vulgarmente observado de que, em termos psicológicos, a ordem pela qual se adquirem os diferentes segmentos do conhecimento numa determinada disciplina é, geralmente, congruente com o princípio da diferenciação progressiva. [...] Como resultado, na ausência de conceitos e de princípios explicativos disponíveis, grande parte das informações factuais e de manipulação simbólica é aprendida por memorização.

Nesse sentido, os livros didáticos devem abordar os conteúdos de forma a facilitar a ancoragem dos conceitos mais específicos aos mais gerais, a fim de objetivarem a aprendizagem significativa conforme os moldes de Ausubel. Caso o material didático introduza o estudo a partir dos conceitos mais gerais e mais inclusivos, é possível abordar os conhecimentos específicos dando-lhes significado, não apenas os apresentando para memorização.

Por outro lado, caso se opte pela apresentação dos conceitos mais específicos em primeiro lugar, é possível promover a aprendizagem significativa em um momento posterior através da reconciliação integradora. Nesse processo, é possível ressaltar a relação entre os conceitos mais específicos e os mais gerais. Contudo, deixar para o aluno essa formulação da relação “de baixo para cima” da hierarquia conceitual pode fazer com que, uma vez que não se observem as relações significativas, restrinja-se apenas à memorização literal.

Assim, de acordo com a teoria do Construtivismo Humano, há estratégias capazes de facilitar a aprendizagem significativa dos conceitos. Por isso, é necessário que os materiais de instrução estejam preocupados com a sequência em que se apresentam tais conceitos, bem como, com as relações que são propostas entre eles, de forma que se possa evitar a assimilação arbitrária, com pouco significado. Para tanto, devem ser observados os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora no processo de ensino e, portanto, também no livro didático.

A fim de construir um referencial para a análise da abordagem conceitual de energia nos livros didáticos, que esteja de acordo com as teorias do Construtivismo Humano e da Aprendizagem Significativa, foi feito o estudo apresentado no capítulo seguinte. Nele são abordadas as relações entre energia e conceitos correlatos, bem como são apresentadas algumas concepções alternativas.

4 O CONCEITO ENERGIA E SUAS RELAÇÕES COM OS DEMAIS CONCEITOS FÍSICOS

Neste capítulo, pretende-se fazer uma análise curricular acerca do conceito energia. Para tanto, serão buscadas relações hierárquicas entre esse conceito e os demais que com ele se relacionam de forma significativa. A respeito desse tipo de análise, segundo Novak,

A teoria de Ausubel da aprendizagem humana tem valor heurístico não só para aprofundar a investigação de mecanismos de aprendizagem como eles operam em sala de aula, mas também para orientar o desenvolvimento do currículo escolar, o delineamento instrucional, e as práticas de avaliação⁵ (1977, p. 137, tradução nossa).

Portanto, a análise proposta será feita a partir dos pressupostos dessa teoria. Para tal, Novak indica que “pode ser bom começar com os conceitos mais gerais, mas é preciso ilustrar logo como conceitos subordinados estão relacionados, e então retornar, através de exemplificações, para novos significados para os conceitos de ordem superior”⁶ (1977, p. 91, tradução nossa). Nesse movimento de “sobe e desce” na estrutura hierárquica conceitual, objetiva-se proporcionar a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora.

No tocante ao conceito energia, segundo o que fora exposto, é preciso subordiná-lo ao conceito propriedade extensiva de um sistema. Então, ele deve ser logo relacionado a seus princípios básicos, conservação e degradação, para então mover aos mais específicos: trabalho, calor, formas de manifestação da energia; retornando para os conceitos superordenados, buscando relações significativas.

Para Moreira (2006), os mapas conceituais de Novak podem auxiliar na identificação das relações entre os conceitos na análise do currículo. Portanto, foram analisadas primeiramente as relações conceituais de acordo com Duit e Haeussler (1994) para que, finalmente, fosse delineado um mapa conceitual de acordo com a teoria da aprendizagem de Ausubel.

⁵ “Ausubel’s theory of human learning has heuristic value not only for further research in learning mechanisms as they operate in the classroom but also for guiding school curriculum development, instructional design, and evaluation practices” (NOVAK, 1977, p. 137)

⁶ “we might do well to start with the most general concepts, but we need to illustrate early how subordinate concepts are related, and then move back through examples to new meanings for higher order concepts” (NOVAK, 1977, p. 91)

4.1 Sistema físico: um conceito superordenado

A energia constitui uma propriedade de um sistema físico. Portanto, para compreendê-la de forma significativa, é importante ter, como conhecimento relevante, o conceito de sistema físico.

Em Física, considera-se um sistema uma porção do universo delimitada por uma fronteira, que a separa de sua vizinhança (SERWAY; JEWETT JR, 2012). Tal separação é importante quando se deseja analisar propriedades desse sistema, ou seja, características capazes de descrevê-lo. Note-se ainda que essa fronteira pode ser real (como um recipiente delimitando seu conteúdo) ou meramente imaginária, cabendo ao observador escolhê-la de forma conveniente à análise dos fenômenos.

As propriedades de um sistema constituem grandezas físicas capazes de descrever o estado do sistema. São exemplos de propriedades de um sistema físico: massa, volume, densidade, energia, temperatura, quantidade de movimento (momento linear), entropia, entre outras. Essas propriedades podem ser classificadas como extensivas ou intensivas.

Propriedade extensiva é aquela cujo valor depende da extensão do sistema. Assim, caso ele seja subdividido real ou imaginariamente, o valor dessa propriedade é dado pela soma dos valores referentes aos subsistemas. São exemplos desse tipo de propriedade massa, volume, energia e entropia. Por outro lado, quando a propriedade é intensiva, seu valor independe da extensão do sistema, como acontece, por exemplo, com temperatura e densidade, não sendo possível verificar ser o valor total equivalente à soma das partes.

As propriedades existem em função do estado desse sistema, o qual se relaciona à disposição espacial de seus constituintes (envolvendo as interações entre eles) e à rapidez de seus movimentos (considerando também suas inércias ou massas). Além disso, o valor de uma função de estado depende apenas da apresentação no instante considerado, independente do histórico. Em outras palavras, o valor de uma propriedade que é função de estado não depende de como o sistema chegou ao estado considerado.

Uma vez que sejam feitas as considerações acerca do que é um sistema e do que representam suas propriedades, é possível posicionar o conceito energia como uma propriedade extensiva de um sistema, que caracteriza seu estado. Dessa forma, o estudo da energia terá significado ao analisar as transformações que envolvem as mudanças de estado de um sistema. Assim, ao observar uma transformação na natureza, será possível perguntar-se: o que houve com a propriedade energia do sistema nessa transformação?

4.2 Os princípios que regem o comportamento da propriedade energia

Segundo Duit e Haeussler (1994), as considerações pedagógicas iniciais no estudo de energia deve se dar a partir de uma análise científica do conceito energia. De acordo com esses autores, uma análise completa leva a quatro elementos básicos desse conceito: transformação, transporte, conservação e degradação.

Os autores ressaltam ainda que os aspectos transformação e conservação compõem o centro do conceito científico de energia. Mesmo que ocorram várias transformações nos sistemas estudados, caso eles estejam isolados (não interajam com aquilo que estiver além de sua fronteira), uma quantidade referente a uma propriedade desses sistemas permanece imutável: a energia. Trata-se aqui de quantidade porque essa propriedade pode manifestar-se de mais de uma forma (de acordo com a disposição dos constituintes do sistema, bem como das interações entre eles), podendo haver transformação, mas mantendo o valor quantitativo constante.

Acrescente-se ainda que o termo transformação de energia encontra-se no contexto dos processos que ocorrem fenomenologicamente e, mesmo que haja varias transformações devido aos fenômenos ocorridos no sistema, a quantidade total de energia permanece constante. Assim, conceitualmente, pode-se dizer que muda a forma de manifestação dessa energia, mas não muda o seu valor total. Uma vez que a quantidade total de energia do sistema permanece constante, há a possibilidade de que uma parte dela seja transferida de um local a outro desse sistema, configurando outro elemento básico, o transporte de energia.

Por outro lado, apesar de a quantidade de energia do sistema permanecer constante em um sistema isolado, os processos (fenômenos) que ocorrem internamente levam esse sistema a um novo estado tal que diminuem novas possibilidades de transformação. Diz-se, portanto, que a energia se degrada, diminuindo-se as possibilidades de novas transformações em condições de isolamento. Nesse contexto, insere-se o conceito de entropia, uma medida da degradação da energia de um sistema.

De acordo com Duit e Haeussler (1994), no contexto escolar, esse último elemento (a degradação) é negligenciado, apesar de ser de fundamental importância na compreensão do conceito energia:

Há três razões principais para incluir a degradação de energia nos aspectos básicos do conceito de energia, os quais são principalmente pedagógicos. Primeiramente, energia e entropia estão intimamente relacionadas uma à outra na ciência. Mas, até

agora, no ensino de ciências, a principal ênfase foi colocada sobre a energia e o aspecto de conservação. O aspecto de degradação ainda é muitas vezes negligenciado. Portanto, no ensino de ciências da escola, um conceito chave da ciência está em falta. Em segundo lugar, a ideia de conservação vai se tornar compreensível para os alunos apenas se o aspecto de degradação também for considerado. Em todos os processos que ocorrem na realidade, há a interação mencionada anteriormente entre conservação e degradação. Assim, os processos reais são só compreensíveis para os alunos se ambos os aspectos são usados para explicá-los. Em terceiro lugar, o aspecto de degradação é uma questão-chave nas abordagens CTS, ou seja, em tentativas de tornar os alunos familiarizados com os problemas de energia na sociedade.⁷ (p. 186, tradução nossa)

Portanto, para uma compreensão completa do significado do conceito energia e de sua conservação, não se deve negligenciar o princípio da degradação. Isso decorre, dentre outros fatores, da importância desse princípio no contexto ciência tecnologia e sociedade, tendo em vista os processos, fenômenos e transformações presenciados nesse âmbito envolverem sempre o aspecto do aumento da entropia, diminuindo as possibilidades de novas transformações.

4.3 A abstração do conceito de energia

Para Duit e Haeussler (1994), o conceito genuinamente físico de energia é abstrato e matemático. Também nesse sentido, Nussenzweig (2002), ao abordar a definição de energia no contexto da mecânica, o faz buscando um invariante matemático nos movimentos sob a ação de um campo gravitacional uniforme, visando a posteriormente abordar os aspectos conceituais.

Energia é definida como sendo uma função de estado do sistema, que representa uma propriedade extensiva dele. Ao analisar um sistema isolado, verifica-se que, nas transformações sofridas ao longo dos fenômenos ocorridos, a mudança no estado não é acompanhada pela mudança no valor da energia porque ela pode se manifestar com o mesmo valor para diferentes estados do sistema. Assim, a análise matemática busca expressões que caracterizem o estado do sistema em que, apesar dessas transformações, o valor total calculado para a propriedade energia permaneça constante.

⁷ “There are three major reasons to include energy degradation in the basic aspects of the energy concept, all of which are mainly pedagogical. First, energy and entropy are closely related to one another in science. But up to now in science instruction, the main emphasis has been placed on energy and the conservation aspect. The degradation aspect is still often neglected. Therefore, in school science teaching a key science concept is missing. Secondly, the conservation idea will become understandable for students only if the degradation aspect is also given attention. In all process that take place in reality, there is the previously mentioned interplay of conservation and degradation. Hence, real processes are only understandable for students if both aspects are used to explain them. Thirdly, the degradation aspect is a key issue in STS approaches, i.e., in attempts to make students familiar with the energy problems in society.” (DUIT; HAEUSSLER, 1994, p. 186)

Ressalte-se que a energia é, por princípio, uma propriedade que se conserva. Caso a expressão matemática adotada apresente variação nas medições no sistema isolado, ela deve ser reformulada. Nesse contexto, Feynman, Leighton e Sands reforçam a ideia da abstração matemática relacionada ao conceito de energia:

Existe um fato, ou se você preferir, uma lei que governa todos os fenômenos naturais que são conhecidos até hoje. Não se conhece nenhuma exceção a essa lei – ela é exata até onde sabemos. A lei é chamada de conservação da energia. Nela enuncia-se que existe certa quantidade, que chamamos de energia, que não muda nas múltiplas modificações pelas quais a natureza passa. Essa é uma ideia muito abstrata, porque é um princípio matemático; ela diz que existe uma quantidade numérica que não muda quando algo acontece. Não é a descrição de um mecanismo ou algo concreto; é apenas um estranho fato de que podemos calcular algum número e, quando terminamos de observar a natureza fazer seus truques e calculamos o número novamente, ele é o mesmo. (Algo como o bispo na casa branca que, após um número de lances - sem sabermos os detalhes - ele continua na casa branca. Essa é uma lei da natureza dele.) (FEYNMAN; LEIGHTON; SANDS, 2008, p. 4)

Outra possível causa para o valor encontrado não ter permanecido constante é o fato de haver interação entre sistema e sua vizinhança (outro sistema além da fronteira). Nesse caso, a fim de manter o princípio da conservação, a quantidade de energia decrescida de um sistema deve apresentar o mesmo valor da quantidade de energia acrescida ao sistema que com ele interage.

É possível construir a ideia de que energia representa uma “entidade” que pode ser armazenada em um sistema, podendo fluir dele para sua vizinhança (outro sistema). A rigor tal “entidade” é meramente pictórica, contudo é capaz de representar de forma mais concreta a abstrata ideia de que o decréscimo no valor de energia de um sistema tem valor correspondente ao acréscimo no valor de outro sistema. Observe-se, entretanto, que o uso desse tipo de linguagem deve ser ressaltado durante a abordagem do tema, reforçando tratar-se apenas de um artifício pictórico, não existindo, concretamente, tal objeto como um fluido, ou como uma substância imponderável capaz de ser a causa das transformações.

4.4 Energia como capacidade de realizar trabalho

A definição matemática de trabalho realizado por uma força resulta em uma quantidade equivalente a um decréscimo de energia do sistema que está exercendo essa força. Dessa forma, é comum autores como Nussenzveig (2002) definirem a energia de um sistema como sendo a capacidade que ele apresenta de realizar trabalho, transferindo uma quantidade de energia equivalente ao valor desse trabalho para sua vizinhança.

No contexto da segunda lei da Termodinâmica, é possível observar algumas contradições em relação a essa concepção. Tal fato pode ser exemplificado como a seguir. Considere-se um sistema isolado constituído por dois corpos, um a temperatura de 100 °C e outro a 0 °C. Com o passar do tempo, observa-se transporte de energia do corpo de maior para o de menor temperatura até que atinjam o equilíbrio térmico. Tal transporte está de acordo com o princípio da conservação da energia, haja vista a quantidade de energia decrescida em um corresponder à quantidade acrescida ao outro. Contudo, no estudo da termodinâmica, sabe-se que é possível obter trabalho mecânico do sistema em seu estado original através de uma máquina térmica que utilize o corpo a 100 °C como “fonte quente” e o corpo a 0 °C como “fonte fria”. Por outro lado, uma vez atingido o equilíbrio térmico (em que ambos os corpos estarão à mesma temperatura), tal procedimento não será mais possível. Assim, poder-se-ia dizer que houve alguma redução na capacidade de obter-se trabalho desse sistema, apesar de a energia total permanecer constante.

Nesse contexto, Duit e Haeussler (1994) destacam que “se a energia é vista como a capacidade de realizar trabalho e se esta capacidade diminui em todo o processo (que é uma maneira de expressar a segunda lei da Termodinâmica), então há uma certa contradição com o princípio da conservação de energia”⁸ (p. 188, tradução nossa). Portanto, parece ser necessário que se evite esse tipo de definição (energia como capacidade de realizar trabalho), a fim de que não haja interpretações confusas da segunda lei da Termodinâmica, bem como de evitar contradições com relação à primeira lei.

4.5 Energia cinética e energia potencial

Na busca por um princípio de conservação, observaram-se duas formas básicas de manifestação da energia: cinética e potencial. A energia cinética está relacionada ao movimento e à massa dos componentes do sistema. A energia potencial, à disposição e à interação desses componentes. Tal energia potencial pode ser associada, por exemplo, à disposição de objetos a certa altura, interagindo gravitacionalmente com a Terra (energia potencial gravitacional do sistema objeto-Terra). Feitas essas considerações, é possível encontrar equações matemáticas capazes de concordar com o princípio da conservação.

⁸ “if energy is seen as the ability to perform work and if this ability decreases in every process (which is one way of stating the second law of thermodynamics) then there is a certain contradiction to the principle of energy conservation” (DUIT; HAEUSSLER, 1994, p.188).

4.6 Energia interna, energia térmica e calor

Para nortear o olhar acerca das concepções presentes nos livros didáticos, tomou-se como referência, a definição de energia interna proposta por Serway e Jewett Jr. (2012):

Energia interna [...] é a energia associada aos componentes microscópicos de um sistema – átomos e moléculas – quando vistos a partir de um referencial em repouso em relação ao sistema. Inclui a energia cinética e potencial associada com o movimento aleatório translacional, rotacional e vibratório dos átomos ou das moléculas que compõem o sistema, bem como a energia potencial intermolecular. (p. 589).

A variação da energia interna de um sistema pode alterar a energia cinética ou a energia potencial de seus constituintes. Há relação entre as propriedades microscópicas e as propriedades macroscópicas: a energia cinética translacional dos constituintes microscópicos está relacionada à propriedade macroscópica temperatura; a energia potencial desses constituintes microscópicos, por outro lado, relaciona-se à propriedade macroscópica estado físico, ou seja, ao estado de agregação, classificado como sólido, líquido, gasoso ou plasma.

A parte da energia interna relacionada diretamente à temperatura costuma ser rotulada de **energia térmica**. É possível, por simplicidade, relacionar a energia térmica ao somatório das energias cinéticas de translação das moléculas que compõem o corpo. Por outro lado, a energia associada à agregação, não podendo ser relacionada às aferições de um termômetro, é, muitas vezes, rotulada como energia latente. A expressão latente tem origem no latim *latere*, significando *escondido*, ou seja, não imediatamente perceptível (SERWAY; JEWETT JR., 2012). É comum o uso incorreto do termo calor latente para caracterizar essa energia, contudo, esse uso é tolerado por estar arraigado à terminologia da Física desde a concepção – hoje já superada – do fluido calórico. A definição de calor proposta por Serway e Jewett Jr. (2012) é “um mecanismo pelo qual a energia é transferida entre um sistema e seu ambiente por causa de uma diferença de temperatura entre eles. É também a quantidade de energia Q transferida por esse mecanismo” (p. 589).

Serway e Jewett Jr. (2012) também ressaltam as concepções alternativas, buscando uma releitura delas a partir das concepções científicas:

Considerando as definições de calor e energia interna [...], pensemos em algumas afirmações cotidianas comuns que você pode ter ouvido: 1. “Enquanto o caminhão freava, uma grande quantidade de calor era gerada pelo atrito” Esse é um clássico exemplo de mau uso da palavra calor em que ela deveria ser substituída pelo termo correto, energia interna. Não há transferência de energia devido a uma diferença de temperatura no processo de frear (desprezando a transferência dos freios aquecidos

para o ar), em vez disso, o que ocorre é que a energia mecânica é transformada em energia interna devido ao atrito. (p. 591).

Assim, a realização de trabalho feita pela força de atrito cinética implica transformação de energia mecânica (associada ao movimento dos corpos na escala macroscópica) em energia interna (associada ao movimento dos corpos na escala microscópica). Não se deve mencionar, portanto, “gerar calor”. O que se poderia mencionar a respeito seria o fato de o aumento de temperatura dos pneus e do asfalto fazerem-nos estar a maior temperatura que o ar, havendo assim transferência de energia no processo de calor para o ar.

4.7 Concepções alternativas, segundo Duit, Haeussler e Linjse

De acordo com Duit e Haeussler (1994), os estudantes frequentemente consideram energia um tipo de combustível universal. Tal fato ocorre porque esses estudantes não chegam à escola alheios às concepções difundidas através das mídias de comunicação, construindo suas próprias versões desse campo conceitual através da verificação de alguma consistência com os fenômenos por eles observados. Note-se ainda constatar-se que muitos professores não compreendem completamente a concepção científica do conceito energia, apresentando ideias semelhantes às dos estudantes. Segundo Linjse (1990), algumas dessas concepções alternativas merecem destaque:

Energia antropocêntrica. Este é um exemplo da ocorrência frequente de pensamento antropomórfico, o qual, no que diz respeito à energia, especialmente se expressa na ideia de ser energético, de ter uma grande quantidade de energia para ser ativo, ou de ter perdido toda a energia, portanto, sentindo-se exausto.

Um modelo de depósito de energia. Essa ideia sugere uma noção de energia como fonte de energia, como a causa de atividade, e armazenada nos objetos que possuem energia.

Energia como um ingrediente ou como um produto. Nestes casos, a energia não é tão considerada uma causa, mas sim o resultado de algo, ou uma reação de alguma coisa. Energia é encontrada em alimentos, mas só se torna ativa depois de se ter comido. Ou, a energia não é armazenada no carvão, mas manifesta-se apenas depois da combustão.

Energia como uma atividade óbvia. Neste conceito, a energia é identificada com a presença de atividade, nomeadamente movimento. Energia é movimento.

Energia é funcional. Em muitas situações, a energia é concebida como um tipo geral de combustível, como algo a ver com tecnologia.

Energia como um tipo de fluido. A energia é então materializada como um tipo de fluido que flui e pode entrar e/ou sair algo.⁹ (p. 574, tradução nossa)

Nota-se não ser difícil observar nos meios midiáticos a associação de energia a um aspecto antropocêntrico, associado à disposição para realizar alguma atividade, relacionada a um atributo referente aos seres vivos. Além disso, é comum o discurso que envolve o conceito de energia como algo que é fonte de força, causando movimento, depositada em alguns objetos. Outra concepção observada é a de que energia é um ingrediente – por exemplo, algo presente nos alimentos, que se torna ativo após a ingestão – ou um produto – algo que possa ser extraído dos combustíveis. É corriqueira também a associação de energia com a presença de alguma atividade envolvendo movimento, chegando até a ser confundida com este. Ainda é possível constatar que se fazem associações diretas de energia a algo que envolve tecnologia, em particular concebendo-a como um tipo geral de combustível. Talvez devido à linguagem presente em livros didáticos, associe-se energia a um tipo de fluido – é comum modelar energia como algo que flui, relacionando a transferência dela a um fluxo – que é capaz de entrar e sair de algum lugar. Portanto, é imprescindível ressaltar, no estudo das transferências de energia, que o fluido constitui uma analogia, não correspondendo a energia a algum tipo de líquido, por exemplo.

Para nossa análise, foram consideradas as concepções como não representativas do conhecimento legitimado cientificamente:

- a) Antropocêntrica. Energia é considerada algo relacionado às atividades humanas ou biológicas, associada a disposição ou a ânimo, por exemplo.
- b) Depositária. Energia é considerada algo armazenado nas coisas.
- c) Produto. Energia é considerada um produto de transformações da natureza, tais como combustão de gasolina, gerando energia como um produto da transformação.
- d) Atividade. Energia é relacionada a atividade, em particular, a movimento, podendo haver confusão entre este e aquela.

⁹ Human centred energy. This is an example of the frequent occurrence of anthropomorphic thinking, which with respect to energy especially finds expression in the idea of being energetic, having a lot of energy to be active, or having lost all energy therefore feeling exhausted. A depository model of energy. This idea suggests a notion of energy as source of power, as a cause of activity, and such stored in objects that possesses energy. Energy as an ingredient or as a product. In these cases energy is not so much considered to be a cause, but rather a result of, or a reaction to, something. Energy is found in food but only becomes active after having eaten it. Or, energy is not stored in coal but manifested only after combustion. Energy as an obvious activity. In this notion, energy is identified with the presence of activity, particularly motion. Energy is motion. Energy is functional. In many situations energy is conceived to be a general kind of fuel, as something to do with technology. Energy as some kind of fluid. Energy is then materialized as a kind of fluid that flows and may enter and/or leave something. (LINJSE, 1990, p. 274)

- e) Funcional. Energia é compreendida como algo que pode ser utilizado como combustível, alimentando equipamentos tecnológicos.
- f) Fluido. Energia é materializada como um tipo de fluido que pode entrar ou sair dos objetos
- g) Causa. Energia é vista como causa das transformações.
- h) Capacidade de realizar trabalho.

Devido às limitações apresentadas acerca da definição de energia como capacidade de realizar trabalho, esta fora incluída como concepção alternativa.

Duit e Haeussler (1994) inferem que uma mudança conceitual brusca dessa concepção prévia para a concepção científica não venha a surtir os efeitos desejados no tocante à aprendizagem. Assim, propõem uma transição a partir da valorização dos aspectos prévios já concordantes com as concepções científicas:

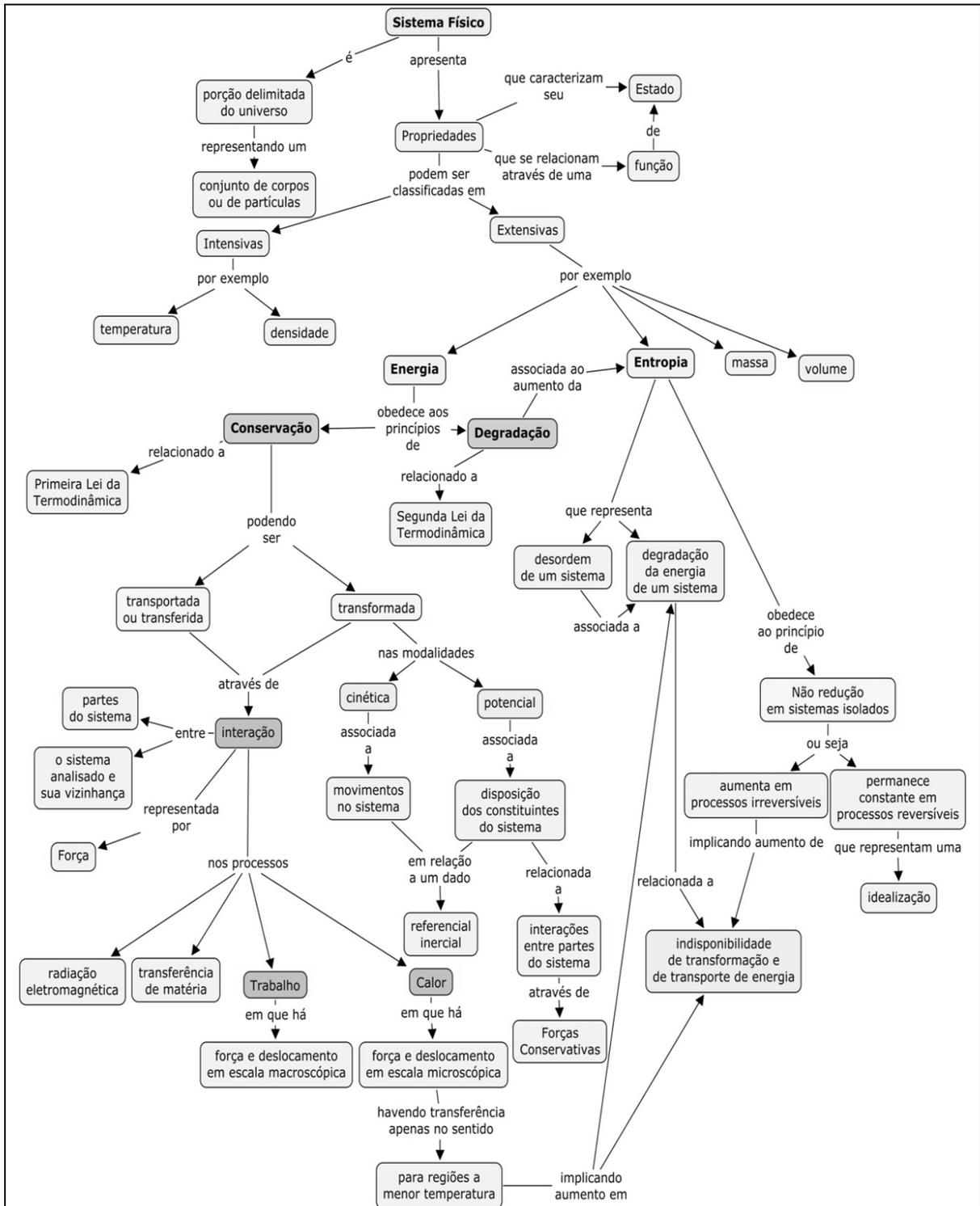
Nós, portanto, pensamos que uma abordagem revolucionária tem de ser concebida a partir das facetas do conceito de energia cotidianos que já estão em conformidade com o conceito científico. Isso parece ser possível. [...] o uso da concepção cotidiana de energia tem de ser reinterpretado a partir do ponto de vista da concepção científica do conceito de energia. Se, por exemplo, diz-se que a energia é consumida em um determinado processo, isso tem de ser reinterpretado, empregando a *quadriga* da energia: energia é transformada, naquele processo, de uma forma para outras, podendo alterar o local de manifestação (ou seja, ser transportada), mas a quantidade de energia não muda (conservação), enquanto que sua qualidade diminui (degradação).¹⁰ (p. 197, tradução nossa)

Conforme ressalta Ausubel (2003), é importante considerar as concepções prévias, trazidas pelos alunos à sala de aula. Nesse sentido, é coerente partir das concepções cotidianas de energia no processo educativo, rumo às concepções científicas. Por outro lado, em vez de buscar uma mera substituição dessas concepções, sugere-se valorizar os aspectos coerentes com a perspectiva científica presentes no discurso cotidiano. Tal procedimento pode ocorrer através da reinterpretação desse discurso através dos quatro aspectos: conservação, transformação, transporte e degradação. Com essa estratégia, esses autores pretendem minimizar as contradições entre as concepções alternativas e as concepções científicas, através da interpretação daquelas em termos destas.

¹⁰ “We, therefore, think that an evolutionary approach has to be designed that starts from facets of the life-world energy concept that are already in accordance with the science concept. This appears to be possible. [...] the everyday use of energy has to be reinterpreted from the point of view of science energy concept. If, for instance, it is said that energy is consumed in a certain process, this has to be reinterpreted by employing the above energy *quadriga*: energy is transformed in that process from one form to certain others and may change the place of manifestation (it is transported) but the amount of energy does not change (conservation) whereas the value decreases (degradation).” (DUIT; HAEUSSLER, 1994, p.197).

A fim de dar clareza às relações propostas entre as ideias previamente discutidas, foi elaborado um mapa conceitual mostrando as relações significativas entre o termo energia e demais conceitos, presente na Figura 6.

Figura 6 – Mapa conceitual envolvendo o conceito de energia subsumido ao conceito de sistema físico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Em termos ausubelianos, a ideia de “sistema” pode ser tratada como sendo a mais inclusiva, em relação ao mapa da Figura 6. A ela é possível subsumir o conceito de propriedade de estado, incluindo-se o conceito de energia. Os conceitos de “conservação” e de “degradação”, portanto, proporcionam a diferenciação da energia, como conceitos subordinados. Acerca do conceito de “conservação”, observam-se as ideias de “transporte” e de “transformação” sempre sujeitas a esse princípio. Ainda nesse sentido, encontram-se, com maior nível de especificidade, os conceitos de “trabalho” e de “calor”, ambos subsumidos ao conceito de “interação”. Quanto às transformações, têm-se como conceitos mais específicos as formas “cinética” e “potencial” de manifestação da energia.

Pelo outro lado, encontra-se o conceito de “degradação”, num mesmo nível da ideia de “conservação”. Ao conceito de “degradação” é possível relacionar a ideia de “entropia” como propriedade de estado de um sistema, representando “desordem”, que ou se mantém constante num sistema isolado, ou aumenta espontaneamente em processos “reais”, indicando a ideia de “irreversibilidade” da segunda lei da Termodinâmica.

Considerando-se essa hierarquia de conceitos, na óptica de Novak, uma abordagem eficaz seria o uso de um organizador avançado (ou prévio) a fim de fazer a ponte cognitiva entre as ideias prévias acerca de sistema físico e a classificação de energia como uma propriedade de estado de um sistema. A seguir, é possível diferenciar esse conceito de energia através de conservação, de degradação, de transformação e de transporte. Caso esteja presente no sistema cognitivo do aluno o conceito inclusivo de sistema físico, as novas ideias mais específicas relacionadas a ele terão um ancoradouro para a construção de um significado.

Após uma discussão conceitual, buscando relacionar os significados presentes na parte superior dessa estrutura hierárquica, o estudo das ideias mais específicas (como trabalho de uma força, por exemplo) terá maior potencial de proporcionar conexões significativas (em oposição à memorização literal) com os aspectos relevantes previamente contidos na estrutura cognitiva do aluno.

Acrescente-se, finalmente, que

Não existe um único mapa para cada conteúdo. [...] não existe uma única maneira, ou a melhor maneira, de representar a matéria de ensino em um mapa conceitual. O importante é apresentá-la em um mapa que tenha sentido e que seja útil para o planejamento curricular (MOREIRA, 2006, p. 68, grifo nosso).

Portanto, o mapa previamente apresentado representa **uma** maneira de relacionar os conceitos hierarquicamente baseada nas considerações de Duit e Haeussler (1994) acerca do conceito de energia e de Novak (1977) acerca da concepção curricular visando à aprendizagem significativa.

O estudo apresentado até este capítulo constituiu a revisão de literatura acerca dos conceitos de livro didático, de Construtivismo Humano, de Aprendizagem Significativa e de energia. No capítulo a seguir, serão apresentados o problema de pesquisa e a metodologia utilizada no processo de estudo da abordagem do conteúdo energia em livros didáticos de ensino médio, à luz do Construtivismo Humano.

5 PROBLEMA DE PESQUISA E METODOLOGIA

Pelo que foi exposto nos capítulos anteriores, observa-se a iminente necessidade de um questionamento acerca da abordagem apresentada nos livros didáticos, caso a aprendizagem significativa seja almejada. Com efeito, a teoria do Construtivismo Humano de Novak (1977), que tem como subjacente a teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (2003), será o referencial adotado para a análise da apresentação dos conteúdos nos livros didáticos. Nesse contexto encontram-se os princípios de diferenciação progressiva e de reconciliação integradora, no sentido de lograr êxito com esse tipo de aprendizagem. Como referencial para a observação do conceito de energia apresentado nos livros, adotou-se o estudo de Duit e Haeussler (1994) acerca da concepção científica e o estudo de Lijnse (1990) sobre as concepções equivocadas.

5.1 Objetivos da pesquisa

O objetivo geral desta pesquisa consiste em analisar a abordagem do tema energia em cinco coleções de livros didáticos de Física para ensino médio aprovadas pelo Guia de Livros Didáticos PNLD 2012, à luz da teoria do Construtivismo Humano.

Especificamente, objetivou-se:

- a) analisar o papel do livro didático na educação científica;
- b) investigar a concepção de energia presente nos livros didáticos analisados;
- c) investigar a correlação entre energia e demais conceitos presente nesses livros;
- d) investigar a coerência com o Construtivismo Humano da metodologia utilizada na exposição desse conteúdo.

Para atingir tais objetivos, foram elaboradas as questões apresentadas no tópico a seguir.

5.2 Questões de pesquisa

Com a presente pesquisa, objetivou-se responder à questão: a abordagem do tema energia, em cinco coleções de livros didáticos de Física para ensino médio aprovadas pelo Guia de Livros Didáticos PNLD 2012, está de acordo com a teoria do Construtivismo Humano, sendo capaz de favorecer a aprendizagem significativa dos conceitos, proporcionando ao aluno relacioná-los de forma substantiva ao seu sistema cognitivo?

Dessa questão fundamental, emergem outros questionamentos relevantes que orientam *pari passu* esta pesquisa, a saber:

- a) qual o papel do livro didático na educação científica?
- b) qual a concepção de energia presente nos livros didáticos?
- c) qual a relação entre a concepção de energia e outros conceitos físicos presentes nesses livros?
- d) a metodologia da exposição desse conteúdo é coerente com a teoria do Construtivismo Humano?

No tópico seguinte, descreve-se a metodologia utilizada com a finalidade de obter as respostas a essas questões apresentadas.

5.3 Metodologia

Em uma primeira etapa, realizou-se uma pesquisa bibliográfica acerca dos conceitos: ensino de Física, livro didático, Construtivismo Humano, Aprendizagem Significativa e energia. Buscou-se, portanto, relacionar o uso do livro didático de ciências e o ensino de Física no contexto das escolas brasileiras. Em seguida, apresentou-se a teoria do Construtivismo Humano como referencial de uma teoria de educação que norteasse o olhar sobre os livros didáticos estudados. Nesse contexto, adotou-se a concepção de energia presente nos estudos de Duit e Heausller (1994) como representante da concepção científica desse conceito, bem como as concepções apresentadas por Linjse (1990) como representantes das concepções alternativas, equivocadas à luz das concepções científicas.

Os resultados dessas investigações encontram-se nos capítulos dois (o contexto do papel do livro didático da educação científica), três (o Construtivismo Humano como referencial para analisar a apresentação dos conceitos nos livros didáticos) e quatro (o conceito energia e suas relações com os demais conceitos físicos).

O estudo dos livros didáticos constituiu uma pesquisa de natureza descritiva. Nesse sentido, buscou-se “a descrição das características de determinada população ou fenômeno” (GIL, 2006, p. 42). Assim, o fenômeno observado foi a abordagem do conceito energia em cinco coleções de livros didáticos de Física para o ensino médio. Nesse âmbito, objetivou-se a descrição das características da exposição do conteúdo energia nesses manuais.

A abordagem qualitativa ocorreu a partir dos fundamentos epistemológicos do Construtivismo Humano e da teoria da Aprendizagem Significativa e a partir do modelo de energia de Duit e Heausller (1994), haja vista a necessidade de um referencial para que se

observasse a correção das concepções presentes nos objetos de estudo. Como referência para a observação das concepções equivocadas, foi utilizado o estudo feito por Lijnse (1990).

A metodologia utilizada foi a análise de conteúdo que, segundo Severino (2007), “é uma metodologia de tratamento e análise de informações constantes de um documento, sob forma de discursos” (p. 121). Para Bardin (2011), nesse tipo de análise, observa-se o texto como uma expressão do sujeito, e o pesquisador busca construir categorias a fim de classificar as unidades de texto que vêm a se repetir através de uma expressão que as represente. Nesse sentido, foram analisados os discursos acerca do conceito energia e de seus correlatos, apresentados pelos autores dos livros didáticos analisados, segundo as categorias elencadas no tópico 5.5.

5.4 Livros didáticos, os objetos de estudo.

A fim de responder ao questionamento proposto, foram analisadas cinco coleções de livros de Física aprovadas pelo Guia de Livros Didáticos PNLD 2012, disponibilizados pelas editoras, relacionadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Coleções de livros didáticos de Física analisadas.

Número arbitrado para a coleção	Autores	Título	Editora	Ano
1	VILLAS BÔAS, Newton; DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José.	Física	Saraiva	2010
2	MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz.	Curso de Física	Scipione	2010
3	FUKE, Luiz Felipe; YAMAMOTO, Kazuhito.	Física para o Ensino Médio	Saraiva	2010
4	SANT’ANNA, Blaidi <i>et al.</i>	Conexões com a Física	Moderna	2010
5	OLIVEIRA, Maurício Pietrocola Pinto de <i>et al.</i>	Física em contextos: pessoal, social, histórico	FTD	2010

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foram escolhidos livros aprovados pelo Guia de Livros Didáticos PNLD 2012, porque representam o primeiro conjunto de livros para ensino médio de Física que passaram por uma análise detalhada, feita pelo Governo Federal. Nessa avaliação, foi observada, além dos aspectos gráficos e editoriais, a metodologia apresentada pela obra, incluindo critérios específicos do conhecimento científico referente à Física. Portanto, trata-se de exemplares que já passaram pela seleção do inquérito feito pelo Governo Federal, sendo recomendados para uso nas escolas públicas de todo o Brasil.

5.5 Procedimentos metodológicos

Os preceitos utilizados para a análise da abordagem do conteúdo energia nos livros mencionados são aqueles presentes na teoria do Construtivismo Humano, anteriormente abordada. Com relação à concepção científica de energia, utilizou-se, como referencial, o estudo de Duit e Heausller (1994). Nesse contexto, a fim de obter uma resposta à questão-foco previamente mencionada, foram feitos os seguintes questionamentos, buscando nortear a leitura dos livros didáticos levantados, no contexto do conteúdo energia:

- a) apresenta-se a definição de sistema físico para tratar de energia como uma propriedade desse sistema?
- b) qual a concepção de trabalho mecânico e qual significado apresentado para os sinais obtidos?
- c) qual a concepção de energia apresentada?
- d) são apresentados os quatro aspectos que caracterizam o conceito energia (conservação, transformação, transporte e degradação)?
- e) são consideradas as concepções alternativas do conceito energia para uma reinterpretação através das concepções científicas?
- f) qual a concepção de energia potencial apresentada?
- g) qual a concepção de energia térmica apresentada?
- h) qual a concepção de energia interna apresentada?
- i) qual a definição de entropia apresentada e como ela é relacionada com a degradação de energia?
- j) qual a hierarquia apresentada para o conceito energia?
- k) foi feito uso de organizador prévio para considerar as concepções prévias, construindo uma ponte entre aquilo que o aluno já sabe e o que se pretende que aprenda significativamente?

Inicialmente, foi realizada uma leitura livre das obras selecionadas. Em seguida, foram elaborados mapas conceituais que buscassem representar as relações entre os conceitos apresentados. Numa terceira etapa, foi feita uma leitura na qual foram selecionados trechos do texto apresentado pelos autores, abordando o conceito de energia e seus correlatos, a fim de classificar segundo uma categorização. Tais registros se encontram no APÊNDICE A. Numa quarta etapa, foi analisada a metodologia na apresentação sequencial e hierárquica dos conceitos, através dos mapas conceituais construídos, presentes no APÊNDICE C. Além disso, observou-se se havia a presença do uso de organizadores gráficos capazes de estimular a aprendizagem significativa.

Após a colheita desses registros, foi possível construir cinco categorias de análise:

- a) **concepções alternativas de energia:** verificou-se se houve ou não abordagem dessas concepções alternativas, mostrando suas inadequações;
- b) **concepções equívocas de energia:** manifestação das concepções alternativas de energia equivocadamente como concepções científicas:
 - antropocêntrica,
 - depositária,
 - produto,
 - atividade,
 - funcional,
 - fluido,
 - causa,
 - capacidade de realizar trabalho;
- c) **quatro aspectos do conceito energia:** verificou-se se houve ou não exposição, nos livros analisados, dos quatro aspectos que caracterizam o conceito energia (Duit; Haeussler, 1994):
 - conservação,
 - transformação,
 - transferência ou transporte,
 - degradação;
- d) **concepções dos conceitos correlatos a energia:** os seguintes conceitos foram analisados conforme relacionado a seguir:
 - concepção de entropia: desordem do sistema ou degradação da energia do sistema,

- concepção de trabalho: transferência/transformação de energia ou energia,
 - concepção de calor: transferência/transformação de energia ou energia,
 - concepção de energia térmica: energia cinética microscópica/molecular ou energia potencial microscópica/molecular,
 - concepção de energia interna: energia cinética microscópica/molecular ou energia potencial microscópica/molecular,
 - significado atribuído ao sinal do valor do trabalho: classificação como motor/resistente ou sentido da transferência de energia,
 - presença de confusão entre o significado de calor e de energia térmica: presente ou não,
 - concepção de energia potencial: propriedade de um corpo, propriedade de um sistema, energia latente, ou energia de posição,
 - exposição de energia como propriedade de um sistema físico: presente ou não;
- e) **organização da exposição:** quanto ao processo de abordagem do tema através da exposição textual nos livros, à luz do Construtivismo Humano, analisaram-se:
- a hierarquia conceitual,
 - o uso de organizador prévio,
 - o uso de organizador gráfico conceitual.

Note-se que a escolha de todas essas categorias foi guiada pela teoria do Construtivismo Humano. O estudo das concepções alternativas faz alusão ao fato de que, para Ausubel, “a compreensão de um dado tópico pressupõe, frequentemente, o entendimento prévio de algum tópico relacionado” (*apud* MOREIRA; MASINI, 2001). Portanto, a fim de que o novo material a ser aprendido não seja arbitrariamente incorporado à estrutura cognitiva do aluno, é preciso que se busquem relações significativas entre esse novo material e aquilo que o aluno já sabe, ressaltando contradições, diferenciando e, portanto, ressignificando os subsunçores previamente presentes.

Por outro lado, o estudo desses livros didáticos mostrou que eles apresentam, equivocadamente, concepções alternativas como concepções científicas, justificando a criação da segunda categoria apresentada, concepções equívocas de energia.

Além disso, de acordo com Moreira e Masini (2001), a programação do conteúdo, segundo a teoria de Ausubel, envolve a identificação de conceitos e das hierarquias

conceituais, para a organização sequencial do conteúdo. Por isso, construíram-se as categorias: quatro aspectos da energia, concepções dos conceitos correlatos a energia e organização da exposição do tema energia.

Para auxiliar a classificação das ideias presentes em trechos dos discursos apresentados pelos livros, segundo as categorias previamente elencadas, construiu-se o quadro presente no APÊNDICE A, onde foram relacionados os dados (trechos dos textos dos livros) aos aspectos envolvidos na análise categorial. Encontra-se inicialmente, nesse apêndice, um quadro que dá significado às siglas utilizadas nesse apêndice.

Em seguida, foi possível, após essa análise, a construção do quadro presente no APÊNDICE B, sintetizando os resultados obtidos. O APÊNDICE C traz os mapas conceituais elaborados durante as investigações acerca das hierarquias conceituais. No próximo capítulo, encontram-se os dados analisados, bem como as discussões a respeito deles.

6 DADOS ANALISADOS DOS LIVROS DIDÁTICOS E DISCUSSÕES

A seguir são relatados os dados observados e analisados através da leitura dos livros relacionados. Além disso, encontram-se discussões, para cada obra estudada, acerca das categorias: concepções alternativas de energia; concepções equívocas de energia; quatro aspectos do conceito energia; concepções dos conceitos correlatos de energia; e organização da exposição.

Durante essa exposição, apresentam-se trechos citados das obras analisadas ao longo do texto, a fim de construir a argumentação referente às discussões. A diferença no estilo da redação deve-se ao fato de essas obras estudadas não apresentarem caráter de texto científico, mas de texto didático. Portanto, tais atitudes foram tomadas com a finalidade de dar clareza à leitura dessas discussões.

6.1 Coleção 1 – Física

Essa coleção de livros didáticos de Física para ensino médio é de autoria de Newton Villas Bôas, Ricardo Helou Doca e Gualter José Biscuola, intitulada Física. De acordo com o Guia de Livros Didáticos PNLD 2012,

A coleção é composta por três volumes subdivididos em unidades, e essas unidades, por sua vez, estão divididas em capítulos e seções. No volume 1, em particular, há um capítulo introdutório dividido em duas seções: Introdução à Física e Introdução à Mecânica. Em todas as unidades, os capítulos apresentam um texto teórico principal e seções com os diversos tipos de atividades. Dentre essas seções, há três tipos de seções dedicados a questões, exercícios e problemas: Questões comentadas, com exercícios acompanhados de solução e discussão; Questões propostas, para serem desenvolvidas em sala de aula; Questões de sedimentação e aprofundamento, com ênfase em questões de vestibulares. (BRASIL, 2011, p.57)

Além disso, nesse documento, ressalta-se que, nessa coleção há uma tentativa de articular as proposições dos Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio com a tradição propedêutica presente no cotidiano das salas de aula.

Acrescente-se ainda que “os conceitos abordados ao longo de toda a coleção são apresentados mediante compreensões corretas do ponto de vista da Física, sempre se utilizando de suas representações e formulações matemáticas, priorizando, assim, a construção conceitual e a compreensão de relações formais.” (BRASIL, 2011, p. 60). Por outro lado, é ressaltado que “o conjunto dos três volumes da coleção abrange todas as áreas do conhecimento físico de referência e apresenta, na maioria das vezes, conceitos e explicações

físicas corretas.” (BRASIL, 2011, p. 62). Por conta do uso da expressão “na maioria das vezes” ao classificar como corretas as explicações físicas, procurou-se observar a correção desses conceitos e dessas explicações.

A fim de explicitar melhor a apresentação dos conteúdos, seguem-se os fragmentos referentes ao conteúdo energia segundo a sequência apresentada no índice do livro didático:

- a) volume 1
 - Unidade 2: Trabalho e potência, Energia mecânica e sua conservação;
- b) volume 2
 - Unidade 1: O calor e sua propagação, Termodinâmica.

6.1.1 Concepções alternativas de energia

A obra, no tratamento do conceito energia, pouco valoriza as ideias alternativas previamente apresentadas pelos estudantes antes do contato com o conteúdo exposto nos livros da coleção. Na análise dos dados observados, constatou-se apenas uma passagem em que se menciona que há diferenças entre o conceito de trabalho em Física e aquele apresentado em relação a ofício ou profissão: “O conceito de trabalho que desenvolvermos neste capítulo difere da noção de ocupação, ofício ou profissão” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.1, p. 262). Quanto ao conceito energia, não se observaram considerações a respeito de diferenciação entre concepções alternativas e científicas.

6.1.2 Concepções equívocas de energia

A obra apresentou, ao longo dos textos analisados, seis das oito concepções alternativas como legítimas. Apenas as concepções de energia como produto e como capacidade de realizar trabalho não foram observadas.

Apresentou-se, nessa coleção, a visão antropocêntrica, indicando energia como uma substância responsável pelo funcionamento dos organismos, desempenhando um papel essencial em relação à vida. A visão depositária foi apresentada nas definições de energia cinética e de energia potencial, fazendo-se uso do termo “energizado” porque está em movimento ou porque ocupa determinada posição. De forma mais enfática, verifica-se tal concepção na definição de energia potencial elástica: “É a forma de energia que encontramos

armazenada em sistemas elásticos deformados.” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.1, p. 293).

No trecho a seguir, apresenta-se uma relação entre energia e movimento. A energia potencial, por exemplo, é interpretada como “possível movimento” em vez de “energia de posição”: “Nosso objetivo, neste capítulo, é estudar a energia mecânica que se manifesta em situações de movimento, como a de um cavalo a galope, e em casos de possíveis movimentos, como o de uma pequena bola prestes a ser lançada por uma bola comprimida.” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.1, p. 290).

A ideia de energia como algo que pode entrar ou sair de um sistema, tendo a função de fazê-lo funcionar, é apresentada na introdução do capítulo. Além disso, energia é interpretada como causadora das transformações ao ser mencionada como responsável pela mudança de estado e ao ser caracterizada por provocar a variação de temperatura, no contexto do estudo da termologia. Os autores não apresentaram, nos trechos analisados, energia como capacidade de realizar trabalho.

6.1.3 Quatro aspectos do conceito energia

Nessa coleção, observou-se a falta de um dos quatro aspectos que caracterizam o conceito energia. Expuseram-se conservação, transformação e transporte. Contudo, não houve menção à degradação de energia. Houve a definição do conceito de entropia, mas ele não foi relacionado à degradação. Conforme indicam Duit e Heausler (1994), o aspecto da degradação da energia é um conceito chave, haja vista os processos reais só poderem ser compreendidos caso sejam abordados a partir da conservação e da degradação da energia. Portanto, a ausência desse aspecto essencial traz prejuízos ao aluno e ao professor adotante da coleção, o qual terá de complementar, em sala de aula, esse conteúdo.

6.1.4 Concepções dos conceitos correlatos a energia

O conceito de entropia foi abordado envolvendo apenas o conceito de desordem. A relação entre entropia e degradação de energia não foi observada. Contudo, fora relacionada com a segunda lei da Termodinâmica: “a entropia do Universo vem aumentando ao longo do tempo. Essa poderia ser uma outra maneira de enunciarmos a 2ª Lei da Termodinâmica.” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.2, p. 138). Note-se que o fato de se indicar haver um relacionamento não envolveu a exposição da forma como esse relacionamento

ocorre. Assim, sem exploração das relações significativas, a memorização literal poderá ser a estratégia adotada pelo aluno para “sobreviver” às provas.

Quanto ao conceito de trabalho, é apresentado como transferência de energia: “É importante lembrar que a realização de trabalho envolve trânsito ou conversão de energia mecânica” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.2, p. 112). Essa abordagem se encontra de acordo com as concepções de Duit e Heausller (1994) e de Serway e Jewett Jr. (2012).

Por outro lado, o conceito de calor é tratado como energia térmica em trânsito e como energia térmica transferida. Note-se a existência de contradição, porque a energia transferida não se encontra mais em transferência e, portanto, não poderia ser denominada calor. Essa situação pode trazer prejuízos ao aluno que, tendo dificuldade em compreender, memorizará literalmente a definição, a fim de reproduzi-la quando solicitado.

Energia térmica tem sua definição exposta de forma contraditória. Os autores apresentam-na inicialmente como a energia referente apenas à agitação e, em seguida, como a soma da energia de agitação com a energia de agregação.

Energia interna é compreendida como a energia total associada às partículas que constituem o sistema:

A energia interna de um sistema é o somatório de vários tipos de energia existentes em suas partículas. Nesse cálculo, consideramos as energias cinética de agitação (ou de translação), potencial de agregação, de ligação, nuclear, enfim, todas as energias existentes em suas moléculas.[...] Observemos que apenas parte dessa energia (cinética de agitação e potencial de agregação) é térmica.” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.2, p. 114)

Nesse parágrafo, os autores reforçam que consideram térmica também a energia potencial relacionada à interação que agrega as moléculas, além de subordinar energia térmica ao conceito superordenado energia interna. Portanto, há imbróglio nas definições dos conceitos de energia interna e de energia térmica, inibindo a aprendizagem significativa.

O significado atribuído ao sinal do trabalho, no primeiro volume, fica restrito à rotulação: “O trabalho de uma força é motor quando esta é ‘favorável’ ao deslocamento.[...] O trabalho de uma força é resistente quando esta é ‘desfavorável’ ao deslocamento.” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.1, p. 263). Por outro lado, no segundo volume dá-se o significado do sentido da transferência de energia: “Na expansão, $T_{gás} > 0$ e o gás fornece energia na forma de trabalho: o gás realiza trabalho.” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.2, p. 115). Com efeito, a apresentação dessa relação entre o sinal do trabalho e o

sentido da transferência de energia ainda no primeiro volume poderia ajudar o aluno a construir um significado mais estável para esse conceito.

Observe-se mais uma contradição no texto dessa obra: “trabalho é realizado por uma força.” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.2, p. 115) seguido de “o gás realiza trabalho” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.2, p. 115). Não há problema em apresentar as duas definições, desde que sejam inter-relacionadas. Portanto, pode-se ressaltar que, quando uma força realiza trabalho, o sistema que aplica esta força transfere energia para outro, podendo-se, através do uso de uma metonímia¹¹, enunciar que o sistema realiza trabalho.

Os autores dessa coleção definem energia potencial como uma forma latente de energia, como uma forma de energia associada à posição, como uma propriedade de um sistema, e como a propriedade de um corpo. Note-se ainda o uso frequente do termo “armazenado” ao logo dessas exposições da definição de energia potencial, trazendo uma concepção equívoca a um contexto em que se deveriam abordar apenas as concepções científicas.

Energia não é explicitamente definida como uma propriedade de um sistema, chegando a ser apresentada, conforme mencionado anteriormente, como uma “substância imponderável” que pode entrar ou sair de um sistema.

6.1.5 Organização da exposição

No tópico “Energia e trabalho”, é apresentada uma introdução ao tema através do uso de metáforas. Os autores fornecem uma primeira definição de energia em desacordo com as concepções cientificamente aceitas:

Mas que elixir é esse que movimenta a fantástica máquina da vida, tornando nossa Terra um planeta tão singular? Trata-se do mesmo substrato primordial, responsável por fazer operar todas as máquinas, dos automóveis aos caminhões, dos tratores aos guindastes, dos aviões às naves espaciais. Essa substância imponderável que possibilita o funcionamento de todos os organismos – vivos ou não – recebe o nome de energia. (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.1, p. 261)

Nesse parágrafo, os autores foram capazes de definir energia através de várias concepções alternativas: energia antropocêntrica, energia como atividade, energia funcional,

¹¹ Metonímia ou transnominção é uma figura de linguagem em que um termo pode substituir outro, por estarem correlacionados, ou por serem semelhantes.

energia como um tipo de fluido (Linjse, 1990). Além disso, note-se que é critério eliminatório, segundo o Guia de livros didáticos PNLD 2012 Física, observar se a obra “utiliza analogias e metáforas de forma cuidadosa e adequada, garantindo a explicitação de suas semelhanças e diferenças em relação aos fenômenos/conceitos estudados, bem como seus limites de validade” (BRASIL, 2011, p. 16). Assim, pode-se deduzir a inadequação da abordagem presente nessa coleção.

Note-se que os autores fizeram uso das concepções alternativas não para confrontá-las com as concepções científicas, mas legitimando-as. Além disso, ressaltam que “definir amplamente energia de modo axiomático ou verbal é tarefa difícil; por isso pretendemos introduzir essa noção de forma gradual, contando com o bom senso, a intuição e a vivência do leitor em cada contexto” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.1, p. 262). Com efeito, o conhecimento científico difere do conhecimento do senso comum “porque este é uma opinião baseada em hábitos, preconceitos, tradições cristalizadas, enquanto a primeira baseia-se em pesquisas, investigações metódicas e sistemáticas e na exigência de que as teorias sejam internamente coerentes e digam a verdade sobre a realidade” (CHAUÍ, 1995, p. 251). Portanto, parece ser filosoficamente incoerente a postura adotada pelos autores dessa coleção de livros didáticos.

Ainda na introdução ao tema, os autores, através do uso de metáforas, indicam:

A energia comporta-se como um camaleão fugaz que surge e ressurgue sob os mais variados matizes e mantos. Verifica-se em todas as estruturas – das micro às macro – uma verdadeira simbiose em que uma determinada quantidade de energia se pulveriza em doses menores sempre, porém de totalização idêntica à porção original. A energia térmica obtida na combustão da gasolina no motor de um carro, por exemplo, transforma-se parcialmente em energia de movimento do veículo, mais energia térmica e acústica, gerada de várias formas, inclusive pelo atrito entre as peças. (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.1, p. 261)

Nesse parágrafo, os autores parecem buscar apresentar o fato de a energia mostrar-se de várias formas, envolvendo também o conceito de transformação. É possível também observar o discurso acerca da segunda lei da Termodinâmica, quando se trata da “pulverização”. Contudo, é necessário algum esforço para interpretar as metáforas apresentadas.

Com efeito, em vez de proporcionar uma ponte cognitiva coerente com as concepções científicas legitimadas academicamente para o novo conhecimento, houve um reforço das concepções alternativas, dificultando a compreensão significativa dos conhecimentos mais específicos abordados na sequência da obra.

Na contextualização histórica do conceito, os autores esboçam um comentário acerca de energia como propriedade de um sistema (nesse caso, restringindo o sistema a um corpo) ao afirmar que:

Foi o matemático, cientista e filósofo alemão Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) quem esboçou as primeiras ideias sobre energia, afirmando que o ímpeto de movimento manifestado por alguns corpos se devia a uma espécie de “força viva” intrínseca ao corpo, ao que chamou de *vis viva*, expressão extraída do latim. (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.1, p. 261)

Nesse âmbito, aparece a preocupação na obra de mostrar-se que o conceito energia não apareceu prontamente, mas fora construído através das contribuições de Leibniz, de Bernoulli e de Joule. Por outro lado, afirma que foram estabelecidos por este último “os contornos definitivos do conceito” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.1, p. 261). Tal afirmação contraria o fato de o conhecimento científico estar sempre em construção, não se apresentando acabado. Dessa forma, traz-se uma visão de Ciência em desacordo com o que se vivencia no mundo acadêmico, no qual se observam discussões que constantemente propõem o questionamento das concepções aceitas, construindo-se novos significados (Novak, 1977).

Adiante, ao abordar o conceito energia cinética, faz-se uso da expressão “pelo fato de estar em movimento, dizemos que a partícula está energizada” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.1, p. 267), mostrando que há uma relação entre o movimento de uma partícula e a quantidade de energia por ela apresentada. Em seguida, apenas se define matematicamente a expressão clássica da energia cinética de uma partícula. Falta, portanto, uma abordagem que ressalte o porquê da forma da equação que define energia cinética.

A exposição do conceito energia antes da discussão do cálculo do trabalho possibilita a aprendizagem por subsunção. Ressalta-se, nessa coleção, a seguinte relação conceitual: “realizar trabalho, em Física, implica a transferência de energia de um sistema para outro e, para que isso ocorra, são necessários uma força e um deslocamento adequados” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.1, p. 262). Por outro lado, note-se que, apesar de haver considerações em relação à hierarquia conceitual, intencionando-se a aprendizagem por subsunção, não se observa na introdução a intenção de dar estabilidade ao conceito mais geral, energia. Assim, sem subsunções estáveis, pode-se vir a estimular a aprendizagem por memorização.

Os autores esboçam indiretamente, no segundo volume, relacionar o conceito energia a uma propriedade extensiva de um sistema (no caso, de um corpo) ao afirmarem que

“a energia térmica de um corpo é o somatório das energias de agitação de suas partículas e depende da temperatura do corpo e do número de partículas nele existentes” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v. 2, p. 25). Por outro lado, contradizem essa definição ao acrescentar a seguir: “veremos que a energia térmica é o somatório das energias de agitação com as energias de agregação das partículas” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.1, VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.2, p.25). Assim, o aluno apresentará o questionamento: energia térmica é aquela associada apenas à agitação (movimento) das partículas, ou cabe também acrescentar a energia associada à agregação? Na busca por resposta a esse questionamento, o aluno encontrará informações contraditórias no livro. Nesse caso, até mesmo a intenção de memorizar encontrará obstáculo, cabendo ao professor buscar remediar tais incoerências. Além disso, a consideração de energia como uma propriedade extensiva do sistema ficou, no texto da obra, restrita à modalidade energia térmica.

No tocante à discussão do significado atrelado ao sinal, positivo ou negativo, do valor obtido do trabalho de uma força, limita-se à denominação “motor” e “resistente”, sem fazer alusão ao acréscimo ou ao decréscimo do valor da energia do sistema sobre o qual atuou a referida força. Apenas no segundo volume da obra, no capítulo referente à primeira lei da Termodinâmica, busca-se dar significado ao sinal do trabalho: “Na expansão, $\tau_{\text{gás}} > 0$ e o gás fornece energia na forma de trabalho: o gás realiza trabalho. Na compressão, $\tau_{\text{gás}} < 0$ e o gás recebe energia na forma de trabalho: o gás recebe trabalho.” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.2, p.115). Dessa forma, sem haver uma preocupação com os significados do conceito de trabalho ao longo do texto do livro didático, estimula-se a aprendizagem por memorização, o que poderá fazer esse conceito ser utilizado apenas no contexto escolar, para resolver exercícios e questões propostos no manual, reduzindo-se a capacidade de aplicar esse conhecimento aos problemas encontrados nos demais contextos da vida do aluno.

Observe-se ainda que não é explorado o princípio da ação-reação, terceira lei de Newton, expondo que, quando o trabalho da força exercida pelo gás é negativo, o trabalho da força exercida pela vizinhança sobre o gás é positivo. Assim, o gás receber trabalho implica a vizinhança realizar trabalho sobre o gás.

A respeito da definição de energia potencial, o fazem indicando que “é uma forma de energia latente, isto é, está sempre prestes a se converter em energia cinética” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v. 1, p.291). Tal afirmação torna-se inconveniente à medida que se observam diversas situações nas quais a energia potencial não está prestes a se

converter em energia cinética. Um exemplo disso seria uma massa em equilíbrio suspensa por um cordão.

Por outro lado, ao especificar a energia potencial de gravidade, os autores dessa coleção inferem que “é função da posição de um corpo em um campo gravitacional” (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v. 1, p.291). Nesse ponto, nota-se a intenção de relacionar a energia à configuração espacial, ou seja, à disposição das partes do sistema, incluindo neste o campo gravitacional.

Observando-se, de forma geral, a sequência de apresentação, vê-se que o início da exposição do tema é marcado pela apresentação das concepções cotidianas do conceito energia. Entretanto, os autores estão legitimando-as em vez de mostrar as contradições presentes em relação ao conhecimento científico. Por outro lado, há a tentativa de promover uma ponte entre os supostos conhecimentos prévios e aqueles que se almeja apresentar, abordando o conceito inclusivo, energia, antes do mais específico, trabalho realizado por uma força.

A reconciliação integradora não é explicitamente apresentada, haja vista os autores não buscarem retornar na hierarquia buscando ressaltar as relações significativas entre os conceitos mais específicos e os mais inclusivos ao final dos capítulos. Além disso, falta a apresentação do conceito de sistema (mais inclusivo que o de energia), fazendo-se uso apenas de termos tais como “energizado”.

A construção do conhecimento científico é apresentada nas introduções aos capítulos, em geral, enfatizando o contexto histórico. Contudo, conforme mencionado anteriormente, parece que os autores consideram que James Prescott Joule estabeleceu, definitivamente, o que é energia, ignorando a possibilidade de novas construções.

Quanto ao uso de organizadores gráficos, estes são observados apenas para sugerir um “fluxo” de energia, sendo transferida entre sistemas (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.1, p.274) ou para esquematizar uma relação de conceitos ligados por linhas não rotuladas (VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2010, v.2, p.116), constituindo uma listagem simples. Dessa forma, esses organizadores não demonstram ter como objetivo proporcionar diferenciação progressiva ou reconciliação integradora.

Finalmente, ressalte-se que essa coleção não leva em consideração as concepções alternativas de energia de forma adequada para que sejam reconstruídas as concepções subjetivas dos alunos, alinhando-as com aquilo que a comunidade científica considera como correto. Além disso, tenta legitimar algumas concepções alternativas ao fazer uso inadequado de metáforas, conforme anteriormente exposto. Portanto, é possível afirmar que essa obra

apresenta características que ferem os critérios de número 2 e 9 eliminatórios específicos para o componente curricular Física, no âmbito do PNLD 2012 (BRASIL, 2011).¹²

6.2 Coleção 2 – Curso de Física

Essa coleção de livros didáticos de Física para ensino médio é de autoria de Antônio Máximo e de Beatriz Alvarenga, sendo intitulada Curso de Física. De acordo com o Guia de Livros Didáticos PNLD 2012:

A coleção é constituída de três volumes organizados em unidades e capítulos. Cada capítulo é dividido em seções numeradas, em que o conteúdo é desenvolvido a partir de textos e ilustrações. Ao final de todas as seções, são propostos Exercícios de Fixação e, ao final de cada capítulo, na seção Revisão, sempre há um novo conjunto de questões, que têm como objetivo levar o aluno a fazer uma revisão dos principais conceitos abordados. (BRASIL, 2011, p. 33)

A fim de explicitar melhor a apresentação dos conteúdos, seguem-se os fragmentos referentes ao conteúdo energia segundo a sequência apresentada no índice do livro didático:

- a) Volume 1 – Mecânica
 - Unidade 4 – Leis de conservação, Conservação da energia.
- b) Volume 2 – Física Térmica e Óptica
 - Unidade 2 – Calor, Primeira Lei da Termodinâmica.

Note-se ainda que a segunda lei da Termodinâmica é abordada como um subitem da primeira lei, ao final do terceiro capítulo do segundo volume, no contexto das máquinas térmicas.

6.2.1 Concepções alternativas de energia

Apresentam-se como alternativas duas concepções. Primeiramente, ressalta-se que “a noção da grandeza trabalho, definida na Física, nem sempre coincide com o conceito vulgar de trabalho que você já possuía” (MÁXIMO, ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 277), mas não se chega a expor quais seriam os possíveis conceitos vulgares. No segundo volume, acerca de calor, ressalta-se que “Não se pode dizer que ‘um corpo possui calor’ ou que ‘a

¹² Critério 2: “introduz o assunto ou tópico conceitual, levando em consideração as concepções que os alunos típicos de educação básica costumam manifestar [...]” (BRASIL, 2011, p. 15). Critério 9: “utiliza analogias e metáforas de forma cuidadosa e adequada [...]” (BRASIL, 2011, p.16).

temperatura é uma medida do calor de um corpo'. Na realidade, o que um corpo possui é energia interna e quanto maior for a sua temperatura, maior será esta energia interna.” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 73).

Quanto ao conceito energia, não se observaram considerações a respeito de diferenciação entre concepções alternativas e científicas. Portanto, deve ficar a cargo do professor elaborar estratégias que provoquem a releitura das concepções subjetivas através dos novos conceitos apresentados, alinhados com as concepções científicas, tática sugerida por Duit e Heausller (1994).

6.2.2 Concepções equívocas de energia

Para os autores, “Se um país possui grandes reservas de energia, terá possibilidades de se desenvolver” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 276). Nesse trecho, manifesta-se a concepção de energia como algo que pode ser armazenado, sugerindo que seja algo responsável pela realização de atividades, movimentos. Uma alternativa a tal exposição seria indicar que essa expressão, “reservas de energia”, comumente utilizada nos meios de comunicação, refere-se a um contexto em que se apresentam tecnologias desenvolvidas para aumentar a capacidade de transformarem-se outras formas de energia em energia elétrica (em geral), a qual pode ser transportada através de uma rede de fios, sofrendo outra transformação nos sistemas aos quais for transferida. Dessa forma, compreender-se-ia energia como uma propriedade de um sistema que pode transformar-se em uma configuração mais conveniente (em geral, elétrica) e transportar-se (através da rede elétrica, por exemplo), sendo novamente transformada para sua finalidade última (iluminar um ambiente, por exemplo), conservando-se seu valor total. Apesar de essa energia conservar-se, haverá degradação, impossibilitando a reversão isolada do processo.

Os autores dessa coleção fazem uso do termo “absorver” ao referir-se ao conceito de calor. Assim, ressuscita-se a teoria do calórico, como algo fluido que pode ser absorvido. Portanto, pode-se classificar isso como uma manifestação da concepção de energia como algo que flui podendo entrar ou sair de um sistema. Tal modelo pictórico de energia pode ser utilizado, desde que seja ressaltado tratar-se apenas de uma estratégia utilizada para ilustrar o princípio de conservação, não existindo, a rigor, tal fluido. Contudo, essas considerações não são encontradas nessa coleção de livros didáticos.

Além disso, define-se energia como capacidade de realizar trabalho na introdução ao tema, na definição de energia cinética e na definição de energia potencial. Conforme

ênfatizam Duit e Heausller (1994), tal concepção pode ser refutada com a segunda lei da Termodinâmica, tornando-se incorreta tal abordagem.

6.2.3 Quatro aspectos do conceito energia

Essa coleção contempla todos os quatro aspectos que caracterizam o conceito energia. Acerca da conservação da energia, os autores expõem que “Em todas as transformações observa-se que não há criação nem destruição de energia, de modo que a quantidade total de energia envolvida em um fenômeno permanece sempre a mesma, isto é, ela se conserva” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 298), ressaltando ainda que “A conservação da energia mecânica é um caso particular do princípio geral de conservação de energia” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 298).

Os autores observam ainda calor e trabalho como “formas” de troca de energia entre um sistema e sua vizinhança: “Um sistema pode trocar energia com a sua vizinhança sob a forma de calor ou pela realização de trabalho” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 86). Tal afirmação concorda com a concepção científica apresentada por Serway e Jewett Jr. (2012).

Quanto à degradação da energia, observam-se diversas passagens acerca do tema no segundo volume da obra, como, por exemplo, em: “[...] embora não tenha havido desaparecimento da energia, não é mais possível convertê-la em trabalho (energia útil). Vemos que parte da energia do sistema tornou-se indisponível.” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 122). Note-se que, com isso, os autores contradisseram a definição de energia como capacidade de realizar trabalho, haja vista, nesse caso, a energia se conservar, mas haver diminuição da capacidade de o sistema realizar trabalho. Os autores acrescentam ainda que “Costuma-se dizer que a energia se degrada ao se transformar em energia térmica.” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 122), afirmação que expõe o quarto aspecto sugerido por Duit e Heausller (1994), caracterizando um comportamento que compõe o significado da propriedade energia.

Portanto, em relação aos quatro aspectos que regem o comportamento da propriedade energia, a única ressalva em relação a essa obra encontra-se na exposição de energia como capacidade de realizar trabalho.

6.2.4 Concepções dos conceitos correlatos a energia

Irreversibilidade, desordem e degradação de energia são relacionados de forma adequada:

Esta irreversibilidade do processo que acabamos de analisar [transformação até o equilíbrio térmico] e o aumento da desordem do sistema, que conduzem à indisponibilidade de parte de sua energia, é uma característica de qualquer processo que ocorre na natureza. (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 122).

Em seguida, associa-se essa degradação de energia com o conceito de entropia:

Para expressar quantitativamente essas características dos processos irreversíveis [...], introduziu uma nova grandeza, denominada entropia. [...] Em todos os processos naturais irreversíveis, a entropia total do sistema e da vizinhança sempre aumenta. [...] A quantidade de energia ΔE que se torna indisponível em um processo natural é diretamente proporcional ao aumento total de entropia ΔSt , que acompanha o processo. (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 123-4)

Quanto ao conceito trabalho, este é relacionado à transferência de energia, quando é realizado: “Iniciaremos nosso estudo introduzindo o conceito de uma grandeza, denominada trabalho, relacionada com a medida da energia [...]”. (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 276); “Quando agitamos [...] uma garrafa contendo água, sua temperatura se eleva, apesar de a água não ter recebido calor. O aumento da energia interna, neste caso, ocorreu em virtude da transferência de energia mecânica à água, ao realizarmos o trabalho de agitar a garrafa.” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 73). Note-se, contudo, que a segunda citação tem origem apenas no segundo volume da obra. Com isso, trata-se inicialmente de trabalho como uma medida da energia, mas não se caracteriza o contexto em que essa medida pode ser efetuada, a transferência de energia. Assim, restringe-se o âmbito da relação entre os conceitos trabalho e energia, limitando-se as oportunidades de negociação de significados.

Por outro lado, o conceito de trabalho também é apresentado como energia: “embora não tenha havido desaparecimento da energia, não é mais possível convertê-la em trabalho (energia útil).” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 122). O uso da expressão “converter energia em trabalho” parece inadequada, podendo sugerir-se a substituição por “não é mais possível transferir energia através da realização de trabalho”. Com tal consideração, consolidar-se-ia energia como uma propriedade de um sistema, tratando-se de trabalho e de calor como processos de transferência, fazendo-se uso desses rótulos para referir-se aos valores de energia transferidos nesses processos.

Nessa coleção, calor é definido como energia em trânsito:

[...] o conceito moderno de calor é o seguinte: calor é a energia transferida de um corpo para outro em virtude, unicamente, de uma diferença de temperatura entre eles. [...] o termo calor só deve ser utilizado para designar energia em trânsito [...] Não se pode dizer que “um corpo possui calor” ou que “a temperatura é uma medida do calor de um corpo”. (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 73)

Contudo, se energia é uma propriedade de um sistema, tratar calor como uma forma de energia seria considerá-lo como uma propriedade, trazendo contradição ao mencionar que não se pode dizer que um corpo possui calor. Entretanto, os autores dessa coleção insistem na definição de calor como forma de energia: “calor é uma forma de energia” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 298); “[...] no deslocamento do corpo sob a ação da força de atrito, o que ocorreu foi a transformação em calor da energia mecânica que desapareceu” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 298).

Os autores dessa coleção preferiram o uso do conceito energia interna ao de energia térmica. Contudo, ao longo da obra menciona-se “energia térmica” sem defini-la: “você já deve ter percebido que a energia pode se apresentar sob diversas formas: energia química, energia mecânica, energia térmica, energia elétrica, energia atômica, energia nuclear etc.” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 284); “Costuma-se dizer que a energia se degrada ao se transformar em energia térmica.” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 123).

O conceito de temperatura é utilizado para apresentar, inicialmente, o conceito de energia interna:

A transferência de calor para um corpo acarreta um aumento na energia de agitação de seus átomos e moléculas, ou seja, acarreta um aumento da energia interna, o que, em geral, provoca uma elevação em sua temperatura. [...] Não se pode dizer que “um corpo possui calor” ou que “a temperatura é uma medida do calor de um corpo”. Na realidade, o que um corpo possui é energia interna e quanto maior for a sua temperatura, maior será esta energia interna. [...] É importante observar que a energia interna de um corpo pode aumentar sem que o corpo receba calor, desde que receba alguma outra forma de energia. [...] Quando agitamos [...] uma garrafa contendo água, sua temperatura se eleva, apesar de a água não ter recebido calor. O aumento da energia interna, neste caso, ocorreu em virtude da transferência de energia mecânica à água, ao realizarmos o trabalho de agitar a garrafa. (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 73).

A definição de energia interna é então apresentada da seguinte forma: “energia interna [...] representa a soma das diversas formas de energia que os átomos e moléculas deste corpo possuem.” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 89). Dessa maneira, nessa

coleção, não parece haver distinção entre a energia associada à propriedade temperatura e a energia associada à propriedade estado físico. Com essa postura, os autores buscam unificar os conceitos, contudo não se discute o significado já arraigado na terminologia usual, referente ao rótulo “energia térmica”. Isso pode vir a provocar confusão quando o leitor consultar outras obras. Portanto, para que haja aprendizagem significativa, evitando a simples memorização literal, é importante que se confrontem as concepções, a fim de sanar possíveis contradições.

Ao sinal do trabalho realizado atribui-se apenas uma classificação, se realizado pelo sistema ou sobre ele: “[...] o trabalho realizado é positivo [...] Neste caso, dizemos que o trabalho foi realizado pelo sistema. [...] Quando ocorre uma compressão do gás [...] o trabalho foi realizado sobre o sistema.” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 88). Assim, perde-se a oportunidade de discutir o significado dessa quantificação positiva ou negativa, referindo-se à transferência de energia.

Ocorre confusão entre o conceito de calor e o conceito de energia térmica, como se observa em: “no deslocamento do corpo sob a ação da força de atrito, o que ocorreu foi a **transformação em calor** da energia mecânica que desapareceu.” (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 298, grifo nosso). Com isso, trata-se do calor como uma forma de manifestação da energia, quando se deveria defini-lo como um processo de transferência ou como o valor da energia transferida nesse processo (SERWAY; JEWETT JR, 2012).

O conceito de energia potencial aparece, nessa obra, como propriedade de um corpo, relacionada à posição que ele ocupa, desconsiderando-se o tratamento do sistema:

[...] um corpo, a uma certa altura, possui energia, pois tem capacidade de realizar um trabalho ao cair.[...] Pode-se dizer que o corpo ligado à mola comprimida (ou esticada) possui energia.[...] A energia que um corpo possui, devido à sua posição, é denominada energia potencial. (MÁXIMO; ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 289).

Note-se ainda que essa forma de energia encontra-se relacionada pelos autores à capacidade de realizar trabalho ao cair. Portanto, pode-se pensar que, segundo essa definição, o corpo só terá energia ao cair, não a possuindo quando em repouso na altura inicial, invalidando a afirmação de que ele possuía energia antes da queda. A contradição apresentada restringe o significado lógico – o qual é pressuposto para a aprendizagem significativa – desse trecho do material.

6.2.5 Organização da exposição

O oitavo capítulo do primeiro volume é intitulado “Conservação da Energia”. Na introdução ao tema, é apresentado o contexto em que se insere esse conceito nos meios de comunicação, bem como nos questionamentos geopolíticos. Esse tópico é composto por apenas quatro curtos parágrafos como finalidade de mencionar o tema energia e de citar exemplos de sua contextualização. Ao final, a grandeza trabalho é apresentada como “relacionada com a medida da energia” (MÁXIMO, ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 276).

O tema trabalho é introduzido diretamente através de sua definição matemática para o caso de uma força constante. O sinal da grandeza obtida no cálculo é associado à contribuição (favorecendo ou contrariando) em relação à alteração da velocidade, sem haver ênfase no tratamento da transferência ou da transformação de energia relacionada a esse sinal. Contudo, na seção seguinte, ao fazer a análise dos valores envolvidos no teorema trabalho total e energia cinética, discute-se corretamente o processo de transferência de energia através da realização de trabalho. Acrescente-se ainda haver uma seção que busca demonstrar as inconsistências em relacionar a definição física de trabalho à cotidiana; entretanto, não se aprofundam as discussões com base nos quatro princípios que regem a propriedade energia: conservação, transformação, transporte e degradação (DUIT; HEAUSLLER, 1994).

Os autores, ao apresentarem o conceito energia, o fazem através da expressão “a energia representa a capacidade de realizar trabalho” (MÁXIMO, ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 284). A partir disso, fazem todas as demais discussões e definições de energia. Nesse sentido, expressam, ao definir energia cinética que “qualquer corpo em movimento tem capacidade de realizar trabalho e, portanto, possui energia”. Ao definir energia potencial gravitacional, expõem que “podemos dizer que um corpo, a uma certa altura, possui energia, pois tem capacidade de realizar um trabalho ao cair” (MÁXIMO, ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 289). Observe-se que, nesse sentido, o objeto só terá capacidade de realizar trabalho depois que cair, ou seja, antes de cair, não teria energia, tornando incoerente a definição de energia potencial como capacidade de realizar trabalho.

Note-se a inversão, em termos de hierarquia conceitual, observada nessa estratégia de exposição: os autores tratam trabalho como um conceito mais geral do que energia. Nesse contexto, define-se energia como a capacidade de realizar trabalho, o que, conforme ressaltam Duit e Heausller (1994), não é adequado, estando em desacordo com a segunda lei da Termodinâmica.

Os autores ressaltam que, a energia potencial gravitacional está relacionada com a atração gravitacional de um corpo com a Terra; e a energia potencial elástica, com a interação com uma mola. Isso pode proporcionar a relação ao fato de a energia potencial estar relacionada à interação, o que, de acordo com o princípio da ação-reação, envolve pelo menos dois corpos. Entretanto, não se torna explícita a definição de energia potencial como propriedade de um sistema. Tal postura está em desacordo com a concepção científica abordada no Capítulo 4.

Ao tratar da conservação da energia, os autores classificam as forças em conservativas, e em dissipativas ou não conservativas. Note-se que, para eles, dissipativa representa o mesmo que não conservativa e vice-versa. Por outro lado, é preciso frisar que uma força que não conserva a quantidade de energia mecânica total de um sistema ao realizar trabalho não irá necessariamente reduzir essa quantidade, podendo provocar um acréscimo (por exemplo, a força realizada por uma mão ao erguer um fruto que estava no chão).

Além disso, os autores classificam um sistema mecânico como conservativo quando atuam apenas forças conservativas. Contudo, tal descrição não é coerente porque, caso a força não conservativa tenha realização de trabalho nula (como a força de tração em um pêndulo simples ou como a componente normal da força de contato com uma superfície fixa) o sistema ainda pode ser classificado como conservativo.

Ao apresentarem o princípio geral da conservação de energia, os autores o fazem sem se preocupar com a definição de sistema físico, sequer mencionando o Universo como o maior sistema a ser considerado. Além disso, apresentam o calor como uma forma de energia sem destacar seu significado presente apenas enquanto processo de transferência (o que é feito apenas no segundo volume). Faz-se uso também da expressão “calor gerado” em vez de quantidade de energia convertida em térmica: “no deslocamento de um corpo sob a ação da força de atrito, o que ocorreu foi a transformação em calor da energia mecânica que desapareceu” (MÁXIMO, ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 298).

A obra apresenta um tópico especial comentando a relação massa-energia, no qual é possível observar um esboço implícito do conceito de sistema físico ao mencionar “não apenas para a partícula material, mas para um corpo qualquer, a massa expressa todas as formas de energia guardadas internamente por ele” (MÁXIMO, ALVARENGA, 2010, v. 1, p. 308). Por outro lado, fica explícita a concepção de energia como modelo depositório (Linjse, 1990). A fim de evitar tal concepção, poder-se-ia utilizar a expressão: todas as formas de energia desse sistema em relação ao referencial do centro de massa dele.

No segundo volume da obra, ao apresentarem a definição de calor no contexto da primeira lei da Termodinâmica, o fazem indicando que “calor é a energia transferida de um corpo para outro em virtude, unicamente, de uma diferença de temperatura entre eles” (MÁXIMO, ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 73). Seguem-se comentários que visam a enfatizar que o conceito de calor só faz sentido enquanto transferência, sendo cientificamente incorreta a expressão coloquial “possuir calor”. Nesse contexto, os autores apresentam sucintamente o conceito de energia interna indicando que, para um corpo, “é a energia que ele possui em seu interior” (MÁXIMO, ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 73), relacionando-a à temperatura.

No quarto tópico do terceiro capítulo do segundo volume, é discutido o significado físico da palavra sistema:

A palavra sistema é usada, na Física, para designar um corpo (ou um conjunto de corpos) sobre o qual fixamos nossa atenção a fim de estudá-lo. Tudo aquilo que não pertencer ao sistema, isto é, o resto do universo, denomina-se vizinhança do sistema. Um sistema pode trocar energia com sua vizinhança sob a forma de calor ou pela realização de trabalho. (MÁXIMO, ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 86)

A partir dessa definição, abre-se a discussão acerca do significado dos sinais convencionados para os valores do trabalho e do calor envolvidos na transformação de um sistema. Contudo, ao discutir o significado do sinal do trabalho, o texto limita-se às nomenclaturas “trabalho realizado pelo sistema” e “trabalho realizado sobre o sistema”. Sem haver exposição das relações entre o sinal do valor do trabalho e o sentido da transferência de energia, perde-se a oportunidade de dar significado a essa quantificação. Com isso, estimula-se a memorização literal, que pode culminar com esquecimento a curto-prazo (NOVAK, 2000).

No tópico seguinte, há uma associação entre energia e estado do sistema no seguinte trecho:

Quando um sistema vai de um estado inicial i a outro final f , ele geralmente troca energia com sua vizinhança [...] (absorve ou libera calor e realiza ou recebe trabalho). Consequentemente, sua energia interna sofre variações, passando de um valor inicial U_i para um valor final U_f . (MÁXIMO, ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 89)

Pode-se observar, entretanto, que não é feita uma análise explícita do fato de energia representar uma propriedade de estado do sistema. Sem tal abordagem, perde-se a oportunidade de enfatizar que, ao contrário de calor e de trabalho, que representam valores de energia transferidos, a energia interna é uma propriedade que existe em função do estado do

sistema. Trabalho e calor apresentam valores que dependem de como o processo, ou seja, a transformação do sistema ocorreu, por outro lado, a energia, por ser uma propriedade, uma função de estado, tem sua variação dependente apenas dos estados inicial e final, independente dos estados intermediários (SERWEY; JEWETT JR, 2012).

A segunda lei da Termodinâmica é apresentada apenas em um tópico especial, relacionada às máquinas térmicas, segundo o enunciado de Kelvin. Entretanto, após um apêndice acerca do estudo dos rendimentos das máquinas térmicas e do “teorema de Carnot”, apresenta-se um quadro intitulado “algumas informações adicionais” acerca do conceito entropia. Nesse quadro, há uma discussão completa acerca de reversibilidade, desordem e indisponibilidade de energia. Nesse contexto, os autores contradizem a definição inicial de energia como capacidade de realizar trabalho, ao analisarem a frenagem de um bloco ao deslizar sobre uma superfície áspera, havendo redução da energia mecânica e aumento da energia térmica do sistema:

Este processo também é irreversível, pois a energia térmica não poderia, espontaneamente, voltar a aparecer como energia cinética do bloco como um todo, colocando-o em movimento. Isto é, a energia cinética do bloco como um todo (ordenada macroscopicamente) se distribui, desorganizando-se, em energia cinética das partículas que constituem o sistema (energia térmica). Também neste caso, a energia cinética do bloco que poderia ter sido utilizada para realizar trabalho útil, agora, sob a forma de energia térmica, perdeu sua capacidade de realizar trabalho. (MÁXIMO, ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 123)

Note-se que surge a seguinte contradição: energia térmica não seria energia já que não representaria a capacidade de realizar trabalho, segundo a definição inicial dos autores desta obra. Assim, vê-se a incoerência em definir energia como capacidade ou habilidade de realizar ou efetuar trabalho.

Acrescente-se ainda que o princípio do aumento da entropia em processos irreversíveis não é apresentado como enunciado da segunda lei da Termodinâmica. Uma vez que essa lei apresenta vários enunciados, aparentemente não relacionados, seria possível interligá-los através do princípio do aumento de entropia em transformações irreversíveis.

Quanto aos aspectos gerais da exposição do conteúdo energia, observa-se que a introdução apresenta apenas a contextualização do conceito energia sem discutir seu significado como propriedade física. Nesse sentido, não se verifica a introdução como uma ponte entre os conhecimentos prévios relevantes e os que serão apresentados a seguir, haja vista a apresentação imediata da definição matemática de trabalho.

Portanto, o conceito mais específico trabalho é apresentado relacionado a uma “medida de energia”, sem discussão do significado desta. Contudo, após apresentar os conceitos mais específicos, trabalho e calor, busca relacioná-los ao mais inclusivo, energia, denotando potencial reconciliação integradora. Tal fato é observado também na abordagem do anexo referente ao conceito de entropia, voltando a relacionar os conceitos.

A construção do conhecimento científico não foi apresentada em conjunto com a abordagem do conteúdo, limitando-se a quadros que tratam de breves fatos biográficos dos cientistas envolvidos. Além disso, as definições são apresentadas como “produto acabado”, sem menção à conveniência das construções conceituais ou às discussões históricas envolvidas. Por outro lado, é evitado o uso do termo “descoberta”, ressaltando as ideias de construção de modelos mais convenientes na explicação dos fenômenos como no trecho: “a antiga ideia de que um corpo mais aquecido possui maior quantidade de calórico começava a ser substituída pela ideia de que este corpo possui, realmente, maior quantidade de energia em seu interior” (MÁXIMO, ALVARENGA, 2010, v. 2, p. 72).

Quanto ao uso de organizadores gráficos, são apresentados esquemas referentes a fluxos de energia entre sistemas, mas não são utilizados com potencialidades para facilitar as relações entre conceitos. Assim, perde-se a oportunidade de expor de forma mais clara e sintética as relações entre os conceitos apresentados, enfatizando conexões e reduzindo contradições.

Finalmente, é importante ressaltar a observação de falhas conceituais, as quais, segundo o PNLD 2012, deveriam constituir critério eliminatório (BRASIL, 2011). Contudo, a concepção de energia como capacidade de realizar trabalho ainda está presente em alguns exemplares da literatura de ensino superior, como na obra de Nussensveig (2002).

6.3 Coleção 3 - Física para o Ensino Médio

Essa coleção de livros didáticos de Física para ensino médio é de autoria de Luiz Felipe Fuke e de Kazuhito Yamamoto, sendo intitulada Física para o Ensino Médio. Segundo o Guia de Livros Didáticos PNLD 2012:

A obra é composta por três volumes, cada um subdividido em unidades, as quais estão organizadas em capítulos estruturados em seções. Os conteúdos são desenvolvidos nos capítulos, a partir de um texto principal, acompanhado de ilustrações e de um conjunto de seções identificadas por: Outras Palavras (apresenta textos de livros, artigos de jornais e sítios da internet, nos quais o assunto em estudo é abordado); Atividade Prática (propõe algumas atividades experimentais); Física na História (apresenta elementos históricos, políticos ou sociais que acompanham o

desenvolvimento das teorias ou conceitos abordados); A Física no Cotidiano (traz algumas conexões dos conteúdos da Física com o cotidiano); e Para Saber Mais (traz algumas sugestões de revistas, filmes, aplicativos e sítios da internet). (BRASIL, 2011, p. 84)

Seguem-se os fragmentos referentes ao conteúdo energia segundo a sequência apresentada no índice do livro didático:

- a) volume 1
 - unidade 3 – Dinâmica: Trabalho e potência, Energia mecânica
- b) volume 2
 - unidade 1 – Termologia: Termodinâmica.

6.3.1 Concepções alternativas de energia

Encontraram-se, nessa coleção, passagens em que são valorizadas as possíveis concepções prévias dos leitores, na abordagem do tema. Em uma delas, expõe-se que o conceito cotidiano de trabalho está relacionado à aplicação de forças e faculdades humanas. Além disso, ressalta-se que “É comum entendermos energia como sinônimo de alegria, disposição, vigor, veemência ou vontade, ou associá-la a variados tipos de movimento, ou, ainda, à capacidade de pensar, planejar e executar tarefas.” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p.278). No contexto do estudo da Termologia, os autores enfatizam que não há sentido em mencionar que um corpo possui calor, sugerindo o uso do termo energia térmica.

Com isso, são contempladas as concepções alternativas referentes aos conceitos trabalho, calor e energia. Contudo, não se observaram propostas de releitura dessas concepções à luz das concepções científicas. Caso os autores definissem energia como propriedade de um sistema físico e calor e trabalho como processos de transferência, evitar-se-ia a concepção de calor como uma propriedade de um corpo. Assim, seria possível inibir as concepções equívocas de energia.

6.3.2 Concepções equívocas de energia

Nessa coleção, observou-se a visão antropocêntrica ao apresentar-se energia como algo do qual depende o homem para sobreviver. A visão depositária é explicitamente apresentada através do uso do termo “armazenada” na exposição do conceito de energia potencial. Além disso, verificou-se a presença da concepção de energia como causa das

transformações como, por exemplo, em: “Certo é que a energia atua como agente em todas as transformações” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 279).

Energia como capacidade de realizar trabalho apresenta-se em vários trechos do texto da obra, o que se observa em: “conceituamos energia, formal e genericamente, como a capacidade de um sistema físico realizar trabalho” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 279). Com isso, os autores reforçam a associação que procuram fazer entre energia e a capacidade de realizar trabalho à revelia do princípio da degradação de energia. Dessa forma, no contexto da exposição da segunda lei da Termodinâmica – no qual se deveria apresentar a degradação da energia nas transformações irreversíveis, conservando-se, mas perdendo a capacidade de ser transferida através de realização de trabalho mecânico – encontra-se uma inadequação na afirmação de que o valor da energia significa o valor do poder de realizar trabalho.

6.3.3 Quatro aspectos do conceito energia

Os quatro aspectos que caracterizam o conceito energia são apresentados pelos autores. Contudo, o conceito de degradação é mencionado apenas ao final do estudo da Termodinâmica, no segundo volume da obra. Tal princípio é fundamental para que se compreenda significativamente o conceito energia (DUIT; HEAUSSLER, 1994).

Observa-se a conservação da energia em: “Atualmente sabemos que a energia elétrica não é um recurso material e que ela não pode ser criada ou destruída, mas sim obtida a partir da transformação de outra forma de energia.” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 280); “a quantidade total de energia existente no Universo permanece sempre a mesma, não havendo portanto criação ou destruição dela, mas tão somente sua transformação, de uma forma em outra. Assim fica enunciado o Princípio Geral de Conservação de Energia.” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 289); além disso, menciona-se que:

a rigor, em praticamente todas as situações existe a presença de forças dissipativas [...]. Mas, [...] ainda assim é possível dar sentido ao princípio de conservação: basta reformularmos a expressão, incluindo as parcelas convertidas pelas forças dissipativas em outra forma de energia (térmica, sonora etc.) (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 290).

Note-se que, durante as abordagens da conservação da energia total, são mencionadas as transformações. Além disso, ressalta-se que se admite, por princípio, que energia é algo que se conserva, devendo-se reformular as expressões matemáticas a fim de

considerar que o valor total permanece constante. Nesse âmbito, reforça-se o conceito de transformação, ou seja, de mudança na forma de manifestação. Com tais considerações, o aluno poderá verificar que a manifestação da energia não é sempre imediatamente perceptível, mas que, mesmo assim, o princípio da conservação deve ser respeitado, devendo-se investigar as novas formas de manifestação possíveis.

A transferência de energia é ressaltada através do conceito de trabalho:

[...] o trabalho tem valor positivo: isso significa que a força realiza um trabalho motor, que favorece o deslocamento do objeto no qual atua; nessa situação, dizemos que o agente que aplica a força fornece energia ao objeto. [...] o trabalho tem valor negativo: o que significa que a força realiza trabalho resistente sobre o corpo, que se opõe ao deslocamento; dizemos que o agente que aplica a força retira energia do objeto. (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 262)

Note-se que é exposta a relação entre o sinal do trabalho e o sentido da transferência de energia. Assim, o aluno pode diferenciar o conceito de energia, a partir da interação com o conceito de trabalho, construindo significado para o sinal do valor obtido no cálculo do trabalho mecânico. Dessa forma, conforme ressaltam Ausubel (2003) e Novak (1977), mesmo que o aluno não consiga se recordar das especificidades do conceito energia em relação ao trabalho mecânico, havendo obliteração, o conceito mais geral já terá sido diferenciado, tendo um novo significado, mais estável.

O conceito de calor também vem relacionado à transferência de energia: “A condução térmica é a propagação do calor na qual a energia (térmica) se transmite de partícula para partícula” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 41).

Quanto à degradação de energia, os autores mencionam que “uma parte da energia sempre termina por se transformar em formas menos ‘úteis’ ou ‘desorganizadas’” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 119) Contudo, não se resalta o termo “degradação”, limitando-se à ideia de forma menos útil. Com isso, perde-se a oportunidade de construir-se tal conceito, dando significado a ele, contextualizando-o no estudo da Termodinâmica.

6.3.4 Concepções dos conceitos correlatos a energia

Os autores definem entropia como uma medida de “quanto o sistema se desorganiza” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 120) ao final de um processo. A definição mais adequada seria de entropia como uma propriedade extensiva de um sistema físico, que pode representar a desorganização desse sistema. Por outro lado, expõem que a entropia

representa o aumento da desorganização. Posteriormente, relaciona-se essa desorganização a energia em forma menos “útil”.

O conceito de entropia é apresentado também no contexto da segunda lei da Termodinâmica: “A entropia permanece constante nos processos reversíveis, mas aumenta nos processos irreversíveis.” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 120). Com tal exposição, estimula-se a memorização literal, haja vista não se enfatizarem as relações entre os conceitos, buscando dar significado à proposição apresentada. A fim de obter-se aprendizagem significativa, seria interessante construir um significado para desorganização, relacionando-o ao rótulo entropia e ao conceito de degradação de energia, através do estudo da irreversibilidade.

O conceito trabalho é abordado como relacionado a transformações nos objetos sobre os quais é realizado: “realiza-se trabalho quando um conjunto de forças é aplicado sobre determinado objeto e provoca ou cessa seu deslocamento, ou causa deformações nele.” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 260). Quanto ao sinal do trabalho, restringe-se, inicialmente à classificação quanto a motor ou resistente. Posteriormente, ao abordar o teorema trabalho-energia cinética, expõe-se a ideia de acréscimo ou de retirada de energia relacionados ao sinal do trabalho: “Quando há acréscimo da energia cinética de um sistema, $\tau_{Fr} > 0 \rightarrow \Delta E_c > 0$, ou a retirada, $\tau_{Fr} < 0 \rightarrow \Delta E_c < 0$ ” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 286).

O conceito de trabalho, que representa transferência ou transformação de energia, é confundido com o conceito de energia, que representa propriedade de um sistema: “Veremos como a energia mecânica se transforma em trabalho.” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 279); “Energia externa é a energia trocada pelo sistema com o meio exterior na forma de calor e trabalho, não fazendo parte dele.” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 105). Com tal confusão conceitual, pode-se classificar tal material como não potencialmente significativo, do ponto de vista lógico. Assim, impossibilita-se a aprendizagem significativa, a qual é condicionada pelo fato de o material a ser aprendido ter de apresentar-se potencialmente significativo (AUSUBEL, 2003).

Calor é definido como energia térmica em trânsito: “Calor é a energia térmica em trânsito que está sendo transferida de um corpo a outro devido à diferença de temperatura existente entre eles” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 13), ressaltando que “não há sentido em dizer ‘o calor de uma partícula, corpo ou substância, objeto ou sistema’, pois ele não está contido na matéria. Nesse caso o correto é falar energia térmica de um corpo ou objeto e do calor cedido ou recebido por ele” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 13). Além

disso, nesses trechos, evidencia-se a concepção de energia relacionada a algo “contido” em um corpo.

Note-se que, se algo está em trânsito ao longo de uma série de partículas, por um instante (um intervalo de tempo que tende a zero), terá de estar associado a uma partícula em especial. Tal proposição dificulta, portanto, a diferenciação entre algo que é, por definição, propriedade de um corpo (energia) e algo que está em transferência (calor), sendo propriedade apenas por um instante. Assim, a definição de calor como um processo de transferência de energia evitaria tal confusão entre ser ou não ser propriedade.

Define-se energia térmica, nessa obra, como “a soma das energias cinéticas decorrentes da agitação das partículas que constituem a matéria” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 12).

Os autores definem e classificam um sistema físico:

Denomina-se sistema toda a região do espaço que é objeto de estudo; ela é separada do restante do universo por uma superfície fechada, real ou imaginária, chamada fronteira.[...] Sistema isolado é aquele que não troca energia nem matéria com o meio externo. Não existe um sistema isolado perfeito, mas podemos citar a garrafa térmica como um bom exemplo de sistema que fica isolado por um curto período de tempo. [...] Sistema fechado é aquele que troca energia, mas não matéria com o meio externo[...] Sistema aberto é aquele que troca energia e/ou matéria com o meio externo. Sistema termicamente isolado é o sistema que não troca calor com a vizinhança, ainda que nele possa ocorrer alguma modificação. (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 101)

Tal consideração seria bem-vinda no primeiro volume, a fim de dar significado à energia como uma propriedade extensiva de um sistema. Contudo, mesmo tardiamente, essa definição é fundamental para a compreensão do conceito energia e das leis da Termodinâmica.

Ao definir a energia de um sistema, os autores ressaltam que:

Há várias características de um sistema que contribuem para a determinação de sua energia: interações com campos – gravitacional, elétrico ou magnético –, movimentos em relação a referenciais inerciais, ou a própria configuração interna de seus componentes [...]. Se quisermos apenas caracterizar a energia associada aos elementos de que o sistema é constituído, estaremos falando de sua energia interna. (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 101)

Nesse trecho, nota-se a definição de energia como propriedade de um sistema, relacionada ao seu estado, ou seja, às configurações de seus componentes. Tal concepção poderia ter sido utilizada ainda no primeiro volume, com a finalidade de dar significado à energia potencial gravitacional como propriedade do sistema objeto-planeta, por exemplo.

Ao diferenciar energia interna de energia externa, os autores confundem este último com energia transferida: “Energia externa é a energia trocada pelo sistema com o meio exterior na forma de calor e trabalho, não fazendo parte dele. Energia interna é a energia que está no interior do sistema, ou seja, é intrínseca a ele.” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 101). Mais uma vez, apresenta-se a confusão entre processos de transferência de energia e propriedade energia. Assim, apresentam-se de forma incorreta os conceitos, estando em desacordo com um critério eliminatório do PNL D 2012 Física (BRASIL, 2011).

Ocorre também confusão entre o conceito de calor e o conceito de energia térmica. Mesmo que se considere calor apenas a energia térmica que esteja em trânsito, no trecho: “sempre podemos converter toda a energia mecânica de um processo em calor” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 99), o termo calor ocupa o lugar de energia térmica, haja vista que o termo calor só teria sentido enquanto transferência.

Quanto à energia potencial, é abordada simultaneamente como “do corpo” e como “do sistema”, conforme em: “Essa energia – do tipo potencial – fica latente no corpo, até ele ser largado, graças à ação do campo gravitacional e pertence ao sistema lápis-terra” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 287). Nas demais definições de energia potencial, os autores dão preferência ao uso da expressão “do sistema”: “Energia potencial é uma forma de energia latente armazenada em um sistema físico” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 287). Por outro lado, os autores não fazem uso da expressão “energia de posição” para definir a energia potencial. Assim, perde-se a oportunidade de tratar o conceito de energia potencial como a propriedade de um sistema, relacionada à forma como suas partes interagem e como se distribuem espacialmente.

Pelo que foi observado na análise da definição de energia potencial, verifica-se que os autores ressaltam a propriedade energia como algo inerente a um sistema físico. Além disso, frisam que “Assim como a posição e a velocidade, a energia é uma grandeza física que também depende do referencial” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 287). Tal postura está de acordo com a concepção científica, academicamente aceita e defendida por Doménech *et al.* (2005).

6.3.5 Organização da exposição

A introdução do capítulo acerca de trabalho e potência valoriza as ideias comuns acerca do uso de força para a realização de tarefas. Os exemplos fornecidos pelos autores para dar sentido à ideia de trabalho são apresentados através de imagens, ressaltando a relação

entre força e produção de movimento. Nesse contexto, ressalta-se que a força aplicada pode ocorrer colaborando positiva ou negativamente com a efetivação do deslocamento. A energia, para os autores, é necessária para a realização de trabalho.

Dessa forma, os autores partem das concepções prévias comuns com a finalidade de introduzir os conceitos na concepção científica, conforme indicam:

Veremos nos próximos capítulos que energia é uma grandeza física, associada à matéria nas transformações do Universo. Por enquanto, estudaremos o trabalho como grandeza física, vendo a aceção que lhe convém, do ponto de vista da Física, e, sempre que necessário, invocaremos o termo energia nos processos dinâmicos de movimento ou deformação. (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p.260)

Observe-se que o conceito específico trabalho apresenta-se, nesse trecho, relacionado à ideia, mesmo que ainda provisória, do conceito energia presente nas concepções dos alunos. Além disso, os autores informam que haverá maiores discussões a respeito desse assunto posteriormente, no livro.

É demonstrada preocupação com a linguagem ao definir fisicamente a grandeza trabalho, ressaltando que há diferenças entre a concepção costumeira (de atividade ou de serviço prestado) e a concepção física (relacionada ao deslocamento dos corpos num processo que pode culminar com alteração de velocidade ou com deformação, envolvendo a aplicação de uma força). Além disso, ressalta-se que, fisicamente, o trabalho é realizado por uma força e, ao indicar-se que um corpo realizou trabalho, quer-se dizer que a força aplicada pelo corpo realizou trabalho:

O verbo trabalhar tem significados bem abrangentes. Na Física, porém, realiza-se trabalho quando um conjunto de forças é aplicado sobre determinado objeto e provoca ou cessa seu deslocamento, ou causa deformações nele – por exemplo, no comprimento de uma mola. Assim, é a força que “realiza trabalho”, durante o transcorrer do deslocamento de um objeto. Portanto, a frase “trabalho realizado por um indivíduo ou máquina” é inadequada segundo a terminologia da Física, mas é usada eventualmente. Nesse caso, deve-se entender como “trabalho realizado pela força aplicada pelo indivíduo ou máquina”. (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 260)

Antes de definir a expressão matemática que obtém o valor do trabalho, os autores buscam justificá-la através da análise de um caso, remadores movimentando barcos. Apenas após essa discussão, analisando os conceitos envolvidos, a equação é apresentada, considerando-se o significado dos sinais dos valores obtidos no cálculo do trabalho. Com isso, nota-se a intenção de construir uma justificativa para a definição da expressão matemática que define o trabalho de uma força constante. Assim, os autores evitam apresentar a equação

como um produto pronto e acabado, justificando-a através da análise de situações experimentais. Nesse sentido, foge-se do estímulo à memorização literal da expressão matemática, dando significado a ela, o que torna o material potencialmente significativo no âmbito lógico.

No capítulo que trata do conceito energia mecânica, o primeiro parágrafo apresenta as concepções alternativas de energia tais como “alegria, disposição, veemência ou vontade, [...] tipos de movimento, [...] capacidade de pensar, planejar e executar tarefas” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 279). Além disso, expõem o seguinte discurso: “Conceituamos energia, formal e genericamente, como a capacidade de um sistema físico realizar trabalho. Mas esse enunciado não diz muito. Certo é que a energia atua como agente de todas as transformações” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 279). Dessa forma, além de apresentar-se uma conceituação que contradiz a segunda lei da Termodinâmica, define-se energia como um ingrediente funcional para que ocorram as transformações, o que representa uma concepção alternativa, não científica. Assim, apresenta-se um critério eliminatório do PNLD 2012 (BRASIL, 2011), ao expor de modo incorreto um conceito.

Há, em seguida, um texto cujo título é “A energia e a humanidade”, que discute as transformações de energia no contexto das matrizes energéticas das nações. Nessa seção, os autores ainda afirmam que: “independentemente da fonte, é muito raro que utilizemos a energia tal como a obtemos na natureza, e precisamos transformá-la em formas mais adequadas: nas refinarias que transformam o petróleo em óleo diesel, gasolina e outros derivados” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 281). Com tal exposição, apesar de ressaltar-se uma concepção antropocêntrica no título, enfatiza-se a existência de diversas formas de manifestação da energia, mostrando-se a conveniência de algumas dessas formas. Tal procedimento introduz de forma conveniente o aspecto da transformação da energia, sugerido por Duit e Heausller (1994).

Na seção que trata da definição de energia cinética, os autores a fazem propondo suposições experimentais e análise das equações anteriormente estudadas nos contextos da cinemática do movimento uniformemente variado e da segunda lei de Newton. Ainda nessa análise os autores apresentam um organizador gráfico, que poderia ser interpretado como uma parte de um mapa conceitual relacionando os conceitos: variação de velocidade, aceleração, força resultante e realização de trabalho. Essa forma de exposição simula alguns aspectos de uma pesquisa científica no modelo indutivo, analisando-se os resultados nas tabelas. Com isso, além de trazer para a sala de aula a construção do conhecimento científico, os autores buscam construir o significado das relações matemáticas, evitando a memorização literal.

Na definição de energia potencial, os autores partem de experiências comuns, tais como erguer um lápis e deixá-lo cair. Com isso, consideram que foi necessário realizar trabalho para erguê-lo, trabalho esse que fora realizado por um agente externo (no caso a mão que o levantou) e apresenta-se como energia potencial do sistema lápis-terra:

Na verdade, a velocidade adquirida pelo lápis, se você o largasse, seria devido à interação dele com o campo gravitacional terrestre; então, a parcela de energia recebida pelo objeto, desde que se iniciasse a queda até ele alcançar o solo, seria atribuída ao campo gravitacional. Essa energia – do tipo potencial – fica latente no corpo, até ele ser largado, graças à ação do campo gravitacional e pertence ao sistema lápis-Terra. (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 287)

Note-se, por outro lado, que a expressão “a quem pertence a energia” depende da fronteira escolhida para o sistema ser observado. Caso o sistema seja o lápis-Terra, há energia potencial que, durante a queda é transformada em energia cinética do lápis. Note-se que a Terra, por ter massa muito maior do que a do lápis tem deslocamento desprezível devido à força de reação (se a Terra atrai o lápis, este atrai aquela com uma força de mesma intensidade, mesma direção, mas de sentido oposto). Contudo, caso o sistema observado seja limitado a apenas o lápis, pode-se interpretar que houve transferência de energia da vizinhança (que envolve o planeta Terra e seu campo gravitacional) para o lápis.

A definição de energia potencial fica restrita ao uso do termo “latente”, não havendo vínculo explícito à expressão “energia referente a posição”. Por outro lado, ressalta-se a necessidade de um sistema de referência tanto para a averiguação de posições quanto de velocidades: “Assim como a posição e a velocidade, a energia é uma grandeza física que também depende do referencial” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 287). Além disso, define-se como energia potencial o trabalho que a força considerada realizaria num deslocamento até uma posição de referência. Não são discutidas as características da reversibilidade desses processos, ou seja, que o valor do trabalho realizado por essas forças independe da trajetória (dependendo apenas das posições inicial e final), sendo nulo em um percurso fechado (quando a posição final coincide com a inicial). Por outro lado, define-se a energia potencial gravitacional como “trabalho que o peso do objeto realiza durante seu deslocamento, do nível considerado até o nível de referência” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 288) e energia potencial elástica como “trabalho realizado pela força elástica da mola sobre o objeto que a deforma, ao longo do trajeto da deformação x , isto é, do ponto O até P ” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 288). O ponto O , para os autores, corresponde à posição com a mola sem deformação e o ponto P , à posição com a mola deformada. Nesse

trajeto, a mola resiste à sua deformação e o trabalho realizado pela força elástica é negativo. Portanto, segundo esse raciocínio, proposto pelos autores, a energia potencial elástica deveria ter valor negativo, o que está incoerente com a definição matemática proposta por eles ($kx^2/2$). A falha ocorreu, porque deveriam ter definido com o deslocamento no sentido oposto ao proposto, ou seja, a energia potencial elástica corresponde ao trabalho realizado pela força elástica do ponto P ao ponto O, no trajeto em que perde sua deformação.

O enunciado do princípio da conservação da energia trata da conservação da energia mecânica como um caso particular em que trabalha apenas um tipo de força, a conservativa. Quando outros tipos de força realizam trabalho, os autores ressaltam que se converte parte da energia mecânica em outras modalidades: “mesmo que haja perda de alguma parcela da energia de movimento ou potencial, ainda assim é possível dar sentido ao princípio de conservação: basta reformularmos a expressão, incluindo as parcelas convertidas pelas forças dissipativas em outra forma de energia (térmica, sonora etc.)” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 290). Nesse sentido, pode-se observar que a exposição desse conteúdo traz o princípio de conservação da energia como um conceito mais geral, subsumindo a conservação da energia mecânica. Assim, proporciona ao aluno concluir que, se a energia mecânica não se conservar, haverá a manifestação de outra forma de energia, conservando-se o valor total.

No segundo volume da obra, os autores introduzem o capítulo a respeito da primeira lei da Termodinâmica a partir de considerações em relação a transformações que envolvem conversão de energia. Nessa conjuntura, o Princípio da Conservação da Energia é discutido relacionando-se, principalmente, as conversões de energia mecânica em “calor” (termo utilizado pelos autores em vez de energia térmica). A fim de contextualizar o uso desse princípio, os autores ressaltam que “hoje, a Termodinâmica se ocupa com quaisquer transformações de energia em sistemas macroscópicos” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 100).

Antes de enunciar as leis da Termodinâmica, há uma seção para discutir o que representa um sistema físico. Assim, é ressaltado que: “denomina-se sistema toda a região do espaço que é objeto de estudo; ela é separada do restante do universo por uma superfície fechada, real ou imaginária, chamada fronteira” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 100). Acrescenta-se que “os sistemas termodinâmicos são chamados de macroscópicos porque são formados por um número enorme de partículas [...], para as quais escrever (e resolver) as equações de movimento seria uma tarefa impossível” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p.100). Além disso, são apresentadas classificações para os sistemas (isolado, fechado, aberto,

termicamente isolado), proporcionando mostrar como eles podem interagir com a vizinhança. A seguir são caracterizadas as variáveis de estado, propriedades que caracterizam o estado do sistema e cujas alterações caracterizam a existência de um “processo termodinâmico”.

Com essa definição ampla de sistema físico, seria possível subsumir o conceito de energia como uma propriedade dele. Caso essa discussão fosse apresentada ainda no primeiro volume, na introdução da definição de energia, facilitar-se-ia a compreensão dessa propriedade, associada à transferência e à transformação (relacionadas aos conceitos de trabalho e de calor), culminando com a aprendizagem significativa dos princípios de conservação e de degradação. Contudo, os autores construíram conceitos de energia interna e de energia externa em desacordo com as concepções científicas. Assim, a construção lógica das proposições que relacionam os conceitos fica prejudicada, podendo inibir a aprendizagem significativa.

No tocante à caracterização da energia, os autores propõem que há várias propriedades do sistema que contribuem para a determinação de seu valor, tais como, as interações internas e os movimentos:

Há várias características de um sistema que contribuem para a determinação de sua energia: interações com campos – gravitacional, elétrico ou magnético –, movimentos em relação a referenciais inerciais, ou a própria configuração interna de seus componentes, tais como os deslocamentos das partículas que o compõem e as interações entre elas. Se quisermos apenas caracterizar a energia associada aos elementos de que um sistema é constituído, estaremos falando de sua energia interna. (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 101)

Tal caracterização representa uma definição mais geral de energia do que se encontra no âmbito da mecânica. Assim, essa construção de significados mais gerais, mais abstratos poderia ser apresentada na introdução ao tema, a fim de que houvesse a diferenciação progressiva, ao longo dos estudos específicos de energia mecânica, gravitacional, elástica e elétrica. Acrescente-se que é necessário cuidado na construção de um organizador prévio, a fim de poder proporcionar uma visão mais abstrata do contexto conceitual a ser trabalhado, evitando-se apenas listar os tópicos a serem abordados futuramente.

Para o caso de um gás ideal, restringe-se o estudo às energias cinéticas das partículas (moléculas) que o constituem, desprezando-se as interações eletromagnéticas, gravitacionais e outras, nessa obra. Perde-se a oportunidade de ressaltar energia como uma propriedade do sistema e não apenas como “alguma coisa” que tem relação com propriedades do sistema propriedades.

A apresentação da primeira lei da Termodinâmica ocorre a partir da caracterização da energia total de um sistema como subdividida em duas partes, interna e externa. Os autores fazem a seguinte definição: “Energia externa: é a energia trocada pelo sistema com o meio exterior na forma de calor e trabalho, não fazendo parte dele. Energia interna: é a energia que está no interior do sistema, ou seja, é intrínseca a ele.” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 105). Dessa forma, faz-se uso do termo “energia externa” para referirem-se às transferências, variações de energia do sistema (caracterizadas por calor e trabalho) devido à interação com a vizinhança. Tal formulação, conforme mencionado anteriormente, encontra-se em desacordo com a concepção científica proposta por Serway e Jewett Jr (2012).

Nessa coleção, a segunda lei da Termodinâmica é apresentada a partir do conceito de entropia. Tal introdução é feita partindo-se da análise de uma expansão livre de mistura gasosa e de uma troca de calor até o equilíbrio térmico. É ressaltado que, em ambos os casos, os processos ocorrem espontaneamente, mas a reversão, não. A seguir, argumenta-se que é impossível “transformar” completamente calor em trabalho porque há uma tendência da energia em desorganizar-se, em tornar-se menos útil:

[...] não é possível transformar todo o calor trocado em um processo em trabalho. Essa não é uma questão de ‘limitação tecnológica’, mas a decorrência do que ocorre com os sistemas termodinâmicos: uma parte da energia sempre termina por se transformar em formas menos “úteis” ou “desorganizadas” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 119).

Entropia é definida erroneamente como variação de entropia pelos autores dessa coleção. Note-se que entropia é compreendida atualmente como uma propriedade de um sistema que caracteriza sua desordem ou o quão indisponível está a energia para realização de trabalho. Portanto, o correto seria enunciar que ao mencionado acréscimo foi dado o nome de variação de entropia, sendo essa variação uma medida de o quanto o sistema tornou-se mais desorganizado ao final do processo.

Segue-se a definição de Clausius para a segunda lei da Termodinâmica, bem como a apresentação dela através do conceito de entropia. Há ainda um texto complementar descrevendo o caráter probabilístico da entropia, antecedendo o estudo das máquinas térmicas e das máquinas frigoríficas. O ciclo de Carnot é apresentado como sendo aquele que proporciona o máximo rendimento entre duas fontes térmicas, contudo não se apresenta o porquê disso, a partir do conceito de entropia.

Um estudo matemático aprofundado de entropia não seria adequado para o ensino médio. Contudo, é possível abordar conceitualmente o fato de o ciclo de Carnot constituir

uma série de transformações reversíveis, o que evitaria a degradação de energia, conseguindo o máximo de realização de trabalho mecânico.

As conclusões de Sadi Carnot acerca do funcionamento das máquinas térmicas, impossibilitadas de “converter todo o calor em trabalho”, parecem ser apresentadas ainda com o uso das concepções de calor como fluido calórico: “pode-se demonstrar que, no ciclo de Carnot, a quantidade de calor Q_1 retirada do reservatório quente e a parcela descartada para o reservatório frio Q_2 são proporcionais, respectivamente, às suas temperaturas absolutas” (FUKE; YAMAMOTO, 2010, v. 2, p. 125). O uso de tal linguagem pode fazer o aluno compreender essas concepções superadas como se fossem válidas, dificultando o processo de aprendizagem significativa devido à falta de lógica do material didático.

Acrescente-se, finalmente, que há um texto acerca da contextualização do conceito entropia estendendo sua aplicação a diversas situações cotidianas, além de provocar a reflexão acerca da morte térmica do universo. Assim, apesar das falhas comentadas acerca da conceptualização ao longo da exposição, esse texto é capaz de provocar uma reconciliação entre os conceitos, integrando-os num repensar acerca do que já fora apresentado.

Em relação à sequência geral de exposição, observou-se que as introduções aos temas são feitas valorizando algumas concepções alternativas. Apesar disso, não se apresentam reinterpretações dessas concepções alternativas de energia à luz dos princípios que a regem cientificamente. O conceito de trabalho é subsumido ao conceito de energia, contudo, esta é apresentada através das próprias concepções alternativas, equivocadamente expostas como legítimas pelos autores.

Quanto à construção histórica do conhecimento científico, encontra-se a abordagem da construção do conceito energia em um quadro, no volume 1, página 282, com um texto de Antônio Pires, retirado da obra “Evolução das ideias da Física”. Trata-se de uma contextualização histórica, discutindo o uso das palavras que representam os conceitos. De acordo com esse texto, é possível verificar que concepções atualmente consideradas alternativas, equivocadas, outrora foram consideradas científicas. Entretanto, tal discussão não é apresentada no texto dos autores, parecendo ficar a critério do professor essa abordagem.

A reconciliação integradora não é explicitamente apresentada, haja vista os autores não buscarem retornar na hierarquia e ressaltar as relações significativas entre os conceitos mais específicos e os mais inclusivos, ao final dos capítulos. O conceito de sistema (mais inclusivo que o de energia) é apresentado e detalhado no segundo volume. Contudo, não se faz uso desse conceito como subsunção de energia.

Quanto ao uso de organizadores gráficos, são apresentados esquemas referentes a fluxos de energia entre sistemas. Um organizador é apresentado como um mapa conceitual tipo diagrama de fluxo, buscando facilitar a compreensão das relações entre conceitos, conforme Figura 7.

Figura 7 – Mapa conceitual tipo diagrama de fluxo apresentado na coleção 3.



Fonte: FUKU; YAMAMOTO, 2010, v. 1, p. 286.

Entretanto, Moreira (2006) ressalta que uma “interpretação errônea acerca dos mapas de conceitos é pensá-los ou construí-los como diagramas de fluxo” (p. 92). Além disso, enfatiza que não é preciso um mapa conceitual para expressar uma sequência de conceitos, constituindo uma “perda de tempo”. Apesar do ponto de vista expresso por Moreira, pode-se considerar que tal diagrama tem o potencial de ser expandido, dando início a uma abordagem mais complexa, proporcionando a construção de novos significados, por parte dos professores e dos alunos.

6.4 Coleção 4 – Conexões com a Física

Essa coleção de livros didáticos de Física para ensino médio é de autoria de Blaidi Sant’Anna, de Gloria Martini, de Hugo Carneiro Reis e de Walter Spinelli, sendo intitulada Conexões com a Física. De acordo com o Guia de Livros Didáticos PNLD 2012:

A coleção é constituída de três volumes organizados em unidades, sendo essas compostas por capítulos. Introduzindo cada unidade, há um texto de apresentação, acompanhado de uma questão inicial (Para começo de conversa) e um conjunto de questões que remetem aos objetivos da unidade (Convite à reflexão). Os conteúdos são desenvolvidos nos capítulos que compõem cada unidade, a partir de um texto principal, acompanhado de ilustrações e de um conjunto de boxes. Todo capítulo é iniciado por uma questão que será retomada, após a apresentação do conteúdo programado, no boxe Já sabe responder? Ao longo dos capítulos, a obra apresenta Questões Resolvidas (de aplicação do conhecimento), seguidas de algumas Questões Propostas. Ao final de cada capítulo, aparece um novo conjunto de questões, agora organizado sob o título Para continuar aprendendo. (BRASIL, 2011, p. 39)

Os capítulos referentes ao conteúdo energia segundo a sequência apresentada no índice do livro didático:

- a) Volume 1
 - Trabalho e energia mecânica.
- b) Volume 2
 - Calor e temperatura; Gases e Termodinâmica.

6.4.1 Concepções alternativas de energia

Quanto à consideração acerca das concepções alternativas prévias presentes no sistema cognitivo do leitor, os autores limitam-se a comentar que “nossa ideia de trabalho está quase sempre associada a esforço” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 360). Essa falta de discussão sobre as concepções prévias pode estimular os alunos a “compartimentalizarem” os saberes, fazendo uso das concepções apresentadas pelo professor nas avaliações, mas persistindo a utilização das concepções alternativas em outros contextos.

6.4.2 Concepções equívocas de energia

A visão depositária de energia está presente em diversas circunstâncias no discurso dos autores dessa obra, ao indicar que há energia armazenada ou acumulada nos corpos. Além disso, os autores confundem energia com movimento, ou seja, atividade, ao expor que “há nesses corpos uma capacidade armazenada de entrar em movimento” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 379) ao referir-se à energia potencial.

Tal abordagem, com falha conceitual, pode não chegar a impedir a aprendizagem significativa, contudo poderá proporcionar a aprendizagem de conceitos incorretos de forma significativa.

6.4.3 Quatro aspectos do conceito energia

O princípio da conservação é abordado ao longo do texto dessa obra, ressaltando a relação com a transformação e com a transferência: “A energia não pode ser criada nem destruída, pode apenas ser transformada de uma forma em outra, com sua quantidade total permanecendo constante.” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 390); “Quando a energia de um

sistema diminui, há um aumento igual de energia em outro sistema.” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 390). Além disso, os autores, nesse mesmo capítulo, esboçam o princípio da degradação: “Apesar de a lei da conservação da energia nos garantir que não há como perder energia, há uma irreversibilidade em algumas transformações que inviabiliza seu aproveitamento após a conversão.” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 390); “As energias resultantes do calor despreendido, da vibração do ar, dos trilhos, do carrinho não são mais aproveitáveis. [...] não há como reaproveitá-las para a realização de novo trabalho mecânico.” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 390).

No segundo volume, apresenta-se o princípio da degradação da energia de forma mais elaborada:

Mas dois copos de água a temperaturas diferentes podem realizar trabalho? Certamente, pois constituem duas fontes com temperaturas distintas, ou seja, uma fonte quente e uma fonte fria. No entanto, ao misturarmos as massas de água, retiramos do sistema essa capacidade, pois obtemos apenas uma única porção de água em equilíbrio térmico (ou seja, uma única temperatura), que, portanto, não será capaz de realizar trabalho. [...] Podemos dizer que todos os fenômenos da natureza são irreversíveis, pois neles a energia útil disponível para a realização de trabalho tende sempre a diminuir, ou seja, processos ou fenômenos reversíveis são idealizações que não ocorrem na natureza ou de maneira espontânea. [...] A energia total de um sistema e de sua vizinhança, porém, sempre se conserva, como garante o princípio de conservação de energia [...].No entanto, há uma tendência de transformação de energia total em uma forma de energia que não pode ser utilizada: a energia térmica. Dizemos que as energias mecânica, elétrica, nuclear etc. se degradam, pois se transformam em energia térmica, uma forma de energia menos ordenada. [...] A energia total se conserva (primeira lei), mas se degrada (segunda lei). (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 191-2)

Portanto, nessa coleção, são contemplados, tanto no primeiro volume quanto no segundo, os quatro aspectos que caracterizam o conceito energia. Considerando, desde o início da abordagem do tema, o princípio da degradação, favorece-se a construção diferenciada do conceito energia, em conjunto com o princípio da conservação. Assim, mesmo que se obliterem as especificidades relacionadas à energia, haverá o resquício residual de ambos os princípios, fundamental para a compreensão dos fenômenos cotidianos.

6.4.4 Concepções dos conceitos correlatos a energia

O conceito de entropia é abordado ligado ao conceito de desordem: “A entropia (S), característica intrínseca de todo e qualquer sistema, aumenta à medida que a desordem dos fenômenos aumenta. [...] dizemos que existe uma tendência ao aumento na entropia do Universo.” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 192-3).

Os autores ainda ressaltam a conexão entre os conceitos de desordem e degradação: “Baseando-se nos conceitos de aumento de desordem e degradação da energia, Clausius [...] desenvolveu uma relação matemática que expressa quantitativamente o aumento da desordem e a degradação de energia, alterações referidas como variação da entropia” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 192).

Dessa forma, relacionam-se os conceitos de entropia, desordem e degradação de forma adequada, dando significado à segunda lei da Termodinâmica. Com isso, os enunciados dessa lei podem ser também inter-relacionados, evitando a simples memorização literal.

O conceito de trabalho é enfatizado como transferência ou transformação de energia em vários trechos: “Podemos associar certa quantidade de energia cinética transferida ao barco por meio do trabalho exercido pela força do vento.” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 371); “a quantidade de energia cinética dissipada no deslocamento da bicicleta até atingir o buraco corresponde ao trabalho realizado pela força de atrito sobre ela.” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 373); “o trabalho da força elástica pode modificar o estado de movimento dos corpos transferindo a eles energia cinética.” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 382).

Por outro lado, os autores também expõem trabalho como uma forma de energia: “A primeira lei da Termodinâmica [...] diz respeito à conservação entre diferentes formas de energia: trabalho mecânico, calor e energia interna de um sistema.” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 160). Note-se que trabalho e calor não são grandezas que se conservam, haja vista corresponderem ao valor da energia transferida, além de não representarem funções de estado do sistema.

Por conta dessa concepção de trabalho e de calor como energia, os autores enfatizam processos de transformação de trabalho em calor e vice-versa: “as máquinas frigoríficas são dispositivos que convertem trabalho em calor” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 189); “impossibilidade de transformação integral de calor em trabalho” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 192).

Assim, a abordagem desses conceitos, tal como fora apresentada nessa coleção, pode vir a descaracterizar a concepção de energia como uma propriedade de estado de um sistema físico. Além disso, ocorre contradição ao classificar-se trabalho e calor como formas de energia e como formas de transferência de energia. É costumeiro nomear trabalho e calor como valores das energias transferidas nesse processo, contudo, não se deve caracterizá-los propriamente como energia, haja vista não constituírem função de estado.

Calor é definido como um tipo de energia em trânsito: “Calor é a energia térmica em trânsito de um corpo para outro devido à diferença de temperatura entre eles.”

(SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 19); “A energia térmica em trânsito é denominada calor e o processo de transferência de energia cessa quando os dois corpos igualam seus níveis de agitação térmica” (SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 19).

Os autores definem fonte de calor: “Fonte de calor é todo elemento capaz de produzir aumento na temperatura de um corpo.” (SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 91). Observe-se que se ignorou o fato de ser possível alterar a temperatura de um corpo através da realização de trabalho. Admitindo-se a afirmação dos autores, o calor não seria energia necessariamente transferida por causa da diferença de temperatura. Tal postura constitui uma incorreção na abordagem conceitual, caracterizando uma desconformidade em relação ao PNLD Física 2012 (BRASIL, 2011).

A definição de energia térmica engloba, segundo os autores dessa coleção, as diversas formas de energia cinética presentes nas partículas que constituem o corpo: “A um corpo pode ser associada uma energia cinética devido ao movimento de suas partículas. A energia associada ao movimento de translação, rotação e vibração das partículas de um corpo é denominada energia térmica.” (SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 17). Contudo, na análise da energia interna de um gás ideal, a condição para que apresentem a mesma temperatura está relacionada apenas à equivalência no valor da energia cinética de translação por molécula (SERWAY; JEWETT JR., 2012).

Energia interna, nessa coleção, engloba outras formas de energia além da energia térmica: “Nos gases, a energia interna é resultante da soma de várias energias, dentre elas as energias de translação, de rotação e de vibração de suas moléculas [...]. Outra parcela dessa energia interna é a das partículas intra-atômicas. Há ainda a energia potencial associada às forças internas conservativas de suas partículas e, por fim, a energia térmica associada à agitação térmica de suas moléculas.” (SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 166). Dessa forma, os autores proporcionam diferenciar a parcela da energia relacionada à temperatura daquela relacionada ao estado de agregação das moléculas. A compreensão disso permite dar significado aos conceitos apresentados no estudo da termologia, ao tratar de calor sensível e de calor latente.

Anteriormente, é definida a energia interna de forma mais geral e contextualizada: “Ocorre também o que chamamos de variação de energia interna. Esse tipo de variação está relacionado à alteração das condições internas de um corpo ou de um sistema. Se fizermos uma corrida intensa, muito possivelmente nossa temperatura corporal sofrerá alteração.” (SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 165).

Há ainda, antes da definição de energia interna, uma apresentação do que os autores consideram como energia externa:

Quando corremos, [...] nosso corpo passa por uma grande variação de velocidade. Também ocorre uma [...] variação de energia potencial gravitacional ou elástica se subimos correndo alguns lances de escada ou saltamos em uma cama elástica. Chamaremos esses fenômenos de variações de energia externa do corpo, pois estão relacionados ao meio externo. (SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 165)

Diferentemente do que fora observado na coleção 3, a abordagem de Sant'Anna *et al.* (2010) em relação aos conceitos energia interna e externa está de acordo com as concepções científicas. Aqui, trata-se da energia externa, relacionando-a a outros referenciais que não fossem o centro de massa do sistema considerado, envolvendo energia gravitacional e elástica, por exemplo. Embora não se tenha dado ênfase ao conceito centro de massa, foi conveniente exposição da mudança do referencial do corpo humano para o referencial da Terra ou da cama elástica, ao diferenciar energia interna de energia externa.

O tratamento do significado do sinal do trabalho nas transformações é restrito à classificação em motor ou em resistente ou realizado por ou sobre o sistema. O sinal do trabalho não é explicitamente relacionado ao sentido da transferência ou da transformação de energia. No estudo do teorema do trabalho-energia, encontra-se uma breve menção: “Essa força realiza trabalho resistente, enquanto houver deslocamento da bicicleta. Esse trabalho tem como objetivo diminuir a energia cinética” (SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 373). Contudo, não é explícito o vínculo entre o sinal do trabalho e o sentido da transferência ou da transformação de energia envolvida.

Deixar claro o significado do sinal do valor obtido para o trabalho realizado por uma força pode dar significado aos conceitos de transferência e de transformação de energia. A falta do reforço dessa discussão acerca do sentido da transferência de energia, relacionando-a ao valor (positivo ou negativo) do trabalho, reduz o potencial de significado do material apresentado.

Há confusão entre calor e energia térmica em diversas passagens. Além disso, confunde-se calor com energia térmica inclusive sem trânsito: “parte da energia mecânica do sistema se transforma em calor, comprovando, assim que calor é uma forma de energia” (SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 19); “O carro se move e parte de sua energia cinética se transforma em calor por causa do trabalho da força de atrito dos pneus com o solo ou do trabalho da força de resistência do ar.” (SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 386) (note-se que, nesse trecho, considerou-se que o atrito estático realizou trabalho, o que é absurdo, haja vista

o ponto de aplicação dessa força ter sempre velocidade nula no referencial da Terra). Essas confusões dificultam a aprendizagem significativa, porque os conceitos estão relacionados de forma contraditória. Além disso, a apresentação incorreta de conceitos é critério eliminatório no PNLD 2012 (BRASIL, 2011).

A energia potencial é tratada como uma propriedade do corpo, em vez de ser abordada como propriedade de um sistema: “[...] há nesses corpos uma capacidade armazenada de entrar em movimento, associada à altura ou à deformação elástica. Quando isso ocorre, o corpo tem o que se denomina energia potencial.” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 379); “Dizemos que, ao subir as escadas até o alto do trampolim, a pessoa acumula energia potencial gravitacional, que ao abandonar-se do trampolim transforma em energia cinética” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 380).

Explicitamente também não se associa energia potencial à configuração espacial do sistema, ou seja, às posições ocupadas por seus constituintes. Contudo, há um esboço dessa relação em: “há nesses corpos uma capacidade armazenada de entrar em movimento, associada à altura ou à deformação elástica” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 379), considerando-se altura e deformação como posição e generalizando-se essa consideração.

Note-se que a exposição do conceito de energia potencial apresenta-se acompanhada da concepção equívoca de energia como algo armazenado em um corpo. Tal fato dificulta a definição correta do conceito de energia como uma propriedade de sistema, relacionada aos movimentos e à disposição de seus constituintes, os quais podem interagir. Com isso, inibe-se a construção de proposições coerentes, dificultando a aprendizagem significativa.

6.4.5 Organização da exposição

Na introdução à sétima unidade do primeiro volume, que trata de trabalho e energia mecânica, faz-se uso já do termo energia sem prévias considerações:

Muitas acrobacias que nos encantam em apresentações circenses estão relacionadas às trocas de energia realizadas durante o movimento dos artistas. Durante o espetáculo, muitas são as vezes em que a velocidade do artista é trocada por altura e vice-versa e, ainda que não nos percebamos, são incontáveis as situações nas quais o acrobata troca energia cinética por potencial gravitacional ou energia potencial elástica. (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 358)

Indicar que velocidade é trocada por altura constitui uma incoerência. Essas grandezas não são dimensionalmente homogêneas, ou seja, não podem ser medidas com a mesma unidade. Além disso, mencionaram-se as formas de energia cinética, potencial gravitacional e potencial elétrica sem prévia discussão do significado do conceito energia. Dessa forma, o aluno pode fazer uso de suas concepções alternativas para subsumir os novos conceitos apresentados; contudo, essas representações provavelmente não constituem subsunçores estáveis e adequados, para proporcionar aprendizagem significativa.

Na introdução ao capítulo acerca de trabalho mecânico, não há uma prévia associação entre trabalho e energia. Os autores limitam-se a apresentar a ideia cotidiana de esforço e, no contexto da Física, apresentam que “realizar trabalho implica deslocar um corpo sobre o qual estão sendo aplicadas forças. [...] há trabalho quando é modificado o estado de movimento do corpo” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 360). Note-se que, inicialmente, a grandeza trabalho não fora associada a energia.

Com isso, perde-se a oportunidade de relacionar o conceito mais específico de trabalho ao mais geral de energia; aquele representando uma transferência desta. Nesse sentido, resta ao aluno memorizar a definição apresentada, caso não consiga construir um significado.

Segue-se uma discussão acerca de situações em que se variam a intensidade, a direção e o sentido da força em relação ao vetor deslocamento, buscando construir significados. Antes de apresentar a equação que define o trabalho realizado por uma força constante, os autores indicam que: “uma força modifica o estado de movimento de um corpo quando realiza trabalho sobre ele” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 362). A fim de refutar tal afirmação, imagine-se um corpo sendo erguido na presença do campo gravitacional terrestre com velocidade constante. Uma vez que a velocidade não se altera, não se modifica também o estado de movimento; contudo, para que a subida ocorra, uma força (feita por um guindaste, por exemplo) deve ser aplicada a esse corpo, para cima, fazendo com que a resultante das forças externas ao sistema seja nula. Tal força realiza trabalho sem modificar o estado de movimento do corpo.

Acrescente-se ainda que, ao apresentar a análise do sinal do valor obtido para o trabalho, limita-se a classificá-lo como motor ou resistente, sem maiores relações com a variação da energia do sistema. Novamente, não se relaciona o valor do sinal apresentado pelo trabalho realizado pela força ao sentido da transferência de energia. Assim, deixa-se de propor a atribuição de um significado a esse valor obtido.

Na seção acerca da definição de energia cinética, os autores questionam: “associamos aos corpos em movimento, ou seja, com velocidade em relação a um dado referencial, certa energia de movimento, denominada energia cinética. De onde vem essa energia?” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 371). Até esse ponto, ainda não fora comentado o princípio da conservação da energia. Portanto, não haveria por que propor esse questionamento. Apesar disso, os autores respondem a essa pergunta mencionando que “os corpos modificam sua quantidade de energia cinética quando sobre eles é realizado determinado trabalho” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 371). Em seguida é feita associação entre o valor do trabalho e a transferência de energia, contudo sem mencionar sua origem.

Com isso, os autores podem induzir o aluno a pensar que a realização de trabalho “produz” energia, haja vista indicarem que a realização do trabalho é resposta ao questionamento da origem da energia. Caso fosse apresentado inicialmente o princípio da conservação da energia, poder-se-ia justificar o acréscimo da energia cinética através do decréscimo de energia em outro sistema, havendo transferência através da realização de trabalho.

Na seção acerca da relação entre trabalho e energia cinética, os autores pretendem discutir a relação entre o valor do trabalho realizado pelas forças e a variação da energia cinética utilizando o movimento de um ciclista como exemplo. Nesse âmbito, mencionam que esse esportista, em um dado instante de seu movimento, aciona os freios travando as rodas. Com isso, discutem que o trabalho “resistente” da força de atrito com o solo freia a bicicleta. Note-se que, em geral, as rodas não travam e, por isso, o atrito entre os pneus e o solo é estático, não realizando trabalho. Geralmente, é o atrito cinético entre os freios e os aros da roda da bicicleta que proporcionam o trabalho resistente que reduz a energia cinética do conjunto.

No capítulo acerca de energia potencial, os autores relacionam energia a movimento após apresentar situações em que um sistema transforma energia potencial em cinética: “há nesses corpos uma capacidade armazenada de entrar em movimento, associada à altura ou à deformação elástica. Quando isso ocorre, o corpo tem o que se denomina energia potencial” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 379). Na sequência, energia potencial gravitacional e elástica são apenas definidas por suas equações, sem relacionar o trabalho dessas forças à variação dessas energias potenciais.

O uso do princípio da conservação da energia poderia dar significado lógico às transformações que foram apresentadas pelos autores. Com esse uso, poder-se-iam definir

matematicamente as equações da energia potencial gravitacional e da energia potencial elástica, ao admitir-se que o valor do trabalho realizado por essas forças corresponde ao valor de energia potencial reduzido, que fora transformado em outra modalidade.

No capítulo acerca de transformações de energia mecânica, a introdução trata de relacionar várias situações cotidianas em que se observam transformações de energia. O tratamento dos sistemas mecânicos conservativos é feito a partir da idealização de uma montanha-russa sem atrito, apresentando-se que a energia mecânica é conservada. Os autores dessa coleção também classificam os sistemas que não conservam a energia mecânica como dissipativos, sem considerar a possibilidade do aumento dessa energia.

Na seção que trata do princípio geral da conservação da energia, são tratados os quatro elementos, segundo Duit e Heaussler (1994): transformação, transporte, conservação e degradação. Contudo, é feito uso da palavra “sistema” no contexto do conceito de energia, mas sem explicitar que energia corresponde a uma propriedade do sistema:

Não há ganho ou perda de energia total em um sistema fechado; o que ocorre é uma conversão de uma forma em outra. Quando a energia de um sistema diminui, há um aumento igual de energia em outro sistema. Essa constatação pode ser generalizada em uma lei física denominada lei da conservação de energia [...]. Apesar de a lei da conservação de energia nos garantir que não há como perder energia, há uma irreversibilidade em algumas transformações que inviabiliza seu aproveitamento após a conversão. (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 390)

Note-se, contudo, que os autores tratam da degradação de forma absoluta, na análise da descida de um carrinho em uma montanha-russa: “as energias resultantes do calor despreendido, da vibração do ar, dos trilhos, do carrinho não são mais aproveitáveis” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 390). Observe-se que a transferência de calor de um sistema para outro pode ser interceptado por um motor térmico, convertendo-se parcialmente o valor do calor transferido em valor de trabalho mecânico. É fato que a irreversibilidade da transformação diminui as possibilidades de conversão de energia, contudo, não serão necessariamente anuladas essas possibilidades.

Finalmente, nesse capítulo são ainda apresentadas as contextualizações históricas, biológicas e tecnológicas do conceito energia. A contextualização do conhecimento científico pode proporcionar aos alunos a reconciliação integradora dos conceitos, além de mostrar que o conhecimento científico é construído a partir de colaboração entre pesquisadores de diferentes áreas.

No segundo volume da obra, no capítulo que trata dos conceitos temperatura e calor, os autores definem energia térmica como sendo “a energia associada ao movimento de

translação, rotação e vibração das partículas de um corpo” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 17). Ainda nesse capítulo, os autores fazem uso da expressão “sistema” novamente, mencionando que “o sistema formado pelo maior número de partículas possuirá maior energia térmica, pois esta é o resultado da soma das energias cinéticas de cada uma das partículas componentes do sistema” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 18). Tais observações caracterizam energia como uma propriedade extensiva do sistema, contudo isso não é enfatizado.

Com efeito, enfatizar energia como uma propriedade de um sistema traz vantagens, tanto no âmbito do estudo da energia mecânica, quanto no contexto da Termologia. Uma vez que se discutam os caracteres microscópico e sistêmico da energia interna abordada no estudo da Termodinâmica, podem-se construir relações significativas entre os conceitos abordados na Termologia e aqueles apresentados na Mecânica.

Na seção acerca da definição de calor, os autores partem da ideia do fluido calórico sendo reinterpretado como energia em trânsito. Nessa coleção, o calor é visto como “uma forma especial de energia, que não é propriedade de um corpo” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 19). Essa expressão denota o fato de os autores compreenderem a energia como uma propriedade de um sistema (nesse caso, representado pelo “corpo” em questão). Portanto, a definição de calor como processo de transferência de energia ou como energia transferida seria mais adequada, já que, nesse contexto, deixa de representar uma propriedade do sistema.

Na introdução acerca do tratamento da primeira lei da Termodinâmica, é ressaltada a relação entre essa lei e o princípio da conservação da energia. Em seguida apresenta-se como obter o valor do trabalho realizado pelas forças durante expansão ou compressão de um gás. Quanto ao estudo do significado dos sinais dos valores obtidos para o trabalho, os autores, no texto do livro didático destinado ao aluno fazem referência apenas a “gás realiza trabalho sobre a vizinhança” ou a “vizinhança realiza trabalho sobre o gás”. No exemplar destinado aos professores há, no canto inferior direito da página em que é abordado esse assunto, a seguinte indicação: “ajude o aluno a associar o trabalho realizado pelo gás a uma energia transferida do gás para o meio externo e, portanto, é perdida por ele. No caso do trabalho realizado sobre o gás, há uma entrada de energia no sistema proveniente do meio externo” (SANT’ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 162). Note-se ser incoerente o comentário direcionado ao professor, indicando que ajude o aluno a relacionar trabalho a transferência de energia, haja vista o livro didático destinado ao aluno não o fazer.

Na seção acerca de energia interna, primeiramente é proposta uma comparação com o conceito de energia externa:

Quando corremos, principalmente em um terreno acidentado, nosso corpo passa por uma grande variação de velocidade. Também ocorre uma significativa variação de energia potencial gravitacional ou elástica se subimos correndo alguns lances de escada ou saltamos em uma cama elástica. Chamaremos esses fenômenos de variações de energia externa do corpo, pois estão relacionados ao meio externo (SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 165)

Note-se que foi considerada evidente a associação entre os fenômenos citados e a energia externa, sem serem explicitados os limites do sistema observado. Contudo, é possível admitir que o sistema considerado seja o corpo humano, tendo como fronteira física a pele.

Durante a apresentação da primeira lei da Termodinâmica, faz-se alusão ao princípio da conservação da energia. Contudo, comenta-se também que há processos irreversíveis que, em sistemas isolados, não permitem o retorno à forma inicial. Para ilustrar tal afirmação os autores indicam que:

Por exemplo, quando um carro dissipa calor para o ambiente externo devido ao atrito dos pneus com o solo, esse calor não pode ser reaproveitado nem pelo automóvel nem pelo ambiente externo para ser reconvertido em energia cinética ou em outra forma de energia (SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 167).

Após essas considerações, os autores apresentam que a primeira lei da Termodinâmica expressa o princípio da conservação da energia envolvendo três formas de energia: o trabalho mecânico, a variação da energia interna e o calor. Contudo, a energia interna representa uma propriedade do sistema analisado, e trabalho e calor, nesse caso, a quantidade de energia transportada entre o referido sistema e sua vizinhança. Assim, a concepção apresentada nessa coleção encontra-se em desacordo com a definição de energia como uma propriedade proposta por Duit e Heausller (1994).

No décimo capítulo desse volume da coleção, a apresentação da segunda lei da Termodinâmica é feita a partir de uma introdução que discute a reversibilidade e a irreversibilidade dos processos aos quais estão sujeitos os sistemas. A seguir, essa lei é descrita como um limitante dos processos naturais e enunciada segundo proposições históricas nos contextos do fluxo de calor e do rendimento de máquinas térmicas. Apesar disso, não é feita uma associação entre esses enunciados, de forma significativa, além da existência do sentido natural dos processos, apenas sendo constatadas suas apresentações. Da mesma forma, o ciclo de Carnot é apenas citado como “Carnot demonstrou que o rendimento máximo de qualquer máquina térmica que opere entre duas temperaturas [...] será máximo se o ciclo for reversível” (SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 2, p. 185). Note-se que a exposição dos enunciados da segunda lei da Termodinâmica sem que se discutam as relações entre eles pode induzir à

aprendizagem por memorização literal, haja vista que, para que haja aprendizagem significativa, o material apresentado deve ter significado lógico.

No final desse capítulo, apresenta-se o conceito de entropia. Para ilustrar essa ideia, os autores propõem a mistura de porções de água a temperaturas diferentes atingindo o equilíbrio térmico. Nesse contexto, é ressaltada a irreversibilidade do processo. Além disso, é proposto que, antes do equilíbrio, as porções de água poderiam atuar como fontes a distintas temperaturas, capazes de participar de um ciclo termodinâmico em que um fluido operante poderia aproveitar as trocas de energia na forma de calor para realizar trabalho. Contudo, ressalta-se a diminuição da capacidade do sistema como um todo (ambas as porções de água) estar apto à realização de trabalho, apesar de a energia ter sido conservada.

Nesse âmbito, é enfatizado que a energia total se conserva quantitativamente, mas degrada-se qualitativamente. Quanto à qualidade, faz-se referência à incapacidade de transformação ou de transporte dessa energia através da realização de trabalho mecânico. Assim, é apresentado o conceito de entropia como uma propriedade intrínseca de um sistema, que aumenta com o acréscimo da desordem. Expõe-se, então, a equação que define a variação da entropia de um sistema à temperatura constante ao trocar energia com sua vizinhança na forma de calor. Finalmente, o aumento da entropia do universo no contexto das trocas de calor é apresentado sem exemplificação.

Observando-se a organização geral da exposição do conceito energia, primeiramente, não se notam considerações acerca das concepções alternativas, restringindo-se a breves comentários acerca de trabalho como esforço. Além disso, não se apresentam reinterpretções das concepções alternativas de energia à luz dos princípios que a regem cientificamente.

O conceito de trabalho é abordado, inicialmente, desconectado do conceito de energia. Esta, por sua vez, é tratada como uma manifestação do movimento, o que constitui uma concepção alternativa, implicando uma estratégia inadequada. Quanto à construção histórica do conhecimento científico, encontra-se a abordagem sucinta da construção do conceito energia em um quadro, no volume 1, página 391. Contudo, explora-se, nesse quadro, que

O crédito da comprovação do princípio da conservação da energia não pode ser dado somente a uma pessoa nem ser atribuído apenas a uma área da ciência. Trata-se de uma ideia construída ao longo de alguns séculos por um conjunto de pensadores de diferentes áreas do conhecimento. (SANT'ANNA *et al.*, 2010, v. 1, p. 391).

Assim, o conhecimento científico não é tratado como um produto acabado, mas como algo em construção, envolvendo contribuições de diversas áreas do conhecimento.

A reconciliação integradora não é explicitamente apresentada, haja vista os autores não buscarem retornar na hierarquia buscando ressaltar as relações significativas entre os conceitos mais específicos e os mais inclusivos ao final dos capítulos. O conceito de sistema físico, mais inclusivo que o conceito de energia, não é enfatizado sequer no contexto da Termodinâmica. Utiliza-se o conceito de energia interna como propriedade de um sistema, mas o sistema físico não é definido.

Quanto ao uso de organizadores gráficos, são apresentados apenas esquemas referentes a fluxos de energia entre sistemas. Assim, não foi verificado o uso de organizadores conceituais.

Finalmente, observou-se que, nessa coleção, há falhas em relação ao tratamento dos conceitos de trabalho e de calor como formas de energia, quando deveriam ser tratados como processos de transferência de energia, podendo referir-se também ao valor da energia transferida nesses processos. Contudo, as considerações apresentadas, desde o primeiro volume, em relação aos quatro aspectos que caracterizam energia, segundo Duit e Heausler (1994), facilitam a compreensão do conceito energia de forma ampla. No segundo volume, o aprofundamento acerca das discussões acerca da degradação da energia de forma adequada, proporciona ao leitor obter maior estabilidade em relação ao conceito subsunçor energia. Entretanto, a falta de caracterização do conceito de sistema pode dificultar a compreensão de energia como uma propriedade dele.

6.5 Coleção 5 – Física em contextos

Essa coleção de livros didáticos de Física para ensino médio é de autoria de Maurício Pietrocola Pinto de Oliveira, Alexander Pogibin, Renata Cristina de Andrade Oliveira e Talita Raquel Luz Romero, sendo intitulada Física em contextos: pessoal, social, histórico. Segundo o Guia de Livros Didáticos PNLD 2012:

A coleção possui três volumes estruturados em unidades, as quais abordam temas ou tópicos amplos e estão divididas em capítulos. Todos os volumes iniciam com uma retrospectiva histórica do desenvolvimento da ciência/Física. Cada capítulo estrutura-se em torno de um texto principal que contextualiza os assuntos tratados, com situações do cotidiano, e apresenta questões para reflexão por parte dos alunos. (BRASIL, 2011, p. 78)

Nessa coleção, o conceito energia é abordado enfaticamente no segundo volume, que apresenta os seguintes assuntos:

- a) unidade 1 – Energia: A história do princípio e conservação da energia, Trabalho e potência, Energia mecânica, Energia e suas outras faces;
- b) unidade 2 – Calor: Calor como energia, Calor e dilatação, Trocas de calor, Máquinas térmicas.

6.5.1 Concepções alternativas de energia

Os autores, antes de abordarem os conceitos em sua concepção científica, tecem comentários acerca da existência de concepções alternativas: “[...] nem sempre o uso coloquial do termo [energia] coincide com o significado científico.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 18); “Não devemos, contudo, abandonar seu uso cotidiano; ao contrário, temos de conhecer todos os significados dessa palavra, suas semelhanças e diferenças e adquirir a capacidade de selecionar o melhor para cada ocasião.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 18); “A palavra trabalho é muito empregada em nosso cotidiano. Nós a usamos para nos referir a qualquer tipo de atividade que requeira algum esforço físico ou mental.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 39).

Assim, os autores buscam enfatizar a existência de vários significados para uma mesma palavra, no caso, energia. Além de indicarem a necessidade de compreender-se o significado científico, valorizam a existência da acepção cotidiana, indicando que se deve avaliar o contexto. Contudo, não se observa, em momentos posteriores, propostas de releitura da utilização cotidiana em termos das concepções científicas.

6.5.2 Concepções equívocas de energia

Ao buscar a contextualização do conceito energia, os autores acabam por tentar legitimar algumas concepções alternativas, tais como visão antropocêntrica e funcional: “[energia], além de garantir a manutenção da vida (e da biodiversidade) no planeta, nos proporciona bem-estar e conforto.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 110); e como algo responsável pelo funcionamento de equipamentos tecnológicos: “a energia elétrica está muito presente, principalmente ao colocar em funcionamento de diversos eletrodomésticos e equipamentos eletrônicos.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 23).

Além disso, energia é concebida pelos autores dessa obra como algo que pode ser armazenado, depositado nos objetos ou nos sistemas: “Na Física, chamamos de energia

potencial a energia armazenada por causa da configuração dos corpos em um dado sistema.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 63); “Qualquer corpo que possa se deformar e retornar à forma original por causa da ação de uma força pode armazenar energia elástica.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 69); “Nos sistemas mecânicos conservativos, a energia fica como que ‘presa’ em apenas três formas: cinética, potencial gravitacional e potencial elástica. Situações assim não existem realmente, pois é impossível evitar a dissipação de energia por atrito.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 77); “A energia contida nesses combustíveis [fósseis] é, portanto, de origem química e está relacionada com a síntese orgânica dos seres vivos.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 98).

Em vez de fazer uso do termo “armazenada”, os autores poderiam propor uma releitura a partir das expressões “relacionada a” ou “associada a”. Com isso, seria possível indicar que há energia relacionada ao movimento ou à disposição espacial dos constituintes de um sistema. Além disso, poder-se-ia observar que o atrito cinético, ao realizar trabalho, aumenta a energia associada aos constituintes microscópicos da matéria (as moléculas, por exemplo), reduzindo o valor da energia mecânica, associada aos componentes macroscópicos.

Observa-se a visão de energia como um produto em: “Daqui a aproximadamente 5 bilhões de anos, quando parte do hidrogênio no núcleo tiver exaurido, as reações nucleares não serão mais possíveis e o Sol deixará de produzir energia.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 100).

No trecho a seguir, energia é associada a atividade, tendo funcionalidade e sendo causadora de transformações:

A importância da energia na nossa vida diária é inegável. [...] basta que nos lembremos dos momentos em que ficamos sem energia elétrica em nossa casa ou quando o automóvel fica sem combustível. [...] Será que poderemos sempre contar com a energia? (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 96)

Na verdade, para a vida diária, o importante é a transformação dos sistemas, envolvendo, por exemplo, o aquecimento dos alimentos, aceleração dos veículos automotores, a emissão de ondas eletromagnéticas visíveis. Nesses processos, há transformação, transporte e degradação de energia, a qual representa uma propriedade que, no total, conserva-se.

Energia é confundida com movimento, na medida em que, em vez de observar-se o uso de transmissão de energia, observou-se a utilização de transmissão de movimento: “Na condução, quando uma partícula (de um sólido, um líquido ou um gás) começa a vibrar com mais intensidade, por causa do aumento de sua energia cinética, ela transmite parte de seu

movimento às moléculas mais lentas ao seu redor.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 247). Uma exposição mais coerente com a concepção científica seria indicar que, ao movimentar-se, a molécula, através das interações eletromagnéticas com suas vizinhas, transfere energia para elas.

Nessa obra observa-se também a definição de energia como capacidade de realizar trabalho: “uma das definições de energia: a capacidade de um sistema físico ou de um corpo realizar trabalho.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 59). Tal definição é inadequada, conforme indicam Duit e Heausler (1994), podendo ser contestada através da segunda lei da Termodinâmica.

6.5.3 Quatro aspectos do conceito energia

O princípio da conservação da energia é abordado em diversas passagens do livro, vindo, muitas vezes, atrelado à transformação:

[...] no lançamento de um corpo para cima, a energia cinética vai diminuindo até desaparecer totalmente quando ele para no ponto mais alto. [...] Se acreditamos, a priori, na conservação da energia, devemos buscar a forma em que a energia cinética se transformou. (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 63)

Aborda-se também a transformação em:

[...] a ação da força gravitacional realiza trabalho e transforma a energia cinética em outra forma de energia, que chamaremos energia potencial gravitacional. [...] O trabalho de algumas forças pode se relacionar a formas reversíveis de transformação de energia. Isso acontece, por exemplo, com a força gravitacional e com a força elástica. A ação dessas forças permite que a energia cinética de um sistema se transforme em energia potencial e vice-versa. (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 64)

Note-se que o uso do princípio da conservação da energia como subsunção traz vantagens ao longo do estudo das transformações e do transporte de energia. Com isso, consegue-se construir uma hierarquia conceitual que favoreça a aprendizagem significativa.

Há também a contextualização das transformações de energia, em relação a fenômenos biológicos: “as plantas têm a capacidade de transformar energia solar em energia química pelo processo de fotossíntese” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 98). Assim, promove-se o diálogo entre diversas áreas do conhecimento, favorecendo a interdisciplinaridade, sugerida pelo PNL D 2012 Física (BRASIL, 2011).

A transferência é abordada de forma indireta no seguinte comentário: “quando numa situação sabemos que existe determinada forma de energia, podemos nos perguntar de onde ela veio ou para onde ela vai” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 19). Contudo, parece mais coerente substituir a expressão “sabemos que existe” por “observa-se a variação da quantidade de determinada forma de energia”. Sugere-se isso porque não seria conveniente, por exemplo, responder a pergunta acerca da origem de toda a energia ou de toda a matéria presente no universo nesse contexto do ensino médio.

A degradação da energia é inicialmente abordada no capítulo intitulado “Energia e suas outras faces”:

[...] será que, quando um tipo de energia é transformado em outro, pode voltar ao tipo anterior e vice-versa indefinidamente? [...] A resposta é não! [...] [Trata-se] de uma característica da Natureza, por causa da degradação de energia. [...] Degradação é a diminuição da energia “útil” durante as transformações. [...] Na maioria das transformações, apesar de a energia não desaparecer, ela se degrada. (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 97)

Comenta-se ainda que “A contínua degradação de energia e a utilização de fontes não renováveis exigem que busquemos constantemente novas fontes de energia.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 106). Tal tratamento está de acordo com a proposta de Duit e Heausler (1994), que propõem o princípio da degradação como uma característica fundamental na construção do conceito energia.

6.5.4 Concepções dos conceitos correlatos a energia

O conceito de entropia é abordado envolvendo desordem, degradação e probabilidade:

Em um sistema isolado, a entropia sempre aumenta, pois com a degradação de energia, existe um número maior de configurações que esse sistema pode assumir. Por serem em maior número, as configurações que tornam o sistema “desordenado” são mais prováveis que os estados “ordenados”. (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 294)

Nesse contexto, os autores fornecem uma definição para desordem: “O número de vezes que um sistema pode ser ‘rearrumado’, sem que isso altere o ambiente externo, é uma forma de medir a desordem de um sistema.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 293).

O conceito de trabalho é abordado como relacionado a transformação de energia: “[...] a ação da força foi responsável pela transformação da energia de um tipo em outro em

todas as situações apresentadas. Mas a força sozinha não é suficiente para que haja transformação de energia. Ela precisa ser aplicada ao longo de certo deslocamento.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 293). Os autores não tratam do conceito transferência de energia através da realização de trabalho.

Embora não se manifeste trabalho como energia, os autores expõem que energia pode ser transformada em trabalho: “embora a energia se conserve nos modelos físicos, químicos e biológicos, há sempre uma fração perdida na forma de calor, ou seja, somente uma parte dessa energia pode se transformar em trabalho” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 284).

O valor do trabalho pode estar relacionado tanto ao valor da energia transferida entre sistemas quanto ao valor da energia transformada de uma modalidade em outra. Para justificar tal afirmação, pode-se considerar um homem como sistema A e um bloco como sistema B. O homem, ao empurrar o bloco, exerce sobre este uma força que realiza trabalho, transferindo energia para o sistema B. Por outro lado, quando se considera a queda de um bloco no campo gravitacional terrestre, admitindo-se como sistema o conjunto bloco-Terra, verifica-se que o valor do trabalho realizado pela força peso corresponde ao decréscimo da energia potencial gravitacional desse sistema, que pode se transformar em energia cinética.

Calor é tratado explicitamente como energia: “calor é a energia na forma térmica que se transfere de um corpo para outro, ou, em outras palavras, a energia térmica em trânsito” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 167). Conforme abordado anteriormente, tal afirmação é inadequada, devendo-se tratar de calor como um processo de transferência de energia, fazendo-se uso do termo calor também para o valor da energia transferida nesse processo (SERWAY; JEWETT JR, 2012).

Nessa coleção, energia térmica é definida como energia de agitação: “Aumentar a temperatura de uma substância significa intensificar o grau de agitação de suas moléculas. A essa energia da agitação das partículas damos o nome de energia térmica.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 167), posteriormente, associa-se essa energia ao termo “energia de movimento”: “[...] aumentar a temperatura de um corpo é o mesmo que dizer que suas moléculas adquiriram mais energia de movimento, vibrando, em média, mais intensamente.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 167). Com tal definição, é possível compreender e dar significado às observações feitas em vários fenômenos termodinâmicos, tais como o aumento da temperatura da água ao chacoalhar-se a garrafa que a contém.

Energia interna, por sua vez, segundo os autores dessa coleção, tem outra definição, englobando a energia potencial de “ligação”:

O conceito de energia interna busca expressar as formas pelas quais a energia se vincula aos aspectos internos de um corpo, ou seja, sua dimensão microscópica.[...] Para termos uma ideia de quão complexa é a descrição formal da energia interna, basta lembrar que, para qualquer gás diatômico, além da energia cinética de translação, podemos definir uma energia cinética de rotação e vibração. Além dessas energias descritas, existe a energia potencial de ligação entre as partículas de caráter elétrico. (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 278)

Com isso, os autores dão um tratamento adequado a esse conceito, em relação ao estudo da Termodinâmica, favorecendo também a compreensão das transformações que envolvem mudança de temperatura e mudança de estado físico.

O sinal da grandeza trabalho tem seu significado apenas classificado em motor ou em resistente: “Quando o trabalho de uma força é positivo, é comum o chamarmos de trabalho motor; quando é negativo, de trabalho resistente. No primeiro caso, a força aplicada é no mesmo sentido do movimento e, no segundo, no sentido oposto.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 42). Assim, deixou-se de enfatizar o aspecto do sentido da transferência de energia relacionado ao sinal do trabalho.

Calor é confundido com energia térmica, inclusive quando esta não está em trânsito: “Parte da energia do movimento transforma-se em calor pela ação do atrito, isso é percebido pelo aquecimento” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 81). Note-se que o aumento de temperatura está associado ao aumento da energia interna, independentemente do processo (SERWAY; JEWETT JR, 2012). Seria mais adequado indicar que a energia mecânica do movimento do corpo é transformada em energia térmica, relacionada à agitação microscópica, o que é percebido pelo aumento da temperatura.

A energia potencial é definida como sistêmica e configuracional: “Na Física, chamamos de energia potencial a energia armazenada por causa da configuração dos corpos em um dado sistema” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 63); “Energia potencial gravitacional é uma forma de energia associada ao campo gravitacional e à posição de um corpo em relação a um referencial.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 64). Além disso, os autores a classificam como “não imediatamente perceptível” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 63). A definição de energia potencial como sistêmica e configuracional é adequada; contudo, o uso do termo “armazenada” remete a uma concepção equívoca de energia.

6.5.5 Organização da exposição

Ao abordar inicialmente o conceito energia, os autores o fazem a partir de questionamentos acerca de qual significado é dado socialmente à palavra “energia”. Ao

introduzir os aspectos físicos, apresentam-se inicialmente suas formas de manifestação em linguagem cotidiana: energia química, eólica, solar, de alimentos etc. Por outro lado, enfatiza-se que o uso coloquial da palavra nem sempre coincide com o significado científico:

Ao longo deste e dos próximos capítulos, você conhecerá a evolução do conceito de energia e perceberá que nem sempre o uso coloquial do termo coincide com o significado científico. Não devemos, contudo, abandonar seu uso cotidiano; ao contrário, temos de conhecer todos os significados dessa palavra, suas semelhanças e diferenças e adquirir a capacidade de selecionar o melhor para cada ocasião. (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 18)

A seguir, é proposta uma análise prévia do princípio de conservação de energia, envolvendo suas transformações, a partir de deduções acerca do questionamento: “qual a relação entre uma banana e a temperatura do Sol?” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 19). Depois disso, a energia é classificada em tipos (ou formas), tais como: mecânica, térmica, elétrica, luminosa, química, nuclear e por aniquilação. Entretanto, não se atenta para o fato de que, por exemplo, energia química é, na verdade, energia cinética (associada ao movimento dos elétrons em torno do núcleo do átomo) e potencial elétrica (associada à interação elétrica entre os elétrons e os prótons). Além disso, ainda não se faz uso do termo: “potencial”.

Na seção cujo título é “Massa também é energia”, os autores não deixam claro que o valor da massa de um sistema é proporcional à quantidade de energia total nele presente, inferindo apenas que massa equivale a energia, no contexto da teoria da Relatividade de Einstein.

É importante que se considerem as concepções modernas de energia, relacionando-a com o conceito de massa. Contudo, enunciar esta como aquela envolve considerações acerca do sistema de unidades adotado (TAYLOR; WHEELER, 1992). Assim, parece mais coerente, nesse ponto da abordagem, indicar ser o valor da energia proporcional ao valor da massa, tendo como constante de proporcionalidade o quadrado da velocidade da luz.

Ainda no primeiro capítulo, há considerações acerca do debate histórico envolvendo a construção do conceito energia a partir das ideias de Antoine Lavoisier, de René Descartes, de Gottfried Leibniz e de Hermann von Helmholtz. Há um reforço da ideia da busca por invariantes na natureza, que culmina com a construção dos conceitos de energia (escalar) e de *momentum* (vetorial). Tais considerações ajudam a compreender o processo de construção do conhecimento no âmbito acadêmico. Com isso, proporciona-se ao aluno entender como são construídas as teorias científicas.

No segundo capítulo, o conceito de trabalho é apresentado considerando as transformações de energia. Também pensando no contexto da linguagem, enfatiza-se, na introdução, que a palavra trabalho pode ter significados diferentes, dependendo do contexto em que é empregada. Note-se, entretanto, que o significado do sinal do trabalho é, no início, restrito à nomenclatura “motor” ou “resistente”.

No terceiro capítulo, ressalta-se o contexto histórico da construção do conceito energia cinética, e apresenta-se o teorema trabalho-energia. No âmbito dessa apresentação, os autores afirmam que: “dessa relação, origina uma das definições de energia: a capacidade de um sistema físico ou de um corpo realizar trabalho” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 59). Conforme já apresentado, essa definição de energia, cientificamente, apresenta falhas. Além disso, a linguagem utilizada pelos autores nessa afirmação contradiz uma afirmação enfatizada no segundo capítulo: “o correto é sempre dizer o trabalho de uma força ou o trabalho realizado por uma força, nunca por um corpo” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 41).

A definição de energia potencial é feita indicando que “chamamos de energia potencial a energia armazenada por causa da configuração dos corpos em dado sistema” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 63). Ao discutir a energia potencial no contexto dos tipos de interação, os autores o fazem a partir do princípio da conservação da energia, propondo, na análise de um lançamento vertical, que: “se acreditarmos, a priori, na conservação de energia, devemos buscar a forma em que a energia cinética se transformou” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 63). Assim, define-se a energia potencial gravitacional.

A partir da análise do movimento de queda livre, os autores generalizam a expressão que define o trabalho realizado por uma força conservativa, associando-o à variação da energia potencial (com sinal negativo). Tal tratamento é adequado porque se embasa em dois dos quatro aspectos da energia indicados por Duit e Heausller (1994), conservação e transformação. Dessa forma, evita-se a memorização literal, diferenciando-se os significados dos conceitos abordados.

Em seguida, relaciona-se o conceito de força conservativa à reversibilidade dos movimentos em que apenas esse tipo de força realiza trabalho. Nesse âmbito, apresenta-se a classificação das forças em conservativas ou dissipativas:

Forças conservativas: a transformação de energia é totalmente reversível e pode ser associada a uma forma de energia potencial. Exemplos: força gravitacional, força elástica e força eletromagnética. Forças dissipativas: A transformação de energia não é integralmente reversível e não há energia potencial a ser associada. Exemplos: força de atrito e forças de contato em geral (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 67)

Note-se que as forças de contato (incluindo-se aí as forças de atrito) representam interações eletromagnéticas, proporcionando uma contradição na proposição apresentada pelos autores. Em seguida, definem-se os sistemas de forças conservativas como aqueles em que apenas esse tipo de força realiza trabalho. Apesar da falha apresentada, tal classificação é importante porque facilita a interpretação de diversos fenômenos, além de guiar as soluções de problemas que envolvam a conservação da energia.

Na conclusão, os autores inferem que:

Em resumo, em um sistema conservativo, a transformação de energia cinética em potencial, e vice-versa, pode ocorrer ininterruptamente. Nos sistemas não conservativos, esses ciclos de transformações não se mantêm, pois o sistema perde energia, principalmente na forma de atrito (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 67)

Observe-se que, de acordo com essa afirmação, existiria energia na forma de atrito. Seria mais conveniente indicar que o trabalho realizado pelas forças de atrito aumenta a energia cinética referente à agitação das partículas que constituem o sistema observado (ou seja, as moléculas tornam-se mais agitadas). Haja vista o nível microscópico desses movimentos, essa energia, por não ser observável a “olho nu”, poderia ser considerada perdida, mas, na verdade, é transformada e degradada.

No terceiro capítulo dessa unidade há uma seção que trata da apresentação do conceito de sistema. Nesse contexto, define-se sistema como “qualquer conjunto de corpos aos quais podemos associar grandezas e leis físicas e que pode ser uma parte do Universo ou mesmo seu todo” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 74). Além disso, ressalta-se que “podemos então tratar todo o Cosmos como um único e complexo sistema, ou escolher sistemas menores e mais simplificados dentro do todo” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 74). Os autores classificam um sistema como fechado quando forças externas a ele não realizam trabalho sobre ele. Para exemplificar tal sistema, faz uso de um sistema massa-mola e, a seguir, de um pêndulo simples. No primeiro exemplo, mostra que a fronteira do sistema delimita o bloco (massa) e a mola. Contudo, no segundo exemplo, deixa subentendida a participação da Terra.

Essa abordagem de sistema pode proporcionar uma compreensão mais enfática de energia, correspondendo esta a uma propriedade daquele. Através dessa classificação de um sistema fechado, pode-se diferenciar progressivamente o significado do conceito conservação de energia, nos contextos das transformações e das transferências, favorecendo a aprendizagem significativa.

Os autores classificam os sistemas em conservativos, quando a energia mecânica é constante; e em dissipativos, frisando que “em sistemas chamados dissipativos, a energia mecânica não se conserva, pois o trabalho de forças externas pode retirar ou inserir energia no sistema” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 81). Note-se que forças internas ao sistema podem realizar trabalho variando a energia mecânica, fato não comentado pelos autores.

Ainda no estudo dos sistemas dissipativos, os autores afirmam que “o atrito é uma força externa sempre presente nas situações e o trabalho realizado por ele, em qualquer situação, é sempre no sentido de transformar, principalmente energia cinética em energia térmica (calor)” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 81). Observe-se, primeiramente, que a força de atrito estático (sem deslizamento entre as superfícies) pode realizar trabalho positivo, transferindo energia para um sistema que pode apresentá-la na forma mecânica. Um exemplo disso seria quando se pressiona um lápis verticalmente posicionado, fazendo-o erguer-se. A força que atua no sentido de erguê-lo é o atrito estático entre os dedos e a superfície do lápis que, se fosse muito lisa, escorregaria. Além disso, de acordo com o texto, os autores mencionam que energia térmica é o mesmo que calor, o que constitui um erro em relação às concepções científicas.

Assim, as análises dos fenômenos expostas pelos autores carecem de maior atenção em relação às concepções científicas. Contudo, é fundamental que haja esse tipo de contextualização e de discussão acerca dos fenômenos, aplicando os conhecimentos científicos, a fim de que se construam significados coerentes, nas estruturas cognitivas dos alunos. Tais atitudes podem capacitá-los a compreender novos fenômenos e a propor soluções coerentes para os novos problemas que lhes sejam apresentados.

Ao tratar do tema “energia e suas outras faces”, abordam-se as transformações de energia em fenômenos cotidianos. A abordagem é similar àquela apresentada no primeiro capítulo, contudo dá-se algum enfoque à degradação da energia. Nesse sentido, define-se degradação como “a diminuição da energia ‘útil’ durante as transformações” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 97). Por outro lado, o significado de “útil” não é aprofundado, cabendo ao leitor a interpretação idiossincrática, que pode levar à compreensão de utilidade como algo útil ao homem, trazendo uma visão antropocêntrica à definição de entropia. Note-se ainda que o conceito de entropia não é abordado nesse estudo da degradação.

O estudo inicial do conceito de calor ocorre a partir da apresentação da história da construção social e científica desse conceito, envolvendo as teorias do flogístico e do fluido calórico. Em seguida, define-se calor como “a energia na forma térmica que se transfere de um corpo para outro, ou, em outras palavras, energia térmica em trânsito” (OLIVEIRA *et al.*,

2010, p. 167). Contudo não há, antes dessa definição de calor, nesse capítulo, uma diferenciação do conceito energia térmica. No primeiro capítulo, os autores afirmam que energia térmica é “erroneamente também conhecida como calor” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 20) e “está relacionada à vibração dos átomos ou moléculas em uma substância” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 20). Apenas em seguida definem que à “energia da agitação das partículas damos o nome de energia térmica” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 167).

Nessa abordagem do conceito de calor, considera-se o processo de construção de teorias físicas, conforme sugere o PNLD 2012 Física (BRASIL, 2011), sinalizando uma ruptura epistemológica. Todavia, os autores indicam simultaneamente que calor não é energia térmica e que é energia térmica, restringindo-se à situação em que se encontra em transferência. A fim de evitar as confusões causadas por esse enfoque, poder-se-ia tratar de calor como um processo de transferência de energia, que ocorre através das interações microscópicas, no sentido das regiões de menor temperatura, ressaltando que se pode chamar calor o valor dessa energia transferida (SERWAY; JEWETT JR, 2012).

No capítulo acerca das transformações de energia associada às máquinas térmicas, contextualiza-se o desenvolvimento desses equipamentos historicamente. Ainda nesse capítulo, encontra-se a apresentação da primeira lei da Termodinâmica. Nesse contexto observa-se a apresentação de “energia interna” como expressão das “formas pelas quais a energia se vincula aos aspectos internos de um corpo, ou seja, sua dimensão microscópica” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 278). Acrescente-se que os autores não relacionam o conceito de energia interna ao de energia térmica.

A ausência de relação ente os conceitos, explorando os significados, pode estimular a aprendizagem por memorização literal. Assim, seria prudente a discussão explícita, envolvendo os conceitos de energia térmica e de energia interna. Por outro lado, a associação entre os aspectos internos e a dimensão microscópica é conveniente para auxiliar a interpretação dos fenômenos termodinâmicos, no estudo da energia interna.

Na definição da primeira lei da Termodinâmica, os autores afirmam que “a quantidade de calor Q fornecida a um sistema pelo combustível aumenta sua energia interna ΔU e realiza trabalho τ ” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 279). Note-se que não é um combustível que irá fornecer, necessariamente, calor a um sistema. Além disso, o calor não realiza trabalho (os autores dessa coleção enfatizam que o trabalho é realizado por uma força). A força que o sistema exerce sobre a vizinhança, ao haver expansão, realiza trabalho, transferindo energia para o entorno. Assim, verifica-se a inadequação da linguagem utilizada, a qual pode comprometer a compreensão.

Após a análise dos rendimentos das máquinas térmicas, propõe-se, nesse livro, o estudo do ciclo de Carnot, em que todos os processos são ideais, reversíveis. Nesse contexto, apresenta-se a segunda lei da Termodinâmica em vários enunciados, que são listados sem discussão acerca das equivalências entre eles. Caso não sejam apresentadas relações significativas entre esses enunciados, será estimulada a memorização literal. Portanto, para que se instigue a aprendizagem significativa, é necessário que se apresente o significado lógico das relações entre esses enunciados ou que se proponha uma investigação acerca disso.

A definição da variação da entropia de um sistema é feita de forma ambígua devido à falta do uso de preposições: “a variação da entropia ΔS de um sistema é a medida da quantidade de calor Q cedida ou doada em função da temperatura T : $\Delta S = Q/T$ ” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 290). Dessa forma, os autores não indicam se o calor é cedido ao sistema ou cedido pelo sistema, tornando ambíguo o texto.

Em seguida, ao apresentar o funcionamento de um ciclo termodinâmico, analisam-se os valores da variação da entropia da vizinhança do fluido operante. Fazendo uma relação com o ciclo de Carnot, em que o rendimento seria o máximo possível, conclui que, após um ciclo termodinâmico do fluido operante (uma vez que o ciclo é concluído, retorna-se ao estado inicial do fluido, não havendo variação da entropia deste, já que ela é função de estado), a vizinhança tem sua entropia aumentada.

Finalmente, os autores apresentam uma relação entre o conceito de entropia e o conceito de desordem, através de uma interpretação estatística do estado de um sistema gasoso. Há ainda uma reintegração dessas ideias com os conceitos de reversibilidade envolvendo transformações de energia em um dado sistema, verificando que a degradação (associada à desordem) representa um estado mais provável. Contudo, não se relaciona o conceito de entropia com a degradação da energia no sistema, limitando-se a expor que “a entropia serve [...] como indicação da ineficiência dos processos de transformação da energia ao analisar as transformações num ciclo termodinâmico de uma máquina térmica.” (OLIVEIRA *et al.*, 2010, p. 291).

Observe-se que o conceito de entropia fora amplamente discutido nessa coleção. Pode-se afirmar isso porque foram abordados os aspectos referentes à degradação da energia, à irreversibilidade dos processos, à probabilidade dos estados e à segunda lei da Termodinâmica. Além disso, os autores explicitaram o fato de esse conceito corresponder a uma função de estado de um sistema físico.

Quanto aos aspectos gerais relacionados à sequência da exposição desse conteúdo, observa-se que as introduções aos temas são feitas valorizando algumas concepções

alternativas. Apesar disso, não se apresentam reinterpretações das concepções alternativas de energia à luz dos princípios que a regem cientificamente. Verifica-se a utilização dos conhecimentos prévios, em sua forma mesmo alternativa, como subsunções para serem diferenciados progressivamente com a apresentação dos demais conceitos. Com efeito, após a apresentação dos conceitos mais específicos, o retorno aos níveis mais altos da hierarquia conceitual através de releituras das concepções alternativas, a partir das concepções científicas estudadas, poderia estimular a reconciliação integradora dos conceitos (AUSUBEL, 2003).

O conceito de trabalho é subsumido ao conceito de energia, contudo, esta é apresentada através das concepções alternativas, legitimadas pelos autores. A construção histórica do conhecimento científico é abordada ao longo de todo o texto. Além disso, são abordados os contextos sociais e tecnológicos, à medida que o conteúdo é apresentado. Assim, os autores consideram o conhecimento científico como algo sempre em construção, influenciado pelos contextos pessoal, social e histórico.

A reconciliação integradora não é explicitamente apresentada, haja vista os autores não buscarem retornar na hierarquia buscando ressaltar as relações significativas entre os conceitos mais específicos e os mais inclusivos ao final dos capítulos. Acrescente-se que o conceito de sistema físico não é explicitamente apresentado como subsunção de energia. Tais considerações acerca da hierarquia conceitual poderiam estimular a aprendizagem significativa (NOVAK, 1977).

Quanto ao uso de organizadores gráficos, são apresentados esquemas referentes a fluxos de energia entre sistemas, não sendo utilizado como ferramentas para relacionar conceitos. Assim, esses organizadores não demonstram ter como objetivo proporcionar diferenciação progressiva ou reconciliação integradora.

7 PRODUTO EDUCACIONAL

Por tratar-se de uma dissertação de mestrado profissional, demanda-se a produção de um construto para a efetivação desse programa de pós-graduação. Portanto, foi elaborado um material didático a fim de proporcionar a organização dos conhecimentos prévios dos alunos, capacitando-os a construir relações significativas com os novos conceitos a serem apresentados. Nesse sentido, o desenvolvimento do material teve as seguintes etapas de construção:

- a) elaborar questionamentos com o potencial de proporcionar um levantamento das concepções prévias dos alunos, a partir de perguntas acerca do tema abordado;
- b) apresentar o contexto histórico em que se construíram os conceitos a serem apresentados;
- c) apresentar os conceitos mais gerais, seguindo as concepções científicas, buscando as relações hierárquicas e
- d) propor a reinterpretção dos fenômenos observados, segundo essas concepções científicas.

Segundo Moreira e Masini (2006), na elaboração de um plano para instrução em acordo com as concepções de Ausubel,

deve-se primeiramente identificar os conceitos e as relações hierárquicas entre eles para, então, sequenciar o conteúdo (coerente com as relações e hierarquias conceituais) em ordem descendente de inclusividade (tanto entre as unidades, como dentro de cada unidade), tirando vantagem das dependências sequenciais naturais entre os tópicos. Além disso, a fim de promover a reconciliação integrativa, esforço explícito deve ser feito para explorar relações entre conceitos ou ideias e apontar similaridades e diferenças (isto pode ser atingido “descendo e subindo” nas hierarquias conceituais e referindo-se aos conceitos e ideias mais gerais, à medida que novas informações são apresentadas) (p. 50-1).

Nessa pesquisa, já foram identificados os conceitos e as relações hierárquicas em que se envolve o tema principal abordado, a energia. Tal identificação é apresentada no Capítulo 4. A sequência proposta no manual elaborado sugere, com a finalidade de introduzir o conceito de energia, valorizar as concepções previamente apresentadas pelos alunos, através de dois questionamentos iniciais: qual o significado de energia para o aluno, e se é possível encontrar tal concepção em textos presentes na internet, em livros ou em revistas. De posse dessas informações, o professor poderá organizar, durante a exposição verbal, quais serão os aspectos mais relevantes a serem trabalhados.

O segundo tópico presente no material, discute acerca das concepções de energia que já estiveram presentes na comunidade científica, ao longo da história. Inicialmente, aborda-se o fato de que o conhecimento é fruto de observações e de discussões acerca do que se observa, construindo conceitos que representem as regularidades observadas. Tal postura fora adotada porque, para Novak conceito é “uma regularidade percebida em acontecimentos ou objectos, os registos de acontecimentos ou objectos, designada por um rótulo” (2000, p. 22). Após expor algumas discussões que culminaram com a concepção clássica de energia atualmente aceita, apresenta-se o princípio da conservação da energia, ressaltando a transformação.

O primeiro e o segundo tópicos em conjunto compõem um organizador avançado, cuja finalidade é construir uma ponte entre os conhecimentos relevantes já presentes nas estruturas cognitivas dos alunos e a nova concepção a ser abordada. Além disso, apresentam-se algumas facetas do contexto da produção do conceito energia. Discute-se também a abstração inerente à concepção, reforçada pelo texto de Feynman (2006).

O terceiro tópico dá início à exposição explícita da concepção científica do conceito energia. Na introdução, procura-se ressaltar os equívocos na concepção de energia como um fluido ou como um agente responsável pelas transformações. A fim de dar clareza a tal afirmação, apresenta-se o conceito de sistema físico subsumindo o conceito de energia como uma propriedade. Além disso, é enfatizado que há outras propriedades em um sistema, tais como massa, volume ou densidade. Com isso busca-se uma reconciliação integradora entre esses conceitos, subsumidos pelo conceito sistema.

Em seguida apresenta-se o conceito de propriedade de um sistema, classificada em intensiva ou extensiva. Além disso, enfatiza-se que essas propriedades descrevem o estado do sistema, ou seja, existem em função do estado do sistema.

O princípio da conservação de energia é então associado ao transporte, ou seja, à transferência de energia, bem como à transformação. Em seguida, apresentam-se as duas principais formas de manifestação da energia no contexto da mecânica: energia cinética e energia potencial. Esse estudo é feito a partir da observação de um evento, a queda de um corpo no campo gravitacional terrestre, provocando a questão: qual a origem da energia cinética apresentada por uma pedra ao cair? As duas explicações possíveis seriam ou que houve transferência de energia ou que houve transformação. A partir disso, delimitando-se a terra e a pedra como sistema, é possível construir o conceito de energia potencial gravitacional.

Apenas após a discussão desses aspectos mais gerais, apresenta-se uma definição simplificada de trabalho realizado por uma força, associado à transferência ou à transformação de energia.

Na sequência, propõe-se a diferenciação dos conceitos energia interna e de degradação de energia. Tal discussão surge para explicar o pseudodesaparecimento de energia, em situações que envolvem forças de atrito cinético, por exemplo. Nesse contexto, propõe-se a construção do conceito de degradação de energia, envolvendo discussões acerca da irreversibilidade dos processos na natureza.

A fim de consolidar os conceitos apresentados, objetivando a prontidão para o estudo detalhado, segundo o que é hodiernamente apresentado nos livros didáticos, propõem-se algumas atividades. Dentre elas, a construção de um mapa conceitual. Optou-se por sugerir a construção por parte dos alunos em vez de apresentar um mapa pronto, a fim de explorar as possíveis contradições presentes na estrutura idiossincrática de cada um. Com isso, a leitura desse mapa por parte do professor (ou de outros colegas alunos) pode constituir um instrumento para avaliar a aprendizagem, bem como pode permitir, através de negociação das proposições apresentadas, a correção dos equívocos eventualmente cometidos.

No sentido dessa consolidação, encontram-se expressões que refletem concepções alternativas do conceito energia, a fim de que sejam reinterpretadas segundo os quatro aspectos que caracterizam a energia, de acordo com Duit e Heausller (1994).

Esse material se encontra no APÊNDICE D, sendo composto pelo texto a ser apresentado aos alunos e por comentários destinados aos professores, que venham a utilizá-lo (destacados em *itálico*). Acrescente-se que esse material não substitui o livro didático, mas complementa-o, fornecendo ferramentas ao professor e aos alunos, para que possam reinterpretar as concepções alternativas presentes tanto em textos não científicos, como em livros didáticos, à luz da teoria do Construtivismo Humano, que subsume a teoria da Aprendizagem Significativa.

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O livro didático de Física vive um novo paradigma: o processo de seleção feito pelo Governo Federal, considerando a proposta metodológica dos autores, bem como aspectos intrinsecamente ligados à ciência Física. Esse processo tem o potencial de amenizar as consequências do fato de os manuais escolares constituírem a principal referência para o professor, em relação ao conhecimento científico. Por outro lado, verificou-se, com a presente pesquisa, que há ainda deficiências na abordagem do conceito energia nos livros didáticos, apesar da existência desse processo seletivo.

Verificou-se que, segundo o Construtivismo Humano, a preparação para a instrução e, portanto, para a elaboração de manuais didáticos deve envolver uma pesquisa prévia acerca das concepções científicas dos conceitos a serem abordados, averiguando suas relações hierárquicas. Dessa forma, a abordagem presente nos manuais pode beneficiar-se da exposição dos conceitos mais gerais e, portanto, mais inclusivos, a fim de constituírem um ancoradouro para as ideias mais específicas. Tal procedimento, conhecido como diferenciação progressiva, deve vir acompanhado da reconciliação integradora, a qual busca o retorno aos conceitos mais gerais e a exploração das relações, visando a apontar similaridades, diferenças e discrepâncias.

Para facilitar a abordagem segundo o Construtivismo Humano, observou-se haver algumas ferramentas, nomeadas como organizadores: o organizador prévio, constituindo um material com a finalidade de fazer uma ponte entre os conhecimentos prévios e o novo material a ser apresentado e os organizadores gráficos, que buscam expressar as relações entre os conceitos e entre as etapas da produção do conhecimento.

Como referencial de concepção científica, fez-se uso das concepções apontadas por Duit e Heausller (1994), identificando energia como uma propriedade escalar extensiva de um sistema, relacionada a outras variáveis de estado, obedecendo aos princípios de conservação e de degradação, envolvendo transformação e transporte.

O estudo da abordagem do conceito energia presente nos livros didáticos analisados possibilitou obter um panorama acerca das concepções de apresentadas pelos livros didáticos e da forma como organizam a exposição dos conceitos correlatos. Infelizmente, encontraram-se manifestações de concepções equivocadas nas coleções estudadas, bem como apresentação de uma sequência conceitual divergente dos princípios do Construtivismo Humano e da Aprendizagem Significativa.

Em nenhuma das obras analisadas o conceito de sistema físico foi apresentado como ideia mais geral para servir de ancoradouro ao conceito de propriedade de um sistema físico, que tem como um exemplo representante o conceito de energia. Observou-se que esse conceito ou é admitido como conhecimento prévio já em forma relevante e, portanto, utilizado em diversas expressões ao longo do texto, ou é tratado apenas no contexto do estudo da Termodinâmica, ou é definido sem que se relacionem suas possíveis propriedades, caracterizando seu estado.

Dessa forma, deixa-se de explorar alguns aspectos fundamentais desse conceito, para que se construa um significado para energia. Por conta da falta dessa ponte, podem-se ressaltar concepções alternativas tais como algo abstrato causador de transformações e atividades, capaz de depositar-se em alguns corpos e de fluir entre eles.

O conceito de trabalho, em geral, é o primeiro a ser abordado matematicamente. A fim de tentar dar algum significado a ele, apresenta-se, em geral, nas introduções, uma breve exposição das concepções cotidianas de energia, definindo-o como um processo de transferência de energia. Um dos exemplares apresentou trabalho como relacionado a modificação do movimento.

Constataram-se quatro abordagens: trabalho como transferência ou transformação de energia, trabalho como medida de energia, trabalho como algo relacionado a energia e trabalho como relacionado a modificação de movimento.

Em todas as obras analisadas, admite-se que o leitor tenha uma concepção de energia, sobre a qual é possível ancorar os conceitos de trabalho. Por outro lado, não são enfatizadas as limitações das concepções alternativas de energia. Ao contrário disso, em todas as obras analisadas, os autores vieram a tentar legitimar concepções alternativas.

Acrescente-se que, em três exemplares, energia foi definida como capacidade de realizar trabalho. Em um deles, os próprios autores contradizem-se quando, no estudo da degradação da energia, deparam com um sistema em que não houve modificação da quantidade total de energia, mas que perdera capacidade de realizar trabalho.

Em todos os exemplares, calor foi definido como energia térmica em trânsito, sendo este causado pela existência de diferença de temperatura, e ocorrendo espontaneamente para as regiões em que a temperatura é menor.

Em todas as obras analisadas, foi dada ênfase ao princípio de conservação de energia nos processos de transformação e de transferência. Contudo, o princípio de degradação não foi apresentado em uma das coleções – de número 1. Na coleção 4, o princípio de degradação é apresentado ainda no primeiro volume, concomitantemente ao

princípio de conservação; sendo retomado no segundo volume ao apresentar a segunda lei da Termodinâmica e a entropia. Nas demais coleções, o princípio de degradação da energia é apresentado apenas no segundo volume, no estudo da Termodinâmica.

Em geral, os autores das obras analisadas parecem considerar suficientes as concepções alternativas de energia para que se exponha o conceito de trabalho físico, subsumindo-o a essa concepção prévia, mesmo que esta ainda esteja inadequada. Assim, as obras, em geral, não consideram as concepções alternativas de energia com a finalidade de ressignificá-las segundo concepções científicas. Por outro lado, todas as coleções analisadas teceram comentários acerca da concepção de trabalho como esforço, na introdução a esse tema.

Ressalte-se, por outro lado, que todas as coleções apresentaram pelo menos uma concepção alternativa como científica. Além disso, a coleção 1 apresenta um texto metafórico em que parecem ser legitimadas tais concepções, em vez de serem reinterpretadas segundo as concepções científicas.

Na coleção 1, energia potencial é definida como uma forma de energia latente, prestes a converter-se em cinética; na coleção 2, é definida como energia de posição, associada ao trabalho de forças conservativas; na coleção 3, é definida como trabalho realizado por algumas forças até uma posição de referência; na coleção 4, como capacidade de entrar em movimento; na coleção 5, há considerações mais aprofundadas na definição desse conceito, envolvendo energia de posição, trabalho de forças conservativas e reversibilidade de processos.

Na coleção 1, define-se matematicamente a energia cinética, sem justificativas acerca de conveniência ou de reflexões históricas. Com isso, entra em desacordo com os exigências do PNL D Física 2012. Na coleção 2, que define energia como capacidade de realizar trabalho, chega-se à definição matemática, analisando o trabalho que um corpo em movimento é capaz de realizar até reduzir sua velocidade a zero. A coleção 3 propõe a investigação dos valores do trabalho realizado pela força resultante sobre um bloco, no processo de aceleração, para deduzir “a expressão da energia cinética”. A coleção 4 indica o mesmo caminho, mas detém-se às equações, não tabelando dados. Com efeito, o ato de tabelar os valores encontra-se em consonância com as características inerentes à atividade de pesquisa científica; sua ausência, portanto, implica perda em termos didáticos. A coleção 5 aborda as discussões históricas acerca da *vis viva*, expressão utilizada historicamente antes da definição de energia potencial, a fim de apresentar a expressão matemática clássica da energia cinética.

A coleção 1 define matematicamente a variação da entropia e a relaciona com o conceito de desordem. Contudo, não se faz uso desse conceito para expressar a segunda lei da Termodinâmica, o processo de degradação de energia. A coleção 2 relaciona o conceito de entropia com a degradação de energia, contradizendo a definição fornecida para energia como capacidade de realizar trabalho. A coleção 3 também relaciona entropia com a desordem e com a degradação de energia, mas equivocou-se ao definir a variação da entropia como a própria entropia, matematicamente. A coleção 4 relaciona os conceitos de entropia, desordem, degradação de energia e probabilidade, de forma coerente com a proposta de Duit e de Heausller (1994), contudo apenas efetivado no segundo volume da coleção. A coleção 5 define entropia como uma função de estado relacionada à desordem do sistema e ao estado mais provável, relacionada como indicador da ineficiência dos processos de transformação ou de transferência de energia.

Em todas as coleções analisadas estiveram presentes os enunciados de Clausius e de Kelvin-Planck para a segunda lei da Termodinâmica, tratando do sentido espontâneo da transferência de calor e da impossibilidade da construção de uma máquina cujo único efeito é o recebimento de energia através de transferência de calor e fornecimento através da realização de trabalho mecânico. Por outro lado, apenas a coleção 3 apresenta essa lei a partir do conceito de entropia. As demais apresentam os enunciados de Clausius e de Kelvin-Planck primeiramente para depois associar ao conceito de entropia (exceto a primeira coleção, que não propõe esse relacionamento).

Com efeito, para que se compreenda significativamente uma lei, não é suficiente que seja enunciada. É necessário também que se discutam fenômenos que possam ser estudados a partir dela, buscando relacionar de forma lógica os conceitos envolvidos. Para a segunda lei da Termodinâmica, encontra-se mais de um enunciado. A fim de justificar-se corresponderem todos eles a uma única lei, é preciso que se discutam as equivalências entre esses enunciados.

Acrescente-se ainda que apenas a coleção 5 propôs o fato de o ciclo idealizado por Carnot representar o rendimento máximo, devido a considerações da segunda lei da Termodinâmica e do comportamento da propriedade entropia. Ressaltou ainda que esse ciclo representa uma idealização, tratando-se de um limite inalcançável.

Em relação à hierarquia conceitual, em nenhuma das coleções analisadas, encontrou-se o conceito de sistema físico apresentado como subsunção para as suas propriedades, dentre as quais se encontra a energia. Trabalho mecânico é o primeiro conceito a ser especificamente abordado. Contudo, há menções prévias acerca do conceito energia,

sendo este ressaltado como mais inclusivo. Em geral, supõe-se conhecido o conceito de energia, mesmo que de maneira informal. Provavelmente, os autores esperam que os estudos dos conceitos mais diferenciados, mais específicos, ao interagirem com o superordenado energia, venham a modificar o significado deste no âmbito cognitivo do aluno.

Tal postura parece ser inconveniente caso seja almejada a aprendizagem significativa. Caso o conceito subsunçor não apresente alguma estabilidade, o aluno pode ser estimulado a memorizar literalmente as relações apresentadas. A fim de construir um significado mais estável e coerente com as concepções científicas para o conceito de energia, poder-se-ia fazer uso de um organizador prévio, abordando, de forma mais abstrata, mais geral, a ideia de energia. Além disso, em tal organizador, poderiam ser levantadas as concepções prévias dos alunos, propondo-se uma releitura através das concepções científicas.

Acrescente-se ainda que, para que se construa o conceito de energia em concordância com a concepção de Duit e Heausller (1994), é necessário ter, como subsunçor o conceito de sistema físico. Dessa forma, definir-se-ia energia como uma propriedade extensiva do sistema, tendo seu valor em função do estado dele. Caso contrário, pode-se vir a construir concepções equívocas como, por exemplo, energia como um fluido imponderável que pode ser armazenado nos corpos.

Quanto ao uso de organizadores prévios, na coleção 1, a introdução do tema energia é feita através da exposição de um texto metafórico que, em vez de abordar o tema de forma mais geral e abstrata, faz uso de metáforas legitimando as concepções alternativas. Na coleção 2, a introdução não resalta os aspectos mais abstratos do conceito energia para servir de ancoradouro aos conceitos de trabalho e de calor. Citam-se as formas de energia e algumas transferências, na introdução. Contudo, energia é definida como capacidade de realizar trabalho, e este, definido matematicamente a partir da definição proposta para energia. Na coleção 3, associa-se o conceito de trabalho ao de energia, mas este último apenas é pressuposto conhecido, não havendo comentários acerca do que o rótulo energia representa. Na coleção 4, não se apresenta organizador prévio ou qualquer intenção que o represente. Na coleção 5, todos os capítulos são introduzidos por considerações acerca das concepções alternativas e cotidianas dos conceitos, além de abordar o contexto histórico e social em que se construíram os conhecimentos, proporcionando a construção de pontes cognitivas entre aquilo que o aluno já sabe e o que se propõe que venha a aprender.

De acordo com Ausubel (2003), o fator de maior importância no processo de aprendizagem significativa corresponde àquilo que o sujeito já sabe. Portanto, parece ser fundamental que se faça uso de alguma estratégia que atue como organizador prévio,

proporcionando uma ponte entre aquilo que o aprendiz já sabe e aquilo que se propõe que ele venha a aprender. A ausência disso na coleção 4 representa prejuízo para o aluno, na sua tentativa de construir significados para os novos conhecimentos apresentados.

Apenas na coleção 3 se apresenta o uso de um organizado gráfico relacionando os conceitos de variação de velocidade, aceleração, força resultante e trabalho realizado por essa força. Contudo, trata-se de um relacionamento linear, do tipo diagrama de fluxo, sem ramificações. Nas demais obras, verifica-se o uso de organizadores gráficos com o intuito de representar transferências ou transformações de energia, mas sem o objetivo de relacionar conceitos.

Todas as coleções analisadas buscam relacionar o conceito de energia ao contexto das matrizes energéticas, no âmbito da Geografia Humana. Além disso, abordam-se temas relacionados à tecnologia. Contudo, geralmente o fazem em quadros ao final dos capítulos, excetuando-se a coleção 5, que dedica um capítulo ao diálogo entre as áreas do conhecimento, em relação ao tema energia. Com efeito, energia corresponde a um conceito que se apresenta no âmbito de várias disciplinas. Assim, parece conveniente que se dedique um maior espaço nos livros didáticos de Física ao diálogo interdisciplinar do conceito energia, como apresentado nessa coleção 5.

No início da investigação, pressupôs-se que os livros apresentariam apenas as concepções científicas acerca do conteúdo energia. Contudo, no aprofundamento da análise dos livros observou-se que em todos os exemplares havia pelo menos uma concepção alternativa exposta como legítima. Além disso, esperava-se que não fossem consideradas as concepções prévias dos leitores/alunos de forma adequada, apesar de isso compor os critérios eliminatórios do guia do livro didático. Contudo, não se previa o resultado observado de obras legitimando concepções alternativas, como veio a acontecer.

Observou-se também a inadequação na exposição de alguns conceitos físicos. Ainda é comum tratar calor como uma forma de energia, em especial, como uma energia em trânsito. Note-se que Duit e Heausller propõem energia como uma propriedade, portanto, seria mais adequada a definição de calor e de trabalho como processos de transferência de energia, ressaltando que se pode chamar de calor o valor da energia transferida no processo devido à diferença de temperatura e de trabalho o valor da energia transferida no processo através de força e deslocamento. Além disso, observou-se, nos livros analisados, a confusão entre calor e energia térmica, especialmente quando esta não está em trânsito.

Não foram consideradas as abordagens relativísticas do conceito de energia, neste inquérito. Enfatizou-se o estudo acerca do paradigma clássico. As considerações acerca do

modelo relativístico envolveriam discussões aprofundadas acerca da definição de massa, que provocam ainda conflito de ideias no âmbito de livros de ensino superior. Apesar disso, tais concepções foram consideradas por alguns autores das obras analisadas.

A coleção 5 apresentou uma abordagem diferenciada, contextualizando sempre o conhecimento científico, contudo, deparou com a aprovação inadequada de concepções não científicas como legítimas ao longo da exposição. Apesar da mencionada falha, o tratamento dado envolvendo o conhecimento científico aos contextos pessoal, social e histórico tem o potencial de desmitificar a visão de ciência comum. Além disso, os problemas propostos, os exercícios e as atividades sugeridas nessa coleção estão de acordo com a concepção do Construtivismo Humano, não se restringindo às meras “aplicação de fórmulas” e “reprodução do texto”.

Em nenhuma das coleções analisadas encontrou-se a preocupação explícita com os princípios da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora no âmbito do estudo da energia, fundamentais para que se construam as relações significativas de forma duradoura. O conceito de sistema físico, por exemplo, que representa um subsunçor de energia, ou não é apresentado, ou apresenta-se apenas no segundo volume das obras no estudo da Termodinâmica. Com isso, dificulta-se a aprendizagem subordinada do conceito de energia em relação ao conceito de sistema físico, restringindo-se à superordenação em momento posterior. Apesar disso, nem todas as obras propuseram essa reconciliação integradora, relacionando explicitamente o conceito de energia ao de sistema, sendo este último mais geral.

Com relação aos questionamentos que guiaram o inquérito, obtiveram-se algumas respostas. Em primeiro lugar, a concepção de energia presente nos livros didáticos carece de um maior alinhamento com o que se concebe no âmbito acadêmico. Em segundo lugar, os conceitos correlatos a energia são apresentados sem respeitar o princípio da diferenciação progressiva, além de, em diversos casos, estarem em desacordo com a concepção científica proposta por Duit e Heausller (1994). Em terceiro lugar, nota-se que não fora proposta uma sequência para o estudo da energia, que tenha considerado as relações entre conceitos de forma relevante, nos livros didáticos analisados. Finalmente, as metodologias de exposição, além de não terem apresentado relação com os princípios da aprendizagem significativa de forma evidente, não fizeram uso de organizadores gráficos com potencial de explorar as conexões entre conceitos de forma efetiva.

Talvez a falta de um estudo prévio, por parte dos autores, acerca da hierarquia conceitual tenha estimulado a apresentação de concepções equívocas de energia. Com efeito,

a construção de um mapa conceitual ao programar o conteúdo a ser exposto no livro didático pode induzir a construção de relações significativas entre os conceitos, podendo também destacar algumas relações incoerentes, frutos de concepções equívocas. Assim, a estruturação curricular baseada numa hierarquia conceitual potencialmente significativa, ao guiar o processo de ensino através dos princípios da diferenciação progressiva dos conceitos e da reconciliação integradora, favoreceria o processo de aprendizagem significativa.

Os livros analisados estão de acordo com os preceitos da Aprendizagem Significativa? Não. Além disso, não se verificou a preocupação dos autores em investigação mais aprofundada acerca das concepções alternativas de energia antes de expor o conteúdo, bem como não se constatou a investigação das relações hierárquicas entre os conceitos para que a exposição não fosse assimilada de forma literal, mas com relações significativas entre os conceitos.

Assim, mesmo que se tenham citado algumas concepções como equívocas de certos conceitos nas introduções aos temas, não se provocou uma análise dessas concepções a partir do conhecimento científico que é exposto a seguir. Com isso, os alunos podem vir a compartimentalizar o conhecimento, fazendo uso, no contexto cotidiano, das concepções alternativas que já possuíam antes das aulas e, na escola, das concepções apresentadas pelo professor. É por esse motivo que se sugere a análise da hierarquia conceitual ao longo do planejamento curricular a ser apresentado no livro didático. Com isso, podem-se identificar os conceitos subsunçores necessários para que sejam assimilados significativamente os novos conceitos apresentados. Após essa identificação, é possível estruturar um organizador prévio que promova a investigação das concepções prévias desses subsunçores, verificando a presença de concepções alternativas, buscando ressignificá-las a partir das concepções científicas.

Por isso, é preciso quebrar o paradigma do livro didático como principal referencial do professor em relação ao conteúdo que será abordado em sala de aula. Parece fundamental que se proporcione uma formação mais alinhada com as pesquisas em ensino de Física ou exija-se mais da qualidade dos livros didáticos avaliados pelo Governo Federal. De todo modo, a principal exigência centra-se na divulgação das pesquisas acadêmicas acerca do ensino de Física, atingindo de forma eficaz o professor da sala de aula e o professor autor de livro didático.

Portanto, é mister o acesso dos professores aos conhecimentos construídos academicamente acerca do ensino e da aprendizagem de Física, a fim de acrescentar qualidade ao processo em sala de aula. O ensino propedêutico parece ter encontrado suas

limitações nas exigências governamentais, segundo o Guia do Livro Didático e o Exame nacional do Ensino Médio. Assim, resta a reorientação dos professores, quer através do acesso ao conhecimento construído academicamente com uma formação universitária coerente, quer através do acesso a livros didáticos que considerem esses conhecimentos, provocando questionamentos e mudando a prática da sala de aula.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos**: Uma perspectiva cognitiva. Lisboa: Plátano, 2003.
- BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 2011.
- BITTENCOURT, Circe Maria Fernandes. Apresentação. **Educ. Pesqui.**, São Paulo, v. 30, n. 3, Dec. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1517-97022004000300007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 20 out. 2011.
- BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Básica. **Guia de livros didáticos: PNLD 2012: Física**. Brasília: MEC, 2011.
- BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: MEC, 1999.
- CARVALHO, Ana Maria Pessoa de; GIL-PÉREZ, Daniel. **Formação de professores de ciências**. 9. ed. São Paulo: Cortez, 2009. (Questões da nossa época v. 26).
- CHAUI, Marilena. **Convite à Filosofia**. São Paulo: Ática, 1995.
- DOMÉNECH, J. L. *et al.* A introdução dos conceitos de trabalho e energia: exemplo de programa de actividades para orientar o trabalho dos estudantes. In: CACHAPUZ, Antônio *et al.* (Org.). **A necessária renovação do ensino das ciências**. São Paulo: Cortez, 2005. cap. 6. p. 127-151.
- DUIT, Reinders; HEAUSLLER, Peter. Learning and Teaching Energy. In: FENSHMAN, P.; GUNSTONE, R.; WHITE, R. (Eds.). **The Content os Science**: a Construtivist Approach to its Teaching and Learning. London: Falmer, 1994. p. 185-200.
- FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. **Feynman Lições de Física**. Porto Alegre: Bookman, v. 1, 2008.
- FREIRE, Paulo. **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 2005.
- FUKE, Luiz Felipe; YAMAMOTO, Kazuhito. **Física para o Ensino Médio**. São Paulo: Saraiva, 2010, 3v.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2009.
- GOMES, Cristiano Mauro Assis; BORGES, Oto. O Enem é uma avaliação educacional construtivista? Um estudo de validade de construto. **Revista Estudos em Avaliação Educacional**, São Paulo, v. 20, n. 42, p.73-88, jan. 2009. Disponível em: <<http://www.fcc.org.br/pesquisa/publicacoes/eae/arquivos/1468/1468.pdf>>. Acesso em: 07 abr. 2011.

KUHN, Thomas. **Estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Perspectiva, 1978.

LAJOLO, Marisa. Livro didático: um (quase) manual de usuário. **Em Aberto**, Brasília, Ano. 16, n. 69, 1996. Disponível em:

<<http://rbep.inep.gov.br/index.php/emaberto/article/view/1033>>. Acesso em: 20 out. 2011.

LEÃO, Flávia de Barros Ferreira; MEGID NETO, Jorge. Avaliações oficiais sobre o livro didático de Ciências. In: FRACALANZA, Hilário; MEGID NETO, Jorge (Org.). **O livro didático de Ciências no Brasil**. Campinas: Komedi, 2006. p. 34-80.

LIJNSE, P. Energy between the life-world of pupils and the world of physics. *Sci. Ed.*, v.74, n.5, p. 571-583, 1990.

LIMA, Isaías Batista de. **Lógica subjacente: a política de formação superior de professores da educação básica e o papel da universidade pública estadual do Ceará**. Dissertação de mestrado UFC. Fortaleza, 2002.

LIMA, Ivoneide Pinheiro de; SANTOS, Maria José Costa do; BORGES NETO, Herminio. O matemático, o licenciado em matemática e o pedagogo: três concepções diferentes na abordagem com a matemática. **Revista REMATEC**. Ano 5. n. 6. Natal/RN: EDURFN - editora UFRN, 2010.

LOPES, Antonia O. Aula expositiva: superando o tradicional. in FELTRAN Filho, Antônio *et al.* **Técnicas de ensino: Por que não?** Campinas, SP: Papirus, 1991 (Coleção Magistério: Formação e Trabalho Pedagógico). p. 35-48

LOSS, L.; MACHADO, M. de L. Pressupostos teóricos e metodológicos da disciplina de física: experiências didáticas. **XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Rio de Janeiro, 2005. Disponível: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/cd/resumos/T0210-2.pdf> . Acesso em 6 de abril de 2011.

MACEDO, Lino de. A situação-problema como avaliação e como aprendizagem. In: BRASIL. Ministério da Educação. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. **Exame Nacional do Ensino Médio (Enem): fundamentação teórico-metodológica**. Brasília, 2005. p. 29-36.

MÁXIMO, Antônio; ALVARENGA, Beatriz. **Curso de Física**. São Paulo: Scipione, 2010, 3v.

MINTZES, Joel J.; WANDERSEE, James H.; NOVAK, Joseph D. **Ensinando Ciência para a compreensão: uma visão construtivista**. Lisboa: Plátano, 2000.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.

MOREIRA, M. A. **Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas**. Revista Brasileira de Ensino de Física. v.22, n.1, 2000. Disponível em <www.sbfisica.org.br>. Acesso em: 21 de maio de 2006.

MOREIRA, M. A.; E. F. S. MASINI. **Aprendizagem Significativa: A teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2001.

MOREIRA, P. C.; DAVID, M. M. M. S. **A formação matemática do professor: licenciatura e prática docente escolar**. Belo Horizonte: Autêntica, 2005.

MORETTO, Vasco Pedro. **Construtivismo: a produção do conhecimento em aula**. 2. ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2000.

NOVAK, Joseph D. **Aprender criar e utilizar o conhecimento**. 1. ed. Lisboa: Plátano, 2000.

NOVAK, Joseph D. **A theory of education**. Ithaca: Cornell University Press, 1977.

NUSSENSVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 2: fluidos, oscilações e ondas, calor**. São Paulo: Edgard Blücher, 2002, 4 ed.

OLIVEIRA, Maurício Pietrocola Pinto de *et al.* **Física em contextos: pessoal, social, histórico**. São Paulo: FTD, v. 2, 2010.

SANT'ANNA, Blaidi *et al.* **Conexões com a Física**. São Paulo: Moderna, 2010, 3v.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT JR., John W. **Princípios de Física**. Tradução de André Koch Torres Assis. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Cortez, 2007.

SFORNI, M.S.F. **Aprendizagem conceitual e organização do ensino: contribuições da teoria da atividade**. Araraquara – SP: J M, 2004.

TAYLOR, E. F.; WHEELER, J. A. **Spacetime Physics: Introduction to Special Relativity**. New York: W. H. Freeman & Co., 1992.

TROWBRIDGE, John E.; WANDERSEE, James H. Organizadores gráficos guiados pela teoria. In: MINTZES, Joel J.; WANDERSEE, James H.; NOVAK, Joseph D. **Ensinando Ciência para a compreensão: uma visão construtivista**. Lisboa: Plátano, 2000. p. 100-127

VILLAS BÔAS, Newton; DOCA, Ricardo Helou; BISCUOLA, Gualter José. **Física**. São Paulo: Saraiva, 2010, 3v.

APÊNDICE A – TRECHOS DOS TEXTOS ANALISADOS DAS COLEÇÕES

Dados referentes à análise dos trechos extraídos das obras analisadas.

Quadro 2 – Significados das siglas utilizadas no Quadro 3, que contém os dados analisados.

Coleção analisada	Número referente à coleção analisada	C	Numeração de acordo com o Quadro 1 na página 59	
Exposição de consideração acerca das concepções alternativas	Exposição de concepções alternativas	RCA	X para presente	
Manifestação de concepções equívocas	Antropocêntrica	ANT	X para presente	
	Depositária	DEP	X para presente	
	Produto	PRO	X para presente	
	Atividade	ATI	X para presente	
	Funcional	FUN	X para presente	
	Fluido	FLU	X para presente	
	Causa	CAU	X para presente	
	Capacidade de realizar trabalho	CRT	X para presente	
	Quatro aspectos da energia	Conservação	CON	X para presente
		Transformação	TRFO	X para presente
Transferência ou transporte		TRFA	X para presente	
Degradação		DEG	X para presente	
Conceitos correlatos a energia	Entropia	ENT	O para Desordem do sistema G para Degradação da energia E para Estatística/Probabilidade	
	Trabalho	TRAB	T para transferência, transporte ou transformação de energia E para energia	
	Calor	CAL	T para transferência ou transporte de energia E para energia	
	Energia Térmica	ET	C para cinética P para potencial	
	Energia Interna	EI	C para cinética P para potencial	
	Sinal do trabalho	STRA	C para rotulado como motor ou resistente T para relacionado ao sentido da transferência de energia	
	Confusão entre calor e energia térmica	CCET	X para presente	
	Significado atribuído à energia potencial	EP	C para propriedade de um corpo S para propriedade de um sistema L para energia latente P para energia de posição	
Energia como propriedade de um sistema	EPS	X para presente		

Quadro 3 – Trechos dos textos das coleções analisadas, classificados de acordo com o quadro.

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
1	Essa substância imponderável que possibilita o funcionamento de todos os organismos – vivos ou não – recebe o nome de energia.	1	261		X					X																
1	As usinas hidrelétricas são acionadas pela energia da água [...].	1	261								X															
1	A energia comporta-se como um camaleão fugaz que surge e ressurge sob os mais variados matizes e mantos.	1	261											X												
1	O conceito de trabalho que desenvolveremos deste capítulo difere da noção de ocupação, ofício ou profissão.	1	262	X																						
1	Realizar trabalho em Física implica a transferência de energia de um sistema para outro e, para que isso ocorra, são necessários uma força e um deslocamento adequados.	1	262															T								
1	A força [...] realiza trabalho.	1	262																							
1	[...] o atleta exerce uma força para manter o “peso” em equilíbrio, porém o fato de não haver deslocamento determina a não transferência de energia mecânica e, conseqüentemente, a não realização de trabalho.	1	262												X			T								
1	O trabalho é uma grandeza algébrica, isto é, admite valores positivos e negativos. O que impõe o sinal do trabalho é o $\cos\theta$, já que $ \mathbf{F} $ e $ \mathbf{d} $ são quantidades sem sinal.	1	262																							
1	O trabalho de uma força é motor quando esta é “favorável” ao deslocamento.	1	263																			C				
1	O trabalho de uma força é resistente quando esta é “desfavorável” ao deslocamento.	1	263																			C				
1	Sempre que a força e o deslocamento forem perpendiculares entre si, a força não realizará trabalho.	1	263																							
1	Pelo fato de estar em movimento, dizemos que a partícula está energizada, ou seja, dizemos que possui uma forma de energia denominada cinética.	1	267			X																				
1	O trabalho total das forças, internas e externas, realizado sobre um corpo é igual à variação de sua energia cinética.	1	267												X											
1	A energia desempenha um papel essencial em todos os setores da vida [...].	1	288		X																					
1	A energia é uma grandeza, mas, dependendo de como se manifesta, recebe diferentes denominações: energia térmica;	1	288																							Formas de energia

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
	energia luminosa; energia elétrica; energia química; energia mecânica; energia atômica, entre outras.																									
1	A energia total do Universo é constante, podendo haver apenas transformações de uma modalidade em outras.	1	288										X	X												
1	Uma lâmpada incandescente transforma energia elétrica em energia térmica.	1	288											X												
1	Nosso objetivo, neste capítulo, é estudar a energia mecânica que se manifesta em situações de movimento, como a de um cavalo a galope, e em casos de possíveis movimentos, como o de uma pequena bola prestes a ser lançada por uma bola comprimida.	1	290					X																		
1	Esse trabalho é assimilado sob a forma de energia cinética.	1	290												X											
1	[Energia potencial] É uma forma de energia latente, isto é, está sempre prestes a se converter em energia cinética.	1	290			X								X										L		
1	[Energia potencial de gravidade] É função da posição de um corpo em um campo gravitacional [...].	1	291																					P		
1	Pelo fato de ocupar a posição B, dizemos que o corpo está energizado, apresentando, em relação à posição A, energia potencial de gravidade [...].	1	292			X																		P	C	
1	De onde veio, no entanto, essa energia? Veio da pessoa que, ao erguer o corpo, exerceu uma força que realizou um trabalho assimilado pelo corpo sob a forma de energia potencial de gravidade.	1	292										X		X			T							C	
1	[Energia potencial elástica] É a forma de energia que encontramos armazenada em sistemas elásticos deformados.	1	293			X																			S	
1	Por estar deformada, dizemos que a mola está energizada, tendo armazenada em si energia potencial elástica [...].	1	293			X																			C	
1	[...] trabalho, assimilado sob a forma de energia potencial elástica.	1	293												X			T								
1	Calculamos a energia mecânica de um sistema adicionando a energia cinética à energia potencial, que pode ser de gravidade ou elástica.	1	297																							Definição de energia mecânica.
1	Sistema mecânico conservativo é todo aquele em que as forças que realizam trabalho transformam exclusivamente energia potencial em energia cinética e vice-versa. É o que ocorre com as forças de gravidade, elásticas e eletrostáticas, que, por sua vez, são denominadas conservativas.	1	297										X	X				T								Sistema mecânico conservativo.
1	As forças de atrito cinético, de resistência viscosa [...] e de resistência do ar transformam energia mecânica em outras	1	297											X				T								

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
	formas de energia, principalmente térmica. Essas forças são denominadas forças dissipativas.																									
1	Podemos dizer então que um sistema mecânico só é conservativo quando o trabalho é realizado exclusivamente por forças conservativas.	1	297										X													Conservação de energia mecânica
1	[Princípio da conservação da energia mecânica] Em um sistema mecânico conservativo, a energia mecânica total é sempre constante.	1	299										X													
1	É correto afirmar que um sistema mecânico não conservativo sempre é dissipativo? A resposta é não [...].	1	300											X												Diferenciação entre dissipar e não conservar.
1	Termologia é a parte da Física que estuda os fenômenos relativos ao aquecimento, ao resfriamento ou às mudanças de estado físico em corpos que recebem ou cedem um determinado tipo de energia.	2	10												X											
1	Temperatura é a grandeza que caracteriza o estado térmico de um sistema.	2	11																							Definição de temperatura
1	[...] o somatório de toda essa energia associada à agitação das partículas de um corpo recebe o nome de energia térmica.	2	25																	C						
1	A energia térmica de um corpo depende de dois fatores: da energia de agitação média de cada partícula (que determina a temperatura do corpo) e do número de partículas que o corpo possui.	2	25																	C						
1	A energia térmica de um corpo é o somatório das energias de agitação de suas partículas e depende da temperatura do corpo e do número de partículas nele existentes.	2	25																	C						
1	[...] energia térmica é o somatório das energias de agitação com as energias de agregação das partículas. Essa energia de agregação é o que estabelece o estado físico do corpo (sólido, líquido ou gasoso).	2	25																	C	P					Contradiz o anterior
1	Essa energia térmica, quando e apenas enquanto está em trânsito, é denominada calor.	2	25																E				X			
1	Calor é energia térmica em trânsito de um corpo para outro ou de uma parte para outra de um mesmo corpo, trânsito esse provocado por uma diferença de temperaturas.	2	25																E				X			
1	Condução é o processo de propagação de calor no qual a energia térmica passa de partícula para partícula de um meio.	2	27																				X			
1	Cálculo do fluxo de calor.	2	28																				X			
1	Convecção é o processo de propagação de calor no qual a	2	33																				X			

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CGET	EP	EPS	Comentários	
	energia térmica muda de local, acompanhando o deslocamento do próprio material aquecido.																										
1	Radiação é o processo de propagação de energia na forma de ondas eletromagnéticas. Ao serem absorvidas, parte dessas ondas se transformam em energia térmica.	2	36											X	X												Uso de propagação de energia em vez de propagação de calor
1	Rigorosamente, a radiação não é um processo de transmissão de calor.	2	36																				X				
1	Essas ondas, ao serem absorvidas por um outro corpo, transformam-se novamente em energia térmica, aquecendo-o.	2	37											X													Onda como energia.
1	A variação de temperatura corresponde a uma variação no estado de agitação das partículas do corpo. Nesse caso, a energia térmica transferida é denominada calor sensível.	2	50																E								
1	A energia térmica responsável pelas mudanças de estado denomina-se calor latente.	2	50								X																
1	A temperatura é o estado termodinâmico de um corpo que associamos ao nível médio de agitação de suas partículas	2	50																								Definição de temperatura
1	Calor sensível é o calor que, recebido ou cedido por um corpo, provoca nele uma variação de temperatura.	2	51								X																
1	A denominação calor latente é dada à energia térmica que se transforma em energia potencial de agregação.	2	58											X						C			X				Diferencia térmica (cinética) de potencial (agregação)
1	É importante lembrar que a realização de trabalho envolve trânsito ou conversão de energia mecânica e que calor é a denominação que damos à energia térmica em trânsito.	2	112																				X				Trabalho envolve trânsito e calor é a energia em trânsito.
1	A Termodinâmica estuda as transformações e as relações existente entre dois tipos de energia: energia mecânica e energia térmica.	2	112											X													E. mecânica em E. térmica.
1	[...] conversão de energia térmica em energia mecânica [...].	2	113											X													
1	A energia interna de um sistema é o somatório de vários tipos de energia existentes em suas partículas. Nesse cálculo, consideramos as energias cinética de agitação (ou de translação), potencial de agregação, de ligação, nuclear, enfim, todas as energias existentes em suas moléculas.	2	114																		C						Energia interna como somatório de todas as formas.
1	Observemos que apenas parte dessa energia (cinética de agitação e potencial de agregação) é térmica.	2	114																	C							Contradição
1	[...] trabalho é realizado por uma força.	2	114																		P						Trabalho de força.
1	Na expansão, $Tgás > 0$ e o gás fornece energia na forma de trabalho: o gás realiza trabalho.	2	115																								Contradição Trabalho de um

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
																										corpo.
1	Na compressão, $T_{gás} < 0$ e o gás recebe energia na forma de trabalho: o gás recebe trabalho.	2	115															T				T				
1	Para todo sistema termodinâmico existe uma função característica denominada energia interna. A variação dessa energia interna entre dois estados quaisquer pode ser determinada pela diferença entre a quantidade de calor (Q) e o trabalho ($T_{gás}$) trocados com o meio externo.	2	116												X											Energia interna como função de estado de um sistema.
1	A energia mecânica de um sistema pode ser dos tipos cinética ou potencial (gravitacional ou elástica). Muitas vezes essa energia mecânica transforma-se em energia térmica produzindo o aquecimento do sistema.	2	123											X												
1	São denominadas máquinas térmicas os dispositivos usados para converter energia térmica em energia mecânica.	2	131											X												
1	[Kelvin-Planck] É impossível construir uma máquina que, operando em transformações cíclicas, tenha como único efeito transformar completamente em trabalho a energia térmica recebida de uma fonte quente.	2	134															E								Energia térmica transformada em trabalho. Segunda lei.
1	[Clausius] É impossível uma máquina, sem ajuda de um agente externo, conduzir calor de um sistema para outro que esteja a uma temperatura maior.	2	134																E							Calor como energia.
1	[1º postulado de Carnot] Nenhuma máquina operando entre duas temperaturas fixadas pode ter rendimento maior que a máquina ideal de Carnot, operando entre essas mesmas temperaturas.	2	136																							Postulado de Carnot
1	Denomina-se transformação reversível aquela em que, após seu término, o sistema pode retornar a suas condições iniciais pelo mesmo caminho, isto é, passando pelos mesmos estados intermediários, na sequência inversa daquela ocorrida na transformação inicial, sem interferência externa. A transformação será irreversível se o processo não puder satisfazer essas condições citadas.	2	137																							Reversibilidade
1	[...] se as leis da Natureza puderem atuar em um sistema sem interferências, o mais provável é que os integrantes desse sistema tendam a uma disposição desordenada.	2	137-8														O									Sistema sem interferências em lugar de sistema isolado.
1	[...] entropia é uma medida da desordem.	2	138														O									
1	[...] a entropia do Universo vem aumentando ao longo do tempo. Essa poderia ser uma outra maneira de enunciarmos a 2ª Lei da Termodinâmica.	2	138																							Segunda lei como aumento da entropia, não associada à

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CGET	EP	EPS	Comentários		
																										degradação da energia.		
1	Se um sistema recebe calor [...], sua entropia aumenta [...].	2	138																									
2	Os problemas relacionados com a produção e o consumo de energia ocupam diariamente os noticiários de TV [...]	1	276																									
2	A energia desempenha um papel muito importante no mundo atual [...]	1	276																									
2	Se um país possui grandes reservas de energia, terá possibilidades de se desenvolver [...].					X																						
2	Iniciaremos nosso estudo introduzindo o conceito de uma grandeza, denominada trabalho, relacionada com a medida da energia [...].	1	276																								Exposição do conceito de trabalho como relacionado a energia.	
2	[...] trabalho é uma grandeza escalar.	1	277																									
2	[...] a noção da grandeza trabalho, definida na Física, nem sempre coincide com o conceito vulgar de trabalho que você já possuía.	1	277	X																								
2	[...] difícil definir, em poucas palavras, o que é energia.	1	284																									
2	Na Física, costuma-se introduzir o conceito dizendo que “a energia representa a capacidade de realizar trabalho”. Acreditamos que isso constitui, pelo menos um modo de começar o estudo de energia.	1	284									X																
2	[...] um corpo possui energia se ele for capaz de realizar um trabalho.	1	284									X																
2	Você já deve ter percebido que a energia pode se apresentar sob diversas formas: energia química, energia mecânica, energia térmica, energia elétrica, energia atômica energia nuclear etc.	1	284																								Formas de energia.	
2	[...] os alimentos que a pessoa ingere sofrem reações químicas e liberam energia; podemos dizer que os alimentos liberam energia química no organismo humano.	1	284												X													
2	[...] o bloco em movimento foi capaz de realizar o trabalho de comprimir a mola.	1	284									X																
2	Qualquer corpo em movimento tem capacidade de realizar trabalho e, portanto, possui energia. Essa energia é denominada energia cinética [...].	1	285									X																
2	[...] a variação da energia cinética experimentada por esse corpo será igual ao trabalho total realizado sobre ele [...]	1	287																								Trabalho total relacionado a energia cinética.	

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CGET	EP	EPS	Comentários	
2	[...] se for abandonado [em queda livre], esse corpo será capaz de realizar trabalho ao chegar ao solo [...].	1	289									X															
2	[...] um corpo, a uma certa altura, possui energia, pois tem capacidade de realizar um trabalho ao cair.	1	289									X												C			
2	[...] um corpo ligado à extremidade de uma mola comprimida (ou esticada) [...], ao ser abandonado será empurrado (ou puxado) pela mola, adquirindo capacidade de realizar um trabalho. Pode-se dizer que o corpo ligado à mola comprimida (ou esticada) possui energia.	1	289									X												C		Se antes não havia ainda capacidade de realizar trabalho, não deveria haver energia.	
2	A energia que um corpo possui, devido à sua posição, é denominada energia potencial [...].	1	289																					C	P		
2	A energia potencial gravitacional que ele possui, nessa posição, pode ser calculada pelo trabalho que o peso desse corpo realiza, sobre ele, quando cai, desde aquela posição até o nível de referência.	1	289																					C			
2	[Relação entre trabalho e energia potencial gravitacional] quando um corpo se desloca de um ponto A para outro ponto B, o seu peso realiza um trabalho igual à diferença entre as energias potenciais gravitacionais desse corpo naqueles pontos [...].	1	290											X												Trabalho do peso transforma energia potencial em cinética.	
2	A energia potencial elástica desse corpo, nessa posição, pode ser determinada pelo trabalho que a mola realiza sobre ele, ao empurrá-lo até a posição normal da mola [...].	1	293																					C		Trabalho da força elástica transforma energia potencial em cinética.	
2	As forças, cujo trabalho não depende do caminho são denominadas forças conservativas. Sempre que uma dessas forças realiza um trabalho sobre um corpo, há uma variação na energia potencial desse corpo [...].	1	296											X										C		Generalização da transformação potencial-cinética.	
2	As forças cujo trabalho depende do caminho são denominadas forças dissipativas ou forças não conservativas.	1	296																							Iguala dissipativa a não conservativa.	
2	[...] não existe uma energia potencial relacionada com uma força dissipativa.	1	296																								
2	Se apenas forças conservativas atuam sobre um corpo em movimento, a soma da energia cinética do corpo com sua energia potencial permanece constante para qualquer ponto da trajetória.	1	297										X													“Atuam” deveria ser substituído por “realizam trabalho”.	
2	A soma da energia cinética de um corpo com sua energia potencial, em um dado ponto é denominada energia mecânica total do corpo [...].	1	297																					C		Definição de energia mecânica.	

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
2	Se [...] estivesse atuando no corpo uma força dissipativa, a energia mecânica do corpo não seria conservada.	1	298																							“Atuando” deveria ser substituído por “realizando trabalho”.
2	[...] calor é uma forma de energia.	1	298																E							
2	[...] no deslocamento do corpo sob a ação da força de atrito, o que ocorreu foi a transformação em calor da energia mecânica que desapareceu.	1	298										X	X					E				X			
2	Em todas as transformações observa-se que não há criação nem destruição de energia, de modo que a quantidade total de energia envolvida em um fenômeno permanece sempre a mesma, isto é, ela se conserva.	1	298										X	X												
2	A conservação da energia mecânica é um caso particular do princípio geral de conservação de energia	1	298										X													
2	Dois (ou mais) corpos, em contato e isolados de influências externas, tendem para um estado final, denominado estado de equilíbrio térmico, que é caracterizado por uma uniformidade na temperatura dos corpos.	2	12																							
2	[...] o calor é considerado uma forma de energia.	2	72																E							
2	[...] a energia empregada na realização daquele trabalho [da força de atrito cinético na perfuração] era transferida para as peças, provocando uma elevação em suas temperaturas.	2	72												X											
2	[...] a antiga ideia de que um corpo mais aquecido possui maior quantidade de calórico começava a ser substituída pela ideia de que este corpo possui, realmente, maior quantidade de energia em seu interior.	2	72																							Mudança da teoria do calórico para o modelo que envolve energia.
2	[...] quando a temperatura de um corpo é aumentada, a energia que ele possui em seu interior, denominada energia interna , também é aumentada.	2	73																							
2	[...] o conceito moderno de calor é o seguinte: calor é a energia transferida de um corpo para outro em virtude, unicamente, de uma diferença de temperatura entre eles.	2	73																T	E						
2	[...] o termo calor só deve ser utilizado para designar energia em trânsito [...]	2	73																T	E			X			
2	A transferência de calor para um corpo acarreta um aumento na energia de agitação de seus átomos e moléculas, ou seja, acarreta um aumento da energia interna, o que, em geral , provoca uma elevação em sua temperatura.	2	73																		C	P				A forma térmica parece ser considerada um tipo de energia interna.

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
2	Não se pode dizer que “um corpo possui calor” ou que “a temperatura é uma medida do calor de um corpo”. Na realidade, o que um corpo possui é energia interna e quanto maior for a sua temperatura, maior será esta energia interna.	2	73	X																	CP					
2	É importante observar que a energia interna de um corpo pode aumentar sem que o corpo receba calor, desde que receba alguma outra forma de energia.	2	73												X				E							
2	Quando agitamos [...] uma garrafa contendo água, sua temperatura se eleva, apesar de a água não ter recebido calor. O aumento da energia interna, neste caso, ocorreu em virtude da transferência de energia mecânica à água, ao realizarmos o trabalho de agitar a garrafa.	2	73												X			T								
2	Condução de calor	2	76																E				X			Não é definido
2	Convecção	2	76																							Não é definida
2	Todos os corpos aquecidos emitem radiações térmicas que, ao serem absorvidas por um outro corpo, provocam, nele, uma elevação de temperatura.	2	78												X											Não é mencionada a possibilidade de essa transferência aumentar a energia potencial provocando a mudança de estado físico.
2	A palavra sistema é usada, na Física, para designar um corpo (ou um conjunto de corpos) sobre o qual fixamos nossa atenção a fim de estudá-lo. Tudo aquilo que não pertencer ao sistema, isto é, o resto do universo, denomina-se vizinhança do sistema.	2	86																							Definição de sistema físico.
2	Um sistema pode trocar energia com a sua vizinhança sob a forma de calor ou pela realização de trabalho.	2	86											X	X			T	E							Trabalho é tratado como transferência de energia, mas calor é tratado como energia em transferência.
2	[...] o trabalho realizado é positivo [...] Neste caso, dizemos que o trabalho foi realizado pelo sistema. [...] Quando ocorre uma compressão do gás [...] o trabalho foi realizado sobre o sistema.	2	88																			C				
2	[...] energia interna [...] representa a soma das diversas formas de energia que os átomos e moléculas deste corpo possuem.	2	89																		CP					Energia interna.
2	[...] se um sistema absorve uma quantidade de calor Q e	2	89							X			X		X											

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
	realiza um trabalho T [...], o Princípio de Conservação da Energia nos permite concluir que sua energia interna sofrerá uma variação [...]																									
2	[...] qualquer dispositivo existente na natureza, ao efetuar um ciclo, nunca conseguirá transformar integralmente em trabalho todo o calor que ele absorve da fonte quente.	2	89							X								E	E							Kelvin
2	A importância do ciclo de Carnot é devida ao teorema seguinte, conhecido como teorema de Carnot: “Nenhuma máquina térmica que opere entre duas dadas fontes, às temperaturas T1 e T2, pode ter maior rendimento que uma máquina de Carnot operando entre estas mesmas fontes.” [...] Este teorema é demonstrado a partir da 2ª lei da Termodinâmica.	2	118																							Carnot
2	[...] embora não tenha havido desaparecimento da energia, não é mais possível convertê-la em trabalho (energia útil). Vemos que parte da energia do sistema tornou-se indisponível.	2	122										X			X		E								Trabalho exposto como energia útil.
2	Para que aquela parte de energia continuasse disponível para a realização de trabalho, seria necessário que o sistema (suposto isolado) voltasse espontaneamente às condições iniciais.	2	122													X										Reversibilidade associada à não degradação.
2	Outra maneira de analisar esse processo consiste em observar que o sistema inicialmente encontrava-se em condição mais organizada [...].	2	122														O									
2	Esta irreversibilidade do processo que acabamos de analisar [transformação até o equilíbrio térmico] e o aumento da desordem do sistema, que conduzem à indisponibilidade de parte de sua energia, é uma característica de qualquer processo que ocorre na natureza.	2	122													X	O	G								
2	[...] a energia cinética do bloco que poderia ter sido utilizada para realizar um trabalho útil, agora, sob a forma de energia térmica, perdeu sua capacidade de realizar trabalho, isto é, perdeu sua disponibilidade.	2	123													X										Essa afirmação contradiz a definição de energia como capacidade de realizar trabalho.
2	Costuma-se dizer que a energia se degrada ao se transformar em energia térmica.	2	123										X		X											
2	Para expressar quantitativamente essas características dos processos irreversíveis [...], introduziu uma nova grandeza, denominada entropia.	2	123														O	G								Segue definição matemática
2	Em todos os processos naturais irreversíveis, a entropia total do sistema e da vizinhança sempre aumenta.	2	123													X										
2	A quantidade de energia ΔE que se torna indisponível em um	2	124													X										

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
	processo natural é diretamente proporcional ao aumento total de entropia ΔSt , que acompanha o processo.																									
2	Durante a fusão, a temperatura do sólido permanece constante. Isto acontece porque o calor que é fornecido ao sólido, para ele se fundir, é usado para aumentar a separação entre seus átomos, rompendo a rede cristalina, sem ocasionar variação na agitação térmica destes átomos.	2	137											X	X											
3	Do alimento é que vem a energia necessária para realizarmos trabalho.	1	260																							
3	[...] trabalho está associado à ideia de energia.	1	260																							
3	[...] energia é uma grandeza física associada à matéria nas transformações do Universo.	1	260																							
3	Em nosso cotidiano, trabalhar significa aplicar forças e faculdades humanas para alcançar determinado fim.	1	260	X																						
3	[...] realiza-se trabalho quando um conjunto de forças é aplicado sobre determinado objeto e provoca ou cessa seu deslocamento, ou causa deformações nele.	1	260															T								Trabalho associado a transformações.
3	[...] é a força que “realiza trabalho”, durante o transcorrer do deslocamento de um objeto. Portanto a frase “trabalho realizado por um indivíduo ou máquina” é inadequada segundo a terminologia da Física, mas é usada eventualmente.	1	160																							Ressalta que trabalho é realizado por força e não por sistemas.
3	[...] e o trabalho tem valor positivo: isso significa que a força realiza um trabalho motor, que favorece o deslocamento do objeto no qual atua; nessa situação, dizemos que o agente que aplica a força fornece energia ao objeto.	1	262												X			T				C				
3	[...] e o trabalho efetivado pela força é nulo: isso significa que a ação da força não interfere no movimento. É por esse motivo que a componente normal da força em relação ao deslocamento não produz trabalho.	1	262													X										O uso da palavra “interferência” pode levar à conclusão de que não há alteração na direção do vetor velocidade.
3	[...] e o trabalho tem valor negativo: o que significa que a força realiza trabalho resistente sobre o corpo, que se opõe ao deslocamento; dizemos que o agente que aplica a força retira energia do objeto.	1	262												X			T				C				
3	É comum entendermos energia como sinônimo de alegria, disposição, vigor, veemência ou vontade, ou associá-la a variados tipos de movimento, ou, ainda, à capacidade de pensar, planejar e executar tarefas.	1	278	X																						

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CGET	EP	EPS	Comentários
3	A energia já foi confundida com o próprio movimento	1	279	X																						
3	Conceituamos energia, formal e genericamente, como a capacidade de um sistema físico realizar trabalho. Mas esse enunciado não diz muito.	1	279									X														
3	Certo é que a energia atua como agente de todas as transformações .	1	279								X															
3	Se um sistema físico possui energia, ele poderá realizar trabalho [...]	1	279									X													X	
3	[...] é razoável supor que energia se relaciona com trabalho.	1	279																							
3	Veremos como a energia mecânica se transforma em trabalho.	1	279															E								
3	A expressão energia mecânica está vinculada a movimento – e nesse caso é chamada energia cinética – e/ou ao armazenamento dele em sistemas físicos na forma latente – que tem nome de energia potencial –; e ambas as formas de energia mecânica estão relacionadas com a capacidade de um sistema realizar trabalho .	1	279			X						X												L		
3	Todos os seres vivos dependem da energia para sobreviver, e com o ser humano não é diferente.	1	279		X																					
3	Nossa sociedade tecnocrata exige quantidades cada vez maiores de energia elétrica, e não temos medido esforços para produzi-la.	1	280																							
3	Atualmente sabemos que a energia elétrica não é um recurso material e que ela não pode ser criada ou destruída, mas sim obtida a partir da transformação de outra forma de energia.	1	280										X	X												
3	Hoje, para gerar eletricidade usamos energia nuclear, eólica, solar, da biomassa e das marés [...].	1	280											X												
3	Independentemente da fonte, é muito raro que utilizemos a energia tal como a obtemos na natureza, e precisamos transformá-la em formas mais adequadas [...].	1	281											X												
3	[...] se um objeto possui energia, então ele pode exercer força sobre outro, (força essa) que realizará trabalho. Reciprocamente, se uma força efetivar trabalho sobre um objeto, este adquirirá energia, que, se for suficiente para movimentá-lo, será sob a forma cinética.	1	283									X						T								
3	[...] o trabalho da força resultante é medido pela variação da energia cinética.	1	285																							Esse teorema, tal como enunciado, é válido apenas para partículas.

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CGET	EP	EPS	Comentários
3	Vide Mapa conceitual	1	286																							Há um mapa conceitual unidirecional.
3	Quando há acréscimo da energia cinética de um sistema, $\tau_{Fr}>0 \rightarrow \Delta E_c > 0$, ou a retirada, $\tau_{Fr}<0 \rightarrow \Delta E_c < 0$	1	286												T			T								Realização de trabalho como transferência de energia
3	Essa energia – do tipo potencial – fica latente no corpo, até ele ser largado, graças à ação do campo gravitacional e pertence ao sistema lápis-Terra.	1	287																					C		
3	A energia potencial é uma forma de energia latente armazenada em um sistema físico.	1	287			X																		L S S L		
3	Assim como a posição e a velocidade, a energia é uma grandeza física que também depende do referencial.	1	287																							Energia dependente da adoção de um sistema de referência.
3	A energia potencial gravitacional (E_{pg}), armazenada no campo gravitacional do planeta e associada ao sistema planeta-objeto, é aquela que corresponde ao trabalho que o peso do objeto realiza durante seu deslocamento, do nível considerado até o nível de referência.	1	288			X																		S		
3	A energia potencial elástica (E_{pe}) do sistema objeto-mola é aquela correspondente ao trabalho realizado pela força elástica da mola sobre o objeto que a deforma, ao longo do trajeto da deformação x , isto é, do ponto O [sem deformação] até P [...].	1	288																					S		Notar a ordem OP. A definição correta seria de P até O.
3	A soma das energias cinética e potencial de um sistema físico em relação a determinado referencial é, por definição, a sua energia mecânica.	1	289																							Definição de energia mecânica.
3	[...] a quantidade total de energia existente no Universo permanece sempre a mesma, não havendo portanto criação ou destruição dela, mas tão somente sua transformação, de uma forma em outra. Assim fica enunciado o Princípio Geral de Conservação de Energia.	1	289										X	X												
3	[...] na ausência da atuação de forças dissipativas (como o atrito e a resistência do ar), a energia mecânica é conservada, permanecendo constante.	1	289										X													O termo “atuação” deveria ser substituído por “realização de trabalho”.
3	Um sistema físico nessa condição (ausência de forças dissipativas) é dito conservativo [...].	1	289																							Elas não estão necessariamente

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
																										ausentes. Apenas não realizam trabalho.
3	[...] a conservação da energia mecânica é um caso particular do Princípio Geral da Conservação de Energia.	1	290										X													
3	[...] a rigor, em praticamente todas as situações existe a presença de forças dissipativas [...]. Mas, [...] ainda assim é possível dar sentido ao princípio de conservação: basta reformularmos a expressão, incluindo as parcelas convertidas pelas forças dissipativas em outra forma de energia (térmica, sonora etc.)[...].	1	290										X	X												
3	[...] Termologia, um ramo da Física que estuda o calor, suas manifestações e implicações [...].	2	10																							
3	O estado de agitação do material está associado à energia cinética média das partículas (que são em grande número), e a temperatura mede esse estado de agitação.	2	12																							Abordagem do conceito temperatura.
3	[...] dizemos que o estado de agitação é uma grandeza estatística [...] e macroscópica, que depende de medições indiretas para se determinar o seu valor: a temperatura é, então, uma grandeza macroscópica associada ao estado de agitação das partículas de um sistema.	2	12																							Abordagem do conceito temperatura.
3	Energia térmica [...] é a soma das energias cinéticas decorrentes da agitação das partículas que constituem a matéria.	2	12																	C						Energia térmica.
3	Temperatura é a medida associada ao grau de agitação das partículas de um corpo ou sistema físico. Portanto, ela indica o nível de energia térmica média das moléculas.	2	12																							Abordagem do conceito temperatura.
3	Calor é a energia térmica em trânsito que está sendo transferida de um corpo a outro devido à diferença de temperatura existente entre eles [...].	2	13												X					E T			X			
3	[...] não há sentido em dizer “o calor de uma partícula, corpo ou substância, objeto ou sistema”, pois ele não está contido na matéria. Nesse caso o correto é falar energia térmica de um corpo ou objeto e do calor cedido ou recebido por ele.	2	13	X											X					T E						Exposição de diferença entre energia térmica e calor.
3	Equilíbrio térmico é o estado em que a temperatura compartilhada pelos corpos, depois de cessada a transferência de calor entre eles, é idêntica.	2	13																							
3	A energia química das moléculas digeridas não é usada imediatamente, mas fica armazenada nas células em forma de trifosfato de adenosina, ATP . [...] Energia é armazenada em ATP .	2	39			X																				

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
3	A propagação do calor	2	40																				X			
3	A condução térmica é a propagação do calor na qual a energia (térmica) se transmite de partícula para partícula. Nessa forma de propagação, ocorrem colisões entre partículas (como átomos e moléculas), alterando sua agitação térmica.	2	41												X				ET				X			Calor exposto como energia térmica “em trânsito”. Note-se que a energia transferida na forma de calor não é necessariamente assimilada na forma térmica (vide expansão isotérmica quase estática)
3	Convecção é a propagação do calor na qual a energia térmica se transmite mediante o transporte de matéria.	2	43												X								X			
3	Algumas radiações podemos ver e outras não, mas todas elas estão associadas à temperatura dos corpos emissores [...], por esse motivo, são também chamadas radiações térmicas.	2	49																							
3	Calor sensível é o calor trocado que faz com que uma substância sofra variação tão somente de temperatura.	2	51								X															
3	O calor trocado que altera o estado físico de uma substância, com temperatura permanecendo constante, recebe o nome de calor latente.	2	51								X															
3	O grau de agregação é devido a fatores intrínsecos à matéria, como a geometria das partículas e as forças de coesão entre elas, e extrínsecos, como a temperatura e a pressão a que são submetidas.	2	66																							Temperatura considerada extrínseca.
3	[...] sempre podemos converter toda a energia mecânica de um processo em calor, mas o contrário nunca é possível.	2	99																E				X			
3	O objetivo inicial da Termodinâmica era estabelecer as relações entre calor e trabalho, além de estudar transformações gasosas particulares sob o ponto de vista energético, assim como o funcionamento das então denominadas máquinas térmicas.	2	100																							
3	Hoje a Termodinâmica se ocupa com quaisquer transformações de energia em sistemas macroscópicos.	2	100																							
3	Denomina-se sistema toda a região do espaço que é objeto de estudo; ela é separada do restante do universo por uma superfície fechada, real ou imaginária, chamada fronteira.	2	100																							Definição de sistema.
3	Sistema isolado é aquele que não troca energia nem matéria com o meio externo. Não existe um sistema isolado perfeito,	2	101																							

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CGET	EP	EPS	Comentários
	mas podemos citar a garrafa térmica como um bom exemplo de sistema que fica isolado por um curto período de tempo.																									
3	Sistema fechado é aquele que troca energia, mas não matéria com o meio externo[...]	2	101																							
3	Sistema aberto é aquele que troca energia e/ou matéria com o meio externo.	2	101																							
3	Sistema termicamente isolado é o sistema que não troca calor com a vizinhança, ainda que nele possa ocorrer alguma modificação.	2	101																							
3	Há várias características de um sistema que contribuem para a determinação de sua energia: interações com campos – gravitacional, elétrico ou magnético –, movimentos em relação a referenciais inerciais, ou a própria configuração interna de seus componentes[...]. Se quisermos apenas caracterizar a energia associada aos elementos de que o sistema é constituído, estaremos falando de sua energia interna.	2	101																		C P				X	Energia interna.
3	Energia externa é a energia trocada pelo sistema com o meio exterior na forma de calor e trabalho, não fazendo parte dele. Energia interna é a energia que está no interior do sistema, ou seja, é intrínseca a ele.	2	105															E	E							Os autores confundem energia externa com processos de transferência de energia com a vizinhança (ou meio externo)
3	[...] em qualquer interação em um sistema fechado, o estado final é sempre mais desorganizado que o inicial.	2	119														O									
3	[...] não é possível transformar todo o calor trocado em um processo em trabalho. [...] uma parte da energia sempre termina por se transformar em formas menos “úteis” ou “desorganizadas”.	2	119													X	O G	E	E							
3	[...] Sadi Carnot (1796-1832) estudou o funcionamento dessas máquinas e concluiu, em 1824, que a perda de calor delas era uma consequência natural do uso do calor como fonte de trabalho.	2	120															E	E							
3	[...] Rudolph Clausius retomou os estudos de Carnot para os processos irreversíveis e ampliou-os para os processos reversíveis, associando-os com a espontaneidade do fluxo de calor.	2	120																E							
3	Ele [Clausius] descobriu que a razão entre o calor trocado pelo	2	120																							Os autores confundem a

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
	sistema e sua temperatura absoluta não se alterava em processos reversíveis, mas sempre aumentava nos irreversíveis. A esse acréscimo ele deu o nome de entropia , uma medida de quanto o sistema se desorganiza ao final do processo.																									definição de entropia com a definição de variação de entropia.
3	A entropia permanece constante nos processos reversíveis, mas aumenta nos processos irreversíveis.	2	120																							Segunda lei da Termodinâmica expressa através do princípio da não redução da entropia. Faltou ressaltar a validade apenas para sistemas isolados.
3	Coube a Sadi Carnot estabelecer as condições em que uma máquina térmica realiza um ciclo de rendimento teórico máximo. [...] esse rendimento ocorre em uma sequência de quatro processos termodinâmicos reversíveis: dois isotérmicos e dois adiabáticos.	2	120																							Carnot.
4	Nossa ideia de trabalho está quase sempre associada a esforço.	1	360	X																						
4	Para a Física, realizar trabalho implica deslocar um corpo sobre o qual estão sendo aplicadas forças.	1	360																							Não é apresentada a força como agente da realização do trabalho. Não se menciona que força realiza o trabalho ou que sistema está exercendo essa força.
4	[...] há trabalho quando é modificado o estado de movimento de um corpo.	1	360																							Não é mencionado que várias forças podem estar realizando trabalho, mas se o total é nulo, não há trabalho total. Por outro lado, a mudança na direção velocidade representa alteração no estado de movimento, mas não implica realização de trabalho.

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CGET	EP	EPS	Comentários
4	[...] realizam trabalho as forças que conseguem tirar um corpo do repouso ou aquelas que fazem variar a velocidade dos corpos em movimento. Nesses casos, há um modo de medir o trabalho realizado pela força.	1	360																							Há erro conceitual porque a mudança na direção velocidade representa, mas não implica realização de trabalho, porque não há alteração da energia cinética..
4	Uma força modifica o estado de movimento de um corpo quando realiza trabalho sobre ele.	1	362																							É possível que uma força realize trabalho positivo, mas outra realiza trabalho negativo de mesmo módulo, resultando em trabalho total nulo. A primeira força mencionada realizou trabalho, mas não houve alteração no valor da velocidade.
4	[...] o sinal do trabalho será positivo e a força favorecerá o deslocamento: trabalho motor.	1	362																			C				
4	[...] então o sinal do trabalho será negativo e a força se oporá ao deslocamento: trabalho resistente.	1	362																			C				
4	Associamos aos corpos em movimento, ou seja, com velocidade em relação a um dado referencial, certa energia de movimento, denominada energia cinética. Mas de onde vem essa energia?	1	371												X											Não se comenta o que é energia previamente, nem o princípio da conservação.
4	Podemos associar certa quantidade de energia cinética transferida ao barco por meio do trabalho exercido pela força do vento.	1	371																T							
4	[...] os corpos modificam sua quantidade de energia cinética quando sobre eles é realizado determinado trabalho.	1	371																T							
4	Para que um corpo em repouso em relação a um dado referencial, com energia cinética nula, adquira movimento, é necessário que uma força transfira energia a ele realizando trabalho.	1	371												X				T							
4	Essa energia, associada ao movimento, é denominada energia cinética.	1	372																							
4	Suponhamos que a bicicleta tenha velocidade [...] e que, ao	1	373																T			T				Talvez o termo "efeito" fosse mais

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
	travar as rodas, derrape [...]. Essa força realiza trabalho resistente, enquanto houver deslocamento da bicicleta. Esse trabalho tem como objetivo diminuir a energia cinética [...]																									adequado do que “objetivo”.
4	[...] a quantidade de energia cinética dissipada no deslocamento da bicicleta até atingir o buraco corresponde ao trabalho realizado pela força de atrito sobre ela.	1	373															T								Não é comentado o significado de “dissipada”, ou qual seria o “destino” dessa quantidade de energia, pressupondo-se a conservação.
4	[...] a variação da energia cinética associada ao ciclista será equivalente ao trabalho realizado pela força resultante.	1	374													X										Esse teorema é válido apenas para partículas.
4	[...] é a altura do coco e da criança em relação ao solo o que garante a ambos a aquisição do movimento ao serem soltos.	1	379																							Segundo esse trecho, a posição é a responsável pela “aquisição” do movimento, não sendo mencionada a interação gravitacional. O artigo definido presente em “a altura” excluiria os efeitos da atuação da força gravitacional.
4	Seus movimentos [de uma flecha e de um atleta na cama elástica] estão associados a certa compressão ou distensão do sistema elástico, seja ele um arco, uma cama elástica ou, em alguns casos, uma mola.	1	379																							
4	[...] há nesses corpos uma capacidade armazenada de entrar em movimento, associada à altura ou à deformação elástica. Quando isso ocorre, o corpo tem o que se denomina energia potencial.	1	379			X		X																C	P	Corpo com energia potencial
4	A energia cinética adquirida pela pessoa até se chocar com as águas [após o pulo de um trampolim] é proveniente do trabalho do seu peso.	1	380												X			T								
4	Dizemos que, ao subir as escadas até o alto do trampolim, a pessoa acumula energia potencial gravitacional, que ao abandonar-se do trampolim transforma em energia cinética [...]	1	380			X																		C		

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
4	Um sistema elástico, como o estilingue ou o aparelho de pilates, acumula energia quando sofre uma deformação.	1	382			X																				
4	A energia armazenada por uma mola ou um elástico está associada ao trabalho que a força elástica realiza quando restitui o sistema a sua condição natural, ou seja, sem deformação.	1	382			X									X			T								
4	Retornando ao seu comprimento natural, o sistema elástico pode colocar em movimento objetos ou corpos presos à sua extremidade livre.	1	382																							
4	[...] o trabalho da força elástica pode modificar o estado de movimento dos corpos transferindo a eles energia cinética.	1	382																							Seria mais adequada a sentença: transfere energia, que se manifesta na forma cinética.
4	Transformações de energia estão muito presentes nos fenômenos que presenciamos em nosso cotidiano.	1	386											X												
4	Para que nos movamos em um ônibus, diversas modificações energéticas são necessárias.	1	386											X												
4	O carro se move e parte de sua energia cinética se transforma em calor por causa do trabalho da força de atrito dos pneus com o solo ou do trabalho da força de resistência do ar.	1	386																E				X			O atrito dos pneus com o solo, em geral, é estático e não realiza trabalho. Fica implícito nesse trecho que o trabalho transforma energia cinética em calor.
4	Em nossa vivência, sempre estaremos em contato com alguma modificação de energia.	1	386											X												
4	No ponto mais baixo da rampa, rente ao chão, sua energia potencial gravitacional será nula, enquanto sua energia cinética será máxima.	1	387																							Não se menciona um referencial.
4	Sistemas em que a energia mecânica total se mantém constante são chamados sistemas mecânicos conservativos	1	387										X													Não se define energia mecânica anteriormente
4	A força de atrito [...] realizará um trabalho resistente, retirando energia mecânica do sistema e transformando-a, por exemplo, em energia térmica.	1	388																							Note-se o uso do termo energia térmica em vez de calor
4	Ainda que a troca entre as energias potencial e cinética se verifique continuamente, a soma não permanece constante.	1	388										X	X												
4	A energia mecânica associada ao carrinho torna-se cada vez menor.	1	388																							

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CGET	EP	EPS	Comentários
4	Um sistema no qual a energia mecânica não se conserva é chamado de sistema dissipativo.	1	388																							
4	A quantidade de energia mecânica dissipada corresponde ao trabalho das forças de resistência sobre o sistema.	1	388																							Uma força conservativa pode ser contrária ao movimento.
4	As trocas de energia em nosso cotidiano ocorrem quase totalmente em sistemas dissipativos.	1	389												X											
4	A energia mecânica se dissipa continuamente, transformando-se, sobretudo, em energia térmica.	1	390										X													
4	Não há ganho ou perda da energia total em um sistema fechado; o que ocorre é uma conversão de uma forma em outra.	1	390										X	X												Não se define sistema fechado.
4	Quando a energia de um sistema diminui, há um aumento igual de energia em outro sistema.	1	390										X	X												
4	A energia não pode ser criada nem destruída, pode apenas ser transformada de uma forma em outra, com sua quantidade total permanecendo constante.	1	390										X													
4	Apesar de a lei da conservação da energia nos garantir que não há como perder energia, há uma irreversibilidade em algumas transformações que inviabiliza seu aproveitamento após a conversão.	1	390										X			X										Esboço do princípio da degradação
4	As energias resultantes do calor despreendido, da vibração do ar, dos trilhos, do carrinho não são mais aproveitáveis. [...] não há como reaproveitá-las para a realização de novo trabalho mecânico.	1	390													X										
4	QUADRO HISTÓRIA	1	391																							
4	Estudar os conceitos de temperatura e calor, bem como as formas de transmissão do calor, é o que faremos neste capítulo.	2	16																E				X			
4	Quando um corpo é aquecido, a agitação média de suas partículas tende a aumentar, mas quando ele é resfriado, o movimento de suas partículas tende a diminuir, ou seja, a agitação térmica média das partículas do corpo se reduz.	2	17																							
4	A um corpo pode ser associada uma energia cinética devido ao movimento de suas partículas. A energia associada ao movimento de translação, rotação e vibração das partículas de um corpo é denominada energia térmica.	2	17																	C						A energia térmica, para os autores, engloba a energia cinética de rotação e de vibração, além da de translação.

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
4	Temperatura é a grandeza física macroscópica associada ao grau de agitação térmica média das partículas de um corpo ou de um sistema.	2	18																							Definição de temperatura.
4	Para um sistema determinado, a energia térmica e a temperatura são grandezas diretamente proporcionais.	2	18																	C						
4	Dois sistemas cujas partículas estejam no mesmo nível de agitação estão à mesma temperatura, mas [...] O sistema formado pelo maior número de partículas possuirá maior energia térmica, pois esta é o resultado da soma das energias cinéticas de cada uma das partículas componentes do sistema.	2	18																					X		Trata energia como propriedade extensiva de um sistema.
4	[...] parte da energia mecânica do sistema se transformava em calor, comprovando, assim, que calor é uma forma de energia.	2	19																E				X			
4	Calor é a energia térmica em trânsito de um corpo para outro devido à diferença de temperatura entre eles.	2	19																E				X			
4	A energia térmica em trânsito é denominada calor e o processo de transferência de energia cessa quando os dois corpos igualam seus níveis de agitação térmica [...]	2	19																E				X			
4	Processos de propagação do calor	2	19																				X			
4	Condução térmica é um processo de propagação de calor que se realiza pela transmissão da agitação térmica de partículas de uma região a maior temperatura para partículas de uma região vizinha a menor temperatura.	2	22																				X			Se a temperatura for definida como a medida da agitação, essa afirmação pode levar à conclusão de que se transmite temperatura. Assim, pode-se confundir temperatura e calor.
4	Para haver propagação de calor por condução é necessária a existência de partículas que transportem a energia térmica, ou seja, deve existir um meio material por onde o calor possa se propagar.	2	23																E				X			
4	A convecção térmica é um processo de propagação do calor que se caracteriza pelo transporte de matéria entre regiões de um sistema (corpo ou meio) e que acontece apenas em fluidos (líquidos e gases), pois o movimento de matéria se dá pela diferença de densidade.	2	24																				X			No caso dos gases, a propagação é meramente estatística.
4	A radiação térmica é um processo de propagação de calor que se caracteriza pelo transporte de energia por meio de ondas eletromagnéticas (radiação infravermelha). Esse processo de transmissão de calor ocorre tanto no vácuo quanto em meios	2	25																E				X			

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CGET	EP	EPS	Comentários
	materiais.																									
4	Para aumentar a temperatura de um corpo, é necessário aquecê-lo por intermédio de uma fonte de calor [...].	2	91																E							Desconsiderou-se a possibilidade de aquecimento pela realização de trabalho.
4	Fonte de calor é todo elemento capaz de produzir aumento na temperatura de um corpo.	2	91																							É possível, através de trabalho, variar a temperatura de um corpo. Contudo, isso não constitui uma fonte de calor.
4	[...] desconsiderando-se perdas de calor para o meio ambiente, a energia mecânica que um corpo possui pode converter-se em calor, ou vice-versa [...].	2	102																E				X			
4	Dependendo da quantidade de calor absorvido ou cedido, o grau de agitação das moléculas do corpo pode alterar-se a ponto de se formar nele um novo arranjo molecular. [...] o corpo muda de estado físico [...].	2	111																							Mudança de estado físico.
4	A primeira lei da Termodinâmica [...] diz respeito à conservação entre diferentes formas de energia: trabalho mecânico, calor e energia interna de um sistema.	2	160															E	E							Trabalho e calor são tratados como formas de energia.
4	Havendo aumento do volume do gás [...], o trabalho será motor ($T > 0$), isto é, realizado pelo gás sobre o pistão e sobre o meio externo.	2	162																							Não há menção acerca da transferência de energia envolvida da realização de trabalho, nesse trecho.
4	Havendo redução do volume do gás [...], o trabalho será resistente ($T < 0$), isto é, realizado sobre o gás [...], o meio externo realiza trabalho sobre o gás.	2	162																							
4	Quando corremos, [...] nosso corpo passa por uma grande variação de velocidade. Também ocorre uma [...] variação de energia potencial gravitacional ou elástica se subimos correndo alguns lances de escada ou saltamos em uma cama elástica. Chamaremos esses fenômenos de variações de energia externa do corpo, pois estão relacionados ao meio externo.	2	165											X												Comentários acerca de “energia externa”.
4	Ocorre também o que chamamos de variação de energia interna. Esse tipo de variação está relacionado à alteração das condições internas de um corpo ou de um sistema. Se	2	165																		C					Comentários acerca de “energia interna”.

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
	fizemos uma corrida intensa, muito possivelmente nossa temperatura corporal sofrerá alteração.																									
4	No caso dos sistemas gasosos, veremos que a variação de temperatura é a grandeza determinante na variação da energia interna de um gás.	2	166																		C					
4	Nos gases, a energia interna é resultante da soma de várias energias, dentre elas as energias de translação, de rotação e de vibração de suas moléculas [...]. Outra parcela dessa energia interna é a das partículas intra-atômicas. Há ainda a energia potencial associada às forças internas conservativas de suas partículas e, por fim, a energia térmica associada à agitação térmica de suas moléculas.	2	166																		C	P				Energia térmica como parte da energia interna.
4	A primeira lei da Termodinâmica é uma lei que expressa o princípio de conservação de energia de um sistema considerando três formas diferentes de energia: o trabalho mecânico, a variação da energia interna e o calor.	2	167										X	X				E	E							
4	A variação de energia interna de um sistema é resultante da diferença entre a quantidade de calor trocada com o meio externo e o trabalho realizado no processo termodinâmico [...]	2	168																							Primeira lei da Termodinâmica.
4	Consideramos processos reversíveis aqueles em que o sistema pode retornar à sua condição inicial sem que seja necessária a ação de elementos externos, ou ainda, aqueles que não causam variações definitivas nos elementos externos ao sistema.	2	178																							Reversibilidade
4	Processos irreversíveis são aqueles em que o retorno à condição inicial do sistema só é possível se houver interação com corpos externos ao sistema.	2	178																							Reversibilidade
4	A segunda lei da termodinâmica descreve aquilo que não pode ocorrer de forma espontânea. Em outras palavras, é uma lei limitante.	2	182																							Segunda lei da Termodinâmica relacionada à espontaneidade.
4	Enquanto a primeira lei da termodinâmica é regida pelo princípio da conservação de energia e pode ser aplicada a processos reversíveis ou não, em qualquer um dos sentidos desses processos, a segunda lei restringe as ocorrências, apontando os limites da natureza.	2	182																							
4	O calor não passa de forma espontânea de um corpo de menor temperatura para outro que esteja em temperatura mais alta.	2	182																							
4	É impossível construir um dispositivo que, operando em ciclos, produza como único efeito a transferência de calor de um corpo frio para um quente.	2	182																							Clausius

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
4	É impossível construir uma máquina térmica que, ao operar em ciclos, transforme integralmente em trabalho todo o calor que fornece.	2	182																							Kelvin-Planck
4	Carnot demonstrou teoricamente que o ciclo que possibilita o rendimento máximo é reversível, ou seja, pode ser realizado tanto em um sentido quanto em outro.	2	185																							Carnot
4	As máquinas frigoríficas são dispositivos que convertem trabalho em calor.	2	189															E	E							
4	Mas dois copos de água a temperaturas diferentes podem realizar trabalho? Certamente, pois constituem duas fontes com temperaturas distintas, ou seja, uma fonte quente e uma fonte fria. No entanto, ao misturarmos as massas de água, retiramos do sistema essa capacidade, pois obtemos apenas uma única porção de água em equilíbrio térmico (ou seja, uma única temperatura), que, portanto, não será capaz de realizar trabalho.	2	191													X										
4	Podemos dizer que todos os fenômenos da natureza são irreversíveis, pois neles a energia útil disponível para a realização de trabalho tende sempre a diminuir, ou seja, processos ou fenômenos reversíveis são idealizações que não ocorrem na natureza ou de maneira espontânea.	2	192													X										
4	A energia total de um sistema e de sua vizinhança, porém, sempre se conserva, como garante o princípio de conservação de energia [...].	2	192										X													
4	No entanto, há uma tendência de transformação de energia total em uma forma de energia que não pode ser utilizada: a energia térmica . Dizemos que as energias mecânica, elétrica, nuclear etc. se degradam pois se transformam em energia térmica, uma forma de energia menos ordenada.	2	192													X										O termo útil fica restrito à realização de trabalho. Não se considera a utilidade do aquecimento de água, por exemplo.
4	A segunda lei da Termodinâmica expressa esse princípio de degradação da energia, pois afirma claramente a impossibilidade da transformação integral de calor em trabalho.	2	192															E	E							
4	A energia total se conserva (primeira lei), mas se degrada (segunda lei)	2	192										X			X										
4	Antes de serem colocadas em contato, as moléculas de água menos agitadas (as do copo com gelo) estavam separadas das moléculas mais agitadas (as que estavam no copo em temperatura ambiente) [...] Ao entrarem em contato, torna-se	2	192														O									

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
	impossível distingui-las. Podemos dizer que o grau de ordenação do sistema diminuiu ou, em outras palavras, que a desordem do sistema [...] aumentou.																									
4	Em uma expansão livre de um gás também ocorre um aumento da desordem [...].	2	192																							
4	Baseando-se nos conceitos de aumento de desordem e degradação da energia, Clausius [...] desenvolveu uma relação matemática que expressa quantitativamente o aumento da desordem e a degradação de energia, alterações referidas como variação da entropia .	2	192													X	G									
4	A entropia (S), característica intrínseca de todo e qualquer sistema, aumenta à medida que a desordem dos fenômenos aumenta.	2	192														O									A entropia é uma propriedade do sistema, uma função de estado do sistema. Portanto, não convém defini-la como propriedade de um fenômeno.
4	[...] dizemos que existe uma tendência ao aumento na entropia do Universo.	2	193																							
5	A importância da energia provém justamente da possibilidade de ser empregada em situações diversas. [...] podemos nos referir à energia química contida numa pilha, à energia presente no vento, à energia solar ou nos alimentos à energia elétrica ou nuclear.	2	18						X																	
5	[...] nem sempre o uso coloquial do termo [energia] coincide com o significado científico.	2	18	X																						
5	Não devemos, contudo, abandonar seu uso cotidiano; ao contrário, temos de conhecer todos os significados dessa palavra, suas semelhanças e diferenças e adquirir a capacidade de selecionar o melhor para cada ocasião.	2	18	X																						Reconciliação integradora
5	[...] a quantidade de energia em um dado sistema se conserva.	2	19										X													
5	Quando numa situação sabemos que existe determinada forma de energia, podemos nos perguntar de onde ela veio ou para onde ela vai.	2	19												X											
5	[...] a energia elétrica está muito presente, principalmente ao colocar em funcionamento de diversos eletrodomésticos e equipamentos eletrônicos.	2	23						X																	
5	O importante neste contato preliminar com a energia é a questão de sua conservação.	2	26										X													

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários	
5	A energia se transforma e pode assumir diferentes formas, mas sempre se conserva.	2	30										X	X													
5	A palavra trabalho é muito empregada em nosso cotidiano. Nós a usamos para nos referir a qualquer tipo de atividade que requeira algum esforço físico ou mental.	2	39	X																							
5	O conceito físico de trabalho se relaciona ao de energia.	2	39																								
5	[...] a ação da força foi responsável pela transformação da energia de um tipo em outro em todas as situações apresentadas. Mas a força sozinha não é suficiente para que haja transformação de energia. Ela precisa ser aplicada ao longo de certo deslocamento.	2	40											X				T									
5	O trabalho está sempre associado à ação de uma força. Assim, o correto é sempre dizer o trabalho de uma força ou o trabalho realizado por uma força, nunca por um corpo.	2	41																								
5	Quando o trabalho de uma força é positivo, é comum o chamarmos de trabalho motor; quando é negativo, de trabalho resistente. No primeiro caso, a força aplicada é no mesmo sentido do movimento e, no segundo, no sentido oposto.	2	42															C									
5	Quando a direção da força é perpendicular à direção do deslocamento [...] a força aplicada não realiza trabalho.	2	42																								
5	O conceito atual de energia cinética é o de que ela é uma descendente moderna do vis viva, sendo uma forma de energia associada aos corpos em movimento.	2	57																								
5	A energia cinética pode ser associada a qualquer corpo em movimento.	2	58																								
5	[...] teorema da energia cinética [...] estabelece que o trabalho da força resultante que age sobre um corpo é igual à variação de sua energia cinética.	2	59																								Não ressaltou que esse enunciado só é válido para partículas, ou seja, quando não há trabalho de forças internas.
5	[...] uma das definições de energia: a capacidade de um sistema físico ou de um corpo realizar trabalho.	2	59									X															
5	A palavra potencial refere-se à ideia da existência ou do acontecimento de algo, mas que não se deixa perceber ou prever.	2	63																								
5	[...] a energia potencial não é imediatamente perceptível.	2	63																								
5	Na Física, chamamos de energia potencial a energia	2	63			X																		S	X		

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CGET	EP	EPS	Comentários		
	armazenada por causa da configuração dos corpos em um dado sistema.																							P				
5	[...] no lançamento de um corpo para cima, a energia cinética vai diminuindo até desaparecer totalmente quando ele para no ponto mais alto. [...] Se acreditamos, a priori, na conservação da energia, devemos buscar a forma em que a energia cinética se transformou.	2	63											X														
5	[...] a ação da força gravitacional realiza trabalho e transforma a energia cinética em outra forma de energia, que chamaremos energia potencial gravitacional.	2	64											X														
5	Energia potencial gravitacional é uma forma de energia associada ao campo gravitacional e à posição de um corpo em relação a um referencial.	2	64																					S	P			
5	$\tau_{\text{peso}} = -\Delta E_{\text{pg}}$. Essa relação é válida para toda força conservativa e é conhecida como teorema da energia potencial.	2	64											X				X									Trabalho de força conservativa relacionado a variação de energia potencial.	
5	O trabalho de algumas forças pode se relacionar a formas reversíveis de transformação de energia. Isso acontece, por exemplo, com a força gravitacional e com a força elástica. A ação dessas forças permite que a energia cinética de um sistema se transforme em energia potencial e vice-versa.	2	64											X													Reversibilidade associada às transformações de energia mecânica.	
5	[...] a energia acumulada na forma potencial pode ser integralmente revertida para a forma cinética, se, por exemplo, não houver atrito. Forças desse tipo recebem o nome de forças conservativas e a forma de energia associada a elas é sempre potencial.	2	64				X							X														
5	[...] o trabalho de uma força conservativa não depende do caminho escolhido.	2	64																									
5	Forças conservativas: A transformação de energia é totalmente reversível e pode ser associada a uma forma de energia potencial. Exemplos: força gravitacional, força elástica e força eletromagnética.	2	67											X														Forças conservativas e reversibilidade.
5	Forças dissipativas: A transformação de energia não é integralmente reversível e não há energia potencial a ser associada. Exemplos: forças de atrito e forças de contato em geral.	2	67																									Forças não conservativas consideradas todas dissipativas.
5	Nos sistemas não conservativos, esses ciclos de transformações não se mantêm, pois o sistema perde energia,	2	67											X														Não mencionou o tipo de energia

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CGET	EP	EPS	Comentários	
	principalmente na forma de atrito.																									perdida, e deu status de energia ao atrito.	
5	[a energia potencial elástica] está associada à capacidade que os corpos têm de resistir à deformação e retornar à sua forma original.	2	67																								
5	Qualquer corpo que possa se deformar e retornar à forma original por causa da ação de uma força pode armazenar energia elástica.	2	69			X																					
5	Chamaremos sistema qualquer conjunto de corpos aos quais podemos associar grandezas e leis físicas e que pode ser uma parte do Universo ou mesmo seu todo.	2	74																								Definição de sistema físico.
5	O sistema mecânico fechado é um sistema em que não há presença de forças externas ou, se elas existem, não realizam trabalho.	2	76																								
5	Nos sistemas mecânicos conservativos, a energia fica como que “presa” em apenas três formas: cinética, potencial gravitacional e potencial elástica. Situações assim não existem realmente, pois é impossível evitar a dissipação de energia por atrito.	2	77			X																					
5	[...] em um sistema mecânico conservativo, a energia mecânica do sistema é sempre constante.	2	78										X														
5	Para manter uma criança balançando, é preciso introduzir continuamente energia no sistema por meio de empurrões sucessivos. Isso mostra que esse sistema mecânico não é conservativo, e o responsável por essa fuga de energia é a força de atrito.	2	80																								
5	Parte da energia do movimento transforma-se em calor pela ação do atrito, isso é percebido pelo aquecimento [...].	2	81																E				X				
5	Em sistemas chamados dissipativos, a energia mecânica não se conserva, pois o trabalho de forças externas pode retirar ou inserir energia no sistema.	2	81																								Por essa definição, inserir tem o mesmo status de dissipar.
5	A importância da energia na nossa vida diária é inegável. [...] basta que nos lembremos dos momentos em que ficamos sem energia elétrica em nossa casa ou quando o automóvel fica sem combustível. [...] Será que poderemos sempre contar com a energia?	2	96					X	X		X																
5	[...] será que, quando um tipo de energia é transformado em outro, pode voltar ao tipo anterior e vice-versa indefinidamente? [...] A resposta é não! [...] [Trata-se] de uma característica da Natureza, por causa da degradação de	2	97											X		X											

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
	energia.																									
5	Degradação é a diminuição da energia “útil” durante as transformações.	2	97													X										
5	[...] embora a energia total seja conservada, somente uma parte é utilizada para bater a mistura, o restante é dissipado no ambiente, principalmente em forma de calor.	2	97										X						E				X			
5	Na maioria das transformações, apesar de a energia não desaparecer, ela se degrada.	2	97										X			X										
5	A energia contida nesses combustíveis [fósseis] é, portanto, de origem química e está relacionada com a síntese orgânica dos seres vivos.	2	98			X																				
5	[...] as plantas têm capacidade de transformar energia solar em energia química pelo processo de fotossíntese.	2	98											X												
5	Daqui a aproximadamente 5 bilhões de anos, quando parte do hidrogênio no núcleo tiver exaurido, as reações nucleares não serão mais possíveis e o Sol deixará de produzir energia.	2	100				X																			
5	Essa forma de energia química sintetizada pelas plantas é consumida, na forma de alimento[...].	2	101																							
5	O consumo de energia em nosso corpo é constante.	2	104						X																	
5	Movido a calorias	2	105						X		X															
5	A contínua degradação de energia e a utilização de fontes não renováveis exigem que busquemos constantemente novas fontes de energia.	2	106			X										X										
5	O papel das usinas produtoras, nesse sentido, não é de fato produzir energia , mas obtê-la de maneira que possa ser armazenada e utilizada em processos controlados para algum objetivo específico.	2	110																							
5	[energia], além de garantir a manutenção da vida (e da biodiversidade) no planeta, nos proporciona bem-estar e conforto.	2	110		X				X																	Concepções alternativas.
5	Calor como energia	2	162																E							
5	A ideia do calor como energia associada ao movimento das partículas foi definitivamente aceita com os trabalhos de Joule, no século XIX.	2	165																E				X			
5	[...] precisamos de um modelo capaz de representar o corpo (ou substância) e o calor por ele recebido.	2	166																							
5	Calor é a energia na forma térmica que se transfere de um corpo para outro, ou, em outras palavras, a energia térmica em	2	167																E				X			

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CGET	EP	EPS	Comentários
	trânsito.																									
5	Aumentar a temperatura de uma substância significa intensificar o grau de agitação de suas moléculas. A essa energia da agitação das partículas damos o nome de energia térmica.	2	167																	C						Energia térmica.
5	[...] aumentar a temperatura de um corpo é o mesmo que dizer que suas moléculas adquiriram mais energia de movimento, vibrando, em média, mais intensamente.	2	169																	C						
5	A temperatura representa a medida do grau de agitação térmica média das partículas (moléculas ou átomos) que compõem uma substância. Essa agitação é a energia cinética média de translação que permite o movimento das moléculas de um lugar para outro.	2	171																							Definição de temperatura.
5	É a temperatura que informa a quantidade de energia térmica de um corpo em relação a algum padrão de medida.	2	171																							Não se mencionou a dependência em relação à extensão do sistema.
5	Calor é uma forma de energia em trânsito e, conforme já estudamos neste volume, é medido em joule (J).	2	216																E							
5	O que aconteceu com o calor que a água recebeu da chama enquanto fervia, se a temperatura não se elevou? [...] Depois de atingir a temperatura de 100 °C, toda energia (calor) recebida é consumida para a mudança de estado físico, isto é, romper ligações intermoleculares.	2	240																E							
5	Transmissão de calor	2	247																E							
5	Na condução, quando uma partícula (de um sólido, um líquido ou um gás) começa a vibrar com mais intensidade, por causa do aumento de sua energia cinética, ela transmite parte de seu movimento às moléculas mais lentas ao seu redor.	2	247					X																		Energia confundida com movimento. Isso ocorre porque a transmissão é de energia e não de movimento.
5	Na convecção, a transferência de energia se dá por meio do deslocamento de massa (moléculas) nos líquidos e nos gases.	2	247																E							
5	No caso da radiação, [...] o calor pode se propagar na forma de ondas de energia eletromagnética.	2	248																E							
5	As máquinas térmica revolucionaram a civilização moderna ao permitirem que o calor pudesse ser transformado em trabalho.	2	277															E	E				X			
5	É importante deixar claro que é inevitável que parte do calor produzido pela fonte quente para produzir o gás aquecido	2	277				X																			

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
	seja perdida.																									
5	O conceito de energia interna busca expressar as formas pelas quais a energia se vincula aos aspectos internos de um corpo, ou seja, sua dimensão microscópica .	2	278																							Energia interna.
5	Para termos uma ideia de quão complexa é a descrição formal da energia interna, basta lembrar que, para qualquer gás diatômico, além da energia cinética de translação, podemos definir uma energia cinética de rotação e vibração. Além dessas energias descritas, existe a energia potencial de ligação entre as partículas de caráter elétrico.	2	278																		C P					
5	[...] é possível afirmar que a quantidade de calor Q fornecida a um sistema pelo combustível aumenta sua energia interna ΔU e realiza trabalho τ .	2	279																							De acordo com esse texto, o calor realiza trabalho.
5	$Q = \tau + \Delta U$. Essa expressão [...] é considerada um princípio, ao qual se dá o nome de primeira lei da Termodinâmica.	2	279																							
5	No caso das máquinas térmicas, vale a [...] definição: o rendimento é o resultado da razão entre o trabalho produzido τ e a quantidade de calor fornecido Q_1 . $\eta = \tau/Q_1$. Pela primeira lei da Termodinâmica, o trabalho pode ser escrito como: $\tau = Q_1 - \Delta U$.	2	282																							O correto seria: $\tau = (Q_1 - Q_2) - \Delta U$
5	$\eta = \Delta U/Q_1$	2	282																							ΔU em um ciclo é sempre nulo
5	[...] embora a energia se conserve nos modelos físicos, químicos e biológicos, há sempre uma fração perdida na forma de calor, ou seja, somente uma parte dessa energia pode se transformar em trabalho.	2	284												X			E					X			De acordo com esse texto, a energia é perdida na forma de calor. Isso contradiz o princípio de conservação.
5	[Carnot] percebeu que qualquer máquina operando sem dificuldades técnicas (ciclo ideal) teria rendimento máximo se operasse em um ciclo completamente reversível independentemente da substância utilizada.	2	285																							Segunda lei da Termodinâmica
5	Os estudos de Carnot permitiram estabelecer os limites da transformação do calor em trabalho. Isso ficou conhecido na Física como a segunda lei da Termodinâmica, que pode ser formulada de diferentes maneiras, porém equivalentes.	2	286																							
5	É impossível realizar um processo real cujo único resultado seja remover calor de uma fonte quente e transformá-lo numa quantidade equivalente de trabalho.	2	286																							

C	Trecho	V	Pág.	RCA	ANT	DEP	PRO	ATI	FUN	FLU	CAU	CRT	CON	TRFO	TRFA	DEG	ENT	TRAB	CAL	ET	EI	STRA	CCET	EP	EPS	Comentários
5	É impossível que, espontaneamente, o calor flua de uma fonte fria para uma fonte quente.	2	286																				X			
5	É impossível construir um dispositivo que opere em um ciclo termodinâmico e que não produza outros efeitos além da passagem de calor da fonte fria para a fonte quente.	2	286																							
5	É impossível a um motor térmico operar trocando calor com uma única fonte de calor.	2	286																							
5	[...] traduzir o verdadeiro significado da entropia é complicado sem o uso de equações matemáticas complexas. De maneira geral, a entropia de uma substância (ou sistema) depende de suas condições internas. Por exemplo, se tivermos 1 kg de água, a entropia associada a esse sistema é função de sua temperatura e de sua estrutura interna (estado físico).	2	290																							Faltou mencionar que é função também da extensão do sistema.
5	A entropia serve, então, como indicação da ineficiência dos processos de transformação da energia. Podemos reescrever a segunda lei da Termodinâmica com relação à entropia: A entropia de um sistema fechado sempre aumenta.	2	291													X										
5	Como o único sistema que pode ser considerado realmente fechado é o próprio Universo, podemos dizer que a entropia do Universo está sempre aumentando.	2	291																							
5	O número de vezes que um sistema pode ser “rearrumado”, sem que isso altere o ambiente externo, é uma forma de medir a desordem de um sistema.	2	293														E									
5	Em um sistema isolado, a entropia sempre aumenta, pois com a degradação de energia, existe um número maior de configurações que esse sistema pode assumir. Por serem em maior número, as configurações que tornam o sistema “desordenado” são mais prováveis que os estados “ordenados”.	2	294													X	O	G	E							

Quadro 4– Aspectos conceituais analisados nas coleções, acerca do conceito de energia.

Aspecto conceitual	Coleção 1	Coleção 2	Coleção 3	Coleção 4	Coleção 5
Sistema físico	O conceito é utilizado ("transferência de energia de um sistema para outro"), mas não é exposto e relacionado diretamente à propriedade energia.	Definido apenas no segundo volume como um corpo ou um conjunto de corpos escolhidos para serem estudados.	Definido no segundo volume, no contexto da Primeira Lei da Termodinâmica. Portanto, o conceito não serve como ancoradouro a energia.	O termo sistema é utilizado no tópico acerca da conservação de energia, sem maiores discussões.	Definido, depois da apresentação dos conceitos de energia mecânica, como "qualquer conjunto de corpos aos quais podemos associar grandezas e leis físicas e que pode ser uma parte do Universo ou mesmo seu todo".
Trabalho	Relacionado a transferência de energia envolvendo força e deslocamento. Segue definição matemática.	Definido apenas matematicamente e "relacionado com a medida de energia".	Definido matematicamente. Genericamente "associado" a energia na introdução.	Definido matematicamente. Genericamente relacionado a "modificação de movimento".	Definido matematicamente após ser relacionado a transformações de energia, verificando a adequação da definição matemática proposta.
Energia	Exposta através do uso inadequado de metáforas, tentando legitimar concepções alternativas.	Definida como capacidade de realizar trabalho.	Definida como capacidade de realizar trabalho. Exprime-se que trabalho é uma forma de energia, ao indicar que "energia mecânica se transforma em trabalho".	É tratada como conhecimento prévio já relevante. Na apresentação do princípio de conservação, é relacionada como uma propriedade de um corpo. É abordada concomitantemente a degradação da energia.	Definida como capacidade de realizar trabalho: "a capacidade de um sistema físico ou de um corpo realizar trabalho"
Calor	Definido como energia térmica em trânsito, envolvendo processos: condução, convecção e radiação. Há contradições na definição de energia térmica.	Definido como energia transferida em virtude de diferença de temperatura, mas que só deve ser utilizada para designar energia em trânsito.	Definida como energia térmica em trânsito devido à diferença de temperatura. Utiliza-se a ideia de fluxo, mas falta ressaltar que não se trata de um fluido. Note-se que não se define previamente energia térmica.	Definido como "uma forma especial de energia, que não é propriedade de um corpo", como "energia térmica em trânsito".	Definido como "energia na forma térmica que se transfere para outro corpo, ou, em outras palavras, energia térmica em trânsito", após indicar a necessidade de modelar a matéria.

Aspecto conceitual	Coleção 1	Coleção 2	Coleção 3	Coleção 4	Coleção 5
Quatro aspectos da energia	Expõem-se a conservação, a transferência através de calor e de trabalho e a transformação. Não se apresenta a degradação da energia.	Expõem-se a conservação, a transferência através de calor e de trabalho e a transformação. A degradação da energia é associada ao conceito entropia.	Expõem-se a conservação, a transferência através de calor e de trabalho e a transformação. A degradação da energia é associada ao conceito entropia.	São todos abordados concomitantemente, a partir da apresentação do princípio de conservação de energia.	Todos são abordados, mas não é feita uma ligação explícita entre o princípio da degradação e o aumento da entropia (relacionada a "ineficiência de transformação de energia.")
Considerações acerca das concepções alternativas	Expostas como legítimas, através do uso de metáforas. É exposto que a concepção de trabalho cotidiana não corresponde à concepção física.	São apresentadas e comentadas as concepções alternativas de calor e de trabalho. Por outro lado, supõe-se que as concepções prévias de energia servem como noções básicas.	Apresentam-se as concepções cotidianas de trabalho, calor e energia.	Apresenta-se a concepção de trabalho como esforço.	Apresentadas as concepções cotidianas de trabalho na introdução do primeiro capítulo, indicando que não devem ser abandonadas, cabendo ao aluno selecionar o significado correto para cada ocasião.
Concepções equívocas consideradas científicas.	Antropocêntrica; depositária; atividade; fluido; causa;	Depositária; fluido; capacidade de realizar trabalho.	Antropocêntrica; depositária; causa; capacidade de realizar trabalho.	Atividade.	Antropocêntrica; depositária; produto; atividade; funcional; causa; capacidade de realizar trabalho.
Energia Cinética	Definida matematicamente imediatamente antes da exposição do teorema trabalho-energia cinética.	Definida matematicamente, justificada pela frase: "qualquer corpo em movimento tem capacidade de realizar trabalho" e pelo exemplo na colisão com uma mola, deformando-a.	Define energia cinética após analisar a conveniência matemática através da análise de dados tabelados.	Definida como energia associada ao movimento, oriunda da realização de trabalho.	Abordada a partir da construção histórica do conceito, não sendo ressaltado o motivo prático da definição matemática.

Aspecto conceitual	Coleção 1	Coleção 2	Coleção 3	Coleção 4	Coleção 5
Energia térmica	Em alguns trechos é tratada como somatório das energias cinéticas das partículas e, em outros, como tendo integrante também a energia potencial. “A energia térmica de um corpo depende de dois fatores: da energia de agitação média de cada partícula (que determina a temperatura do corpo) e do número de partículas que o corpo possui.”; “energia térmica é o somatório das energias de agitação com as energias de agregação das partículas. Essa energia de agregação é o que estabelece o estado físico do corpo (sólido, líquido ou gasoso).”	Os autores preferem utilizar o conceito energia interna, mas fazem também uso da expressão energia térmica, apesar de não a definirem.	“Energia térmica [...] é a soma das energias cinéticas decorrentes da agitação das partículas que constituem a matéria.”	“A energia associada ao movimento de translação, rotação e vibração das partículas de um corpo é denominada energia térmica.”	“Aumentar a temperatura de uma substância significa intensificar o grau de agitação de suas moléculas. A essa energia da agitação das partículas damos o nome de energia térmica.”

Aspecto conceitual	Coleção 1	Coleção 2	Coleção 3	Coleção 4	Coleção 5
Energia interna	<p>“A energia interna de um sistema é o somatório de vários tipos de energia existentes em suas partículas. Nesse cálculo, consideramos as energias cinética de agitação (ou de translação), potencial de agregação, de ligação, nuclear, enfim, todas as energias”.</p>	<p>“a soma das diversas formas de energia que os átomos e moléculas deste corpo possuem”.</p>	<p>“Energia externa é a energia trocada pelo sistema com o meio exterior na forma de calor e trabalho, não fazendo parte dele. Energia interna é a energia que está no interior do sistema, ou seja, é intrínseca a ele.”</p>	<p>“Nos gases, a energia interna é resultante da soma de várias energias, dentre elas as energias de translação, de rotação e de vibração de suas moléculas [...]. Outra parcela dessa energia interna é a das partículas intra-atômicas. Há ainda a energia potencial associada às forças internas conservativas de suas partículas e, por fim, a energia térmica associada à agitação térmica de suas moléculas.”</p>	<p>“O conceito de energia interna busca expressar as formas pelas quais a energia se vincula aos aspectos internos de um corpo, ou seja, sua dimensão microscópica.[...] Para termos uma ideia de quão complexa é a descrição formal da energia interna, basta lembrar que, para qualquer gás diatômico, além da energia cinética de translação, podemos definir uma energia cinética de rotação e vibração. Além dessas energias descritas, existe a energia potencial de ligação entre as partículas de caráter elétrico.”</p>
Energia potencial	<p>“[Energia potencial] É uma forma de energia latente, isto é, está sempre prestes a se converter em energia cinética.”; “[Energia potencial elástica] É a forma de energia que encontramos armazenada em sistemas elásticos deformados.”; “Por estar deformada, dizemos que a mola está energizada, tendo armazenada em si energia potencial elástica [...]”</p>	<p>“A energia que um corpo possui, devido à sua posição, é denominada energia potencial [...]”.; “As forças, cujo trabalho não depende do caminho são denominadas forças conservativas. Sempre que uma dessas forças realiza um trabalho sobre um corpo, há uma variação na energia potencial desse corpo [...]”</p>	<p>“A energia potencial é uma forma de energia latente armazenada em um sistema físico.”; “é aquela que corresponde ao trabalho que o peso do objeto realiza durante seu deslocamento, do nível considerado até o nível de referência”;</p>	<p>“[...] há nesses corpos uma capacidade armazenada de entrar em movimento, associada à altura ou à deformação elástica. Quando isso ocorre, o corpo tem o que se denomina energia potencial.”</p>	<p>“Energia potencial gravitacional é uma forma de energia associada ao campo gravitacional e à posição de um corpo em relação a um referencial.”; “[a energia potencial elástica] está associada à capacidade que os corpos têm de resistir à deformação e retornar à sua forma original”.</p>

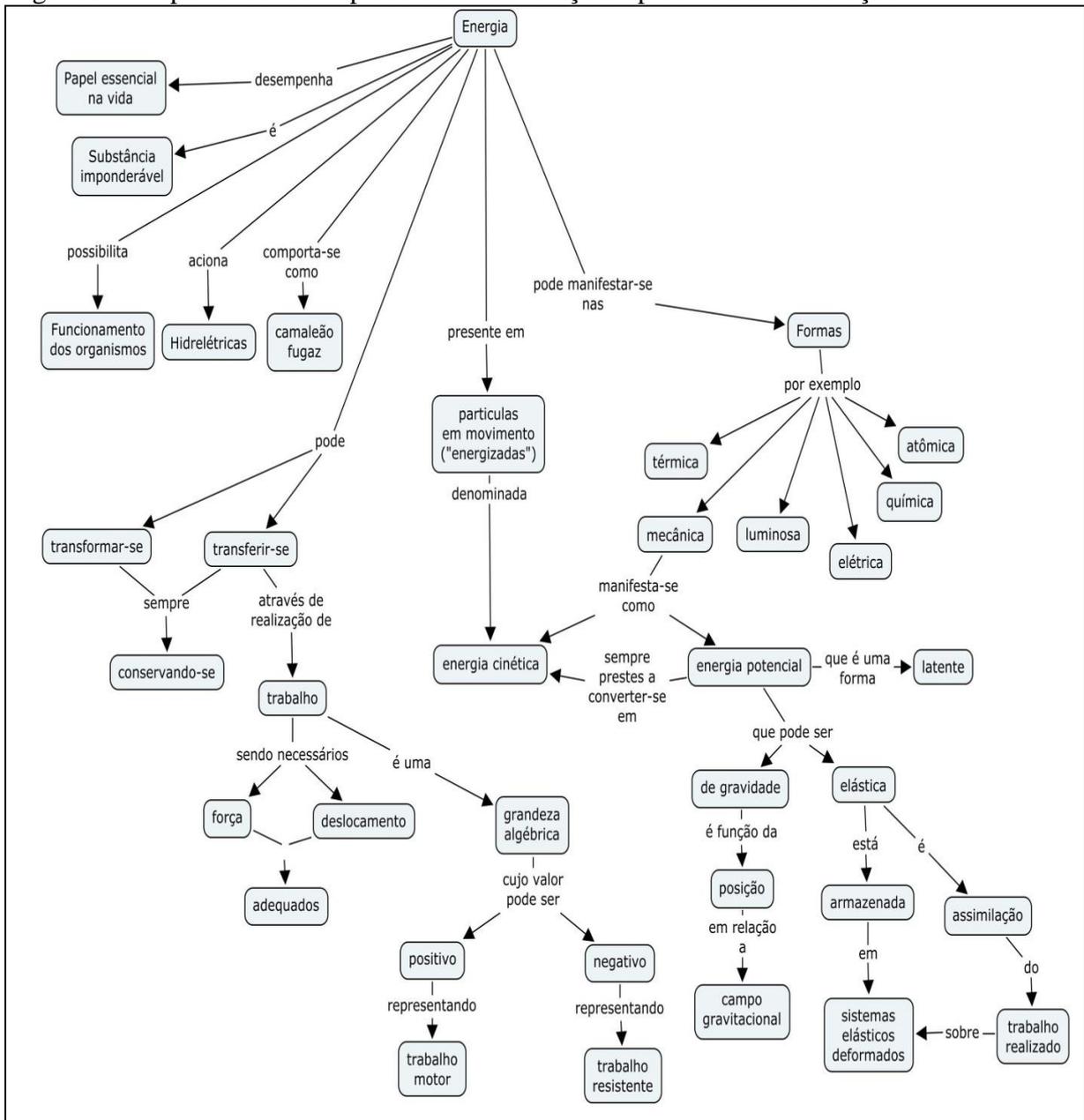
Aspecto conceitual	Coleção 1	Coleção 2	Coleção 3	Coleção 4	Coleção 5
Entropia	Apresentada como uma propriedade associada à desordem dos sistemas e à reversibilidade dos processos. Sua variação é definida matematicamente. Não é relacionada à degradação da energia.	Apresentada como uma medida da indisponibilidade da energia para a realização de trabalho. Note-se que, apesar de a energia permanecer constante num sistema isolado, este sistema perde a capacidade de realizar trabalho, invalidando a definição de energia dada pelos autores no primeiro volume.	Definida, equivocadamente, como variação da entropia. Relacionada à desordem dos sistemas, à redução da "utilidade" da energia, ao sentido da transferência de calor para as regiões de menor temperatura. O ciclo de Carnot é apresentado posteriormente expondo suas etapas sem relação com o conceito de entropia. Há um tópico especial sobre o caráter probabilístico do conceito.	Definida como propriedade de um sistema, relacionada à desordem, variando caso haja trocas de calor entre partes do sistema, ou entre ele e a vizinhança.	Definida como uma função de estado, cuja expressão matemática da variação está relacionada com a transferência de calor e com a temperatura. Relacionada à desordem e ao estado mais provável do sistema. Quanto à relação com degradação da energia, limita-se a expor que "a entropia serve como indicação da ineficiência dos processos de transformação da energia"

Fonte: Elaborado pelo autor

APÊNDICE C – MAPAS CONCEITUAIS CONSTRUÍDOS A PARTIR DA ANÁLISE DAS COLEÇÕES

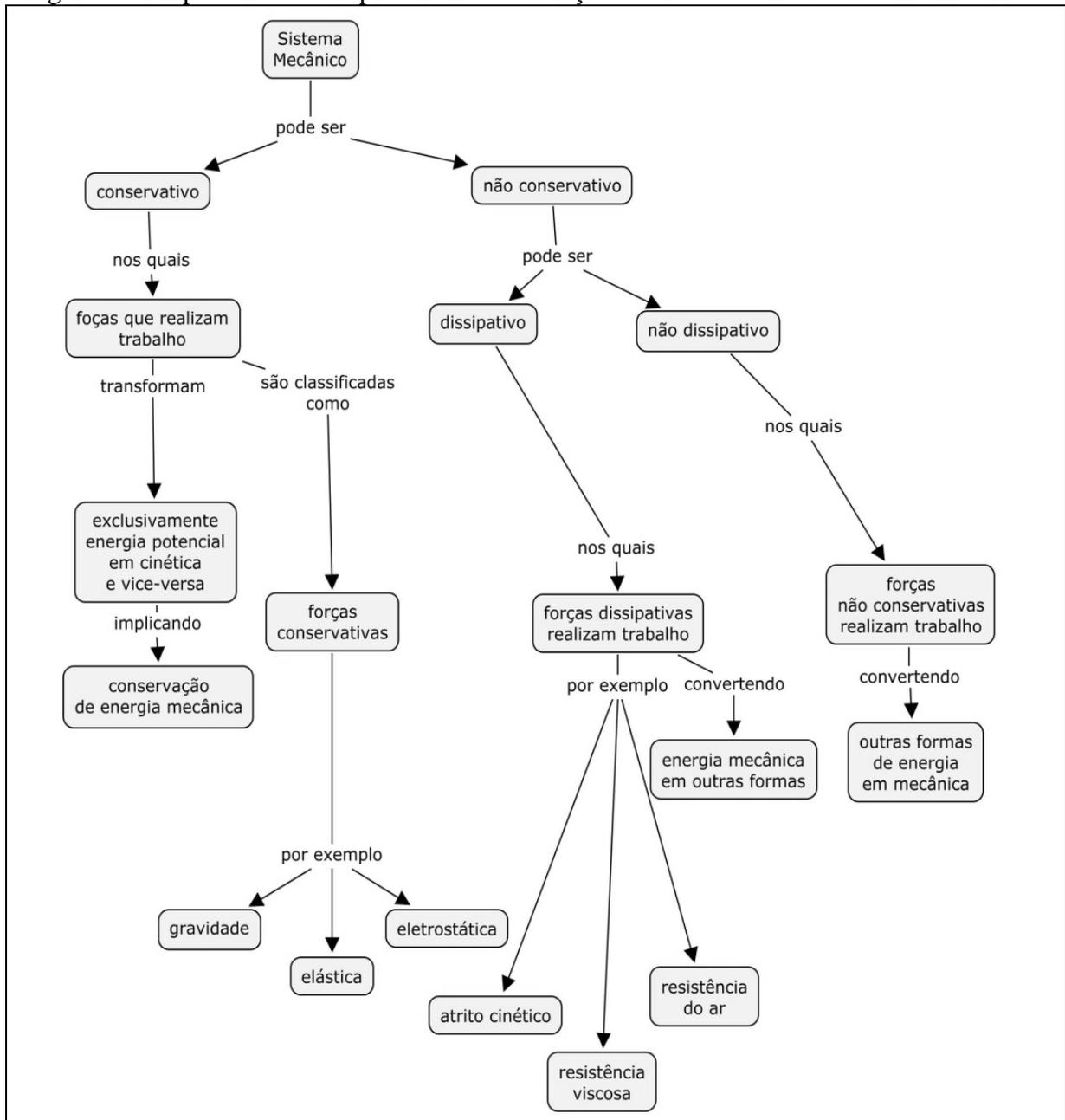
COLEÇÃO 1

Figura 8 – Mapa conceitual representando as relações apresentadas na coleção 1.



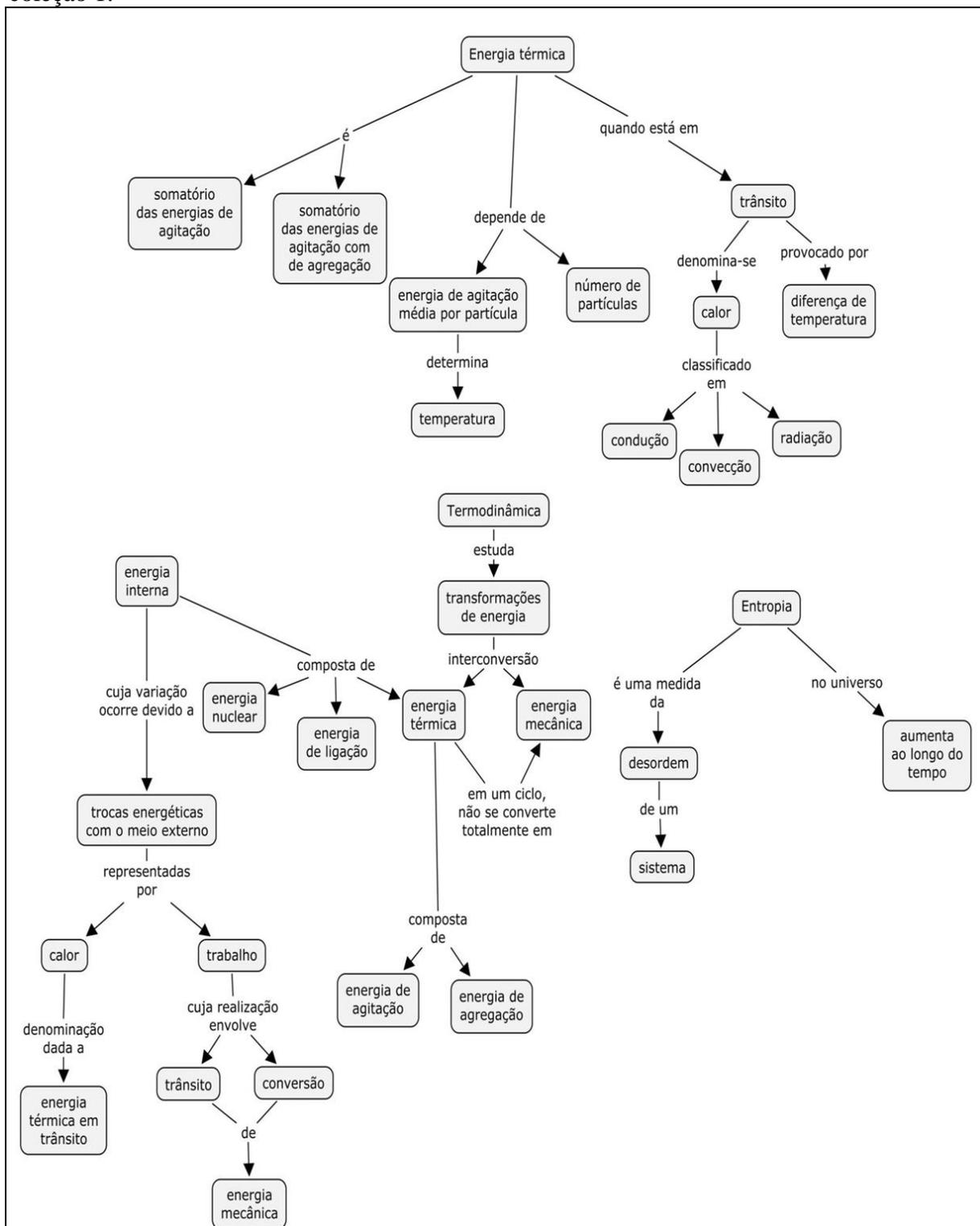
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 9 – Mapa conceitual representando as relações acerca do conceito sistema mecânico.



Fonte: Elaborada pelo autor.

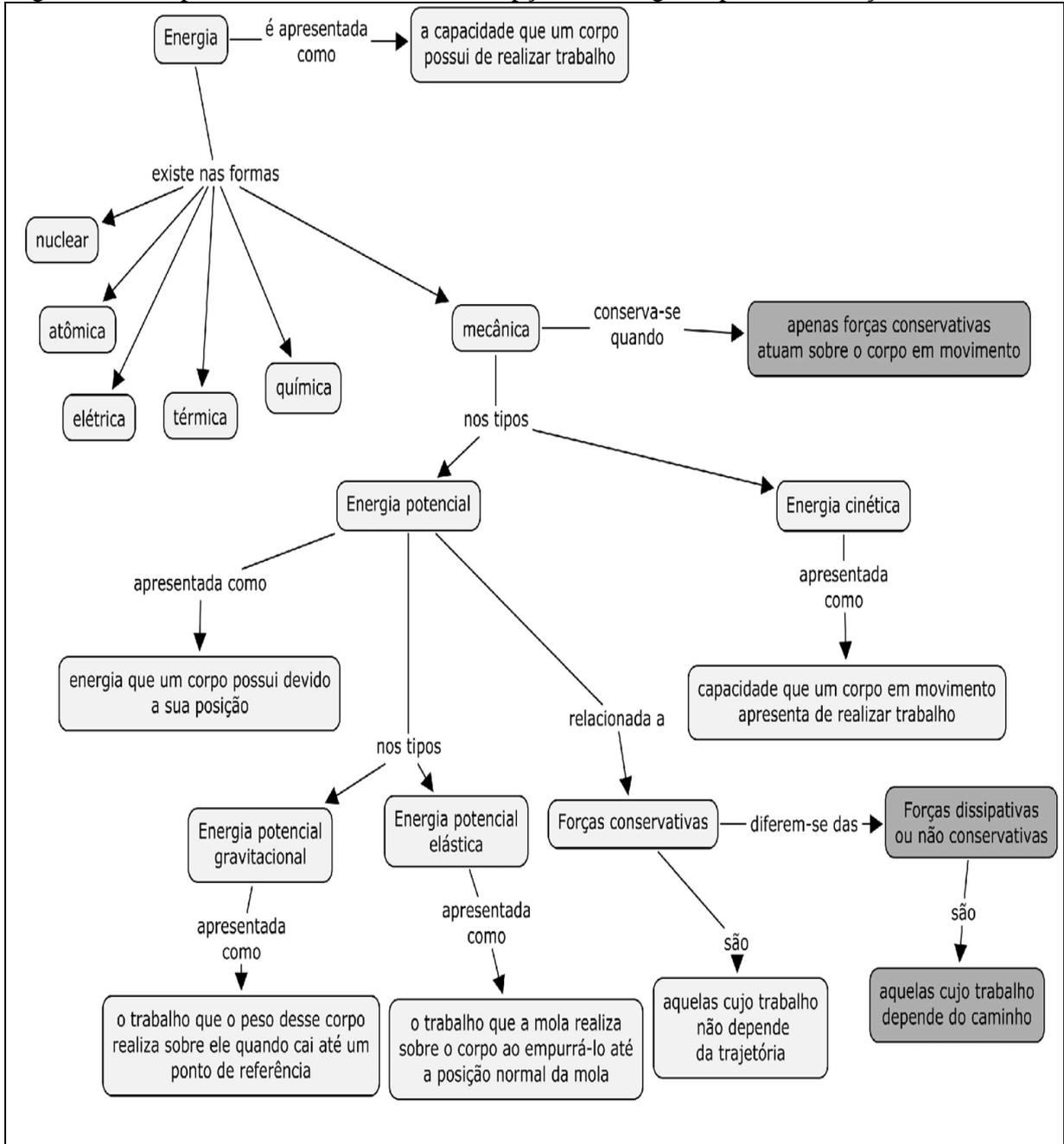
Figura 10 – Mapa conceitual apresentando as relações com o conceito energia térmica, na coleção 1.



Fonte: Elaborada pelo autor.

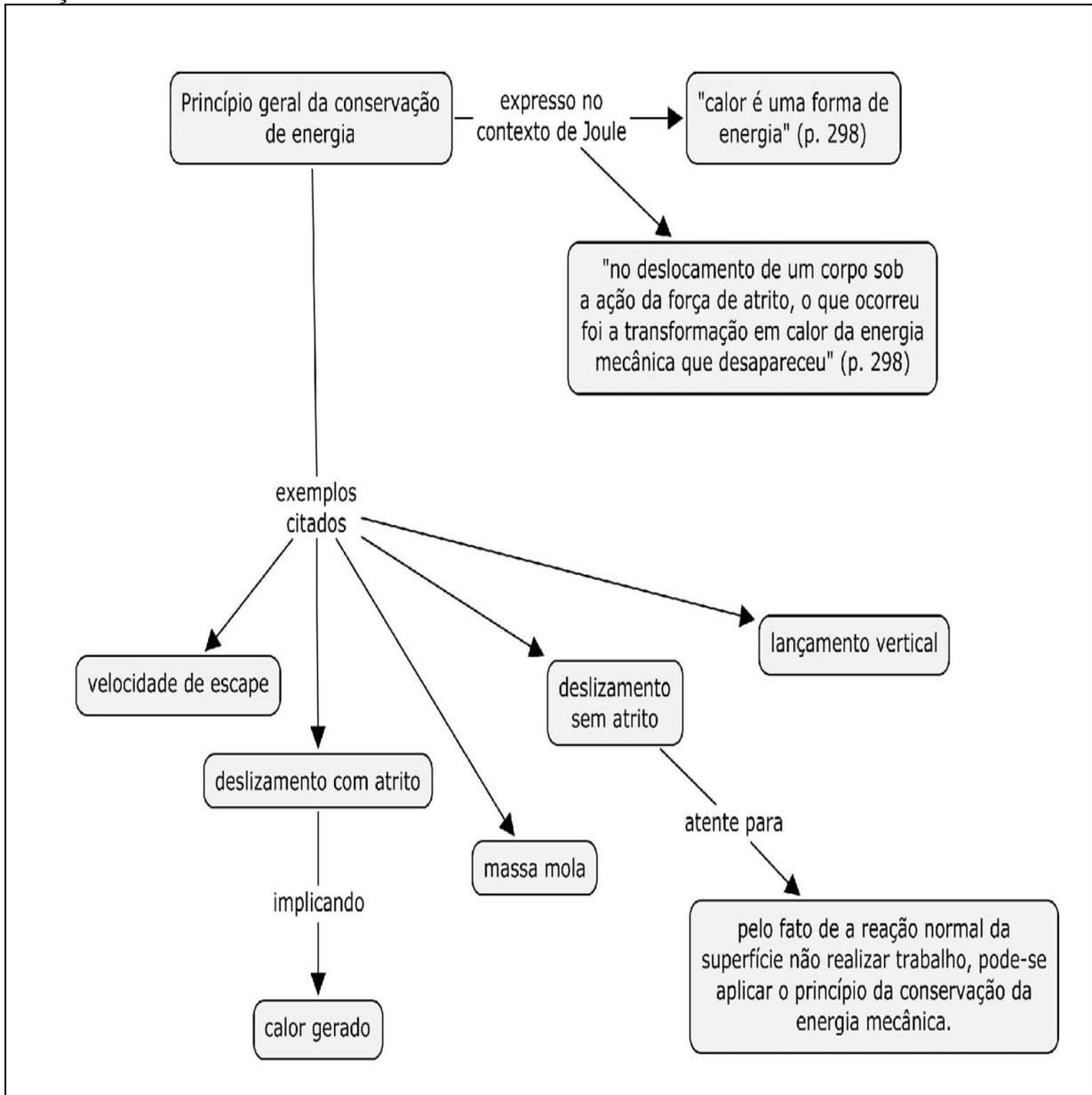
COLEÇÃO 02

Figura 11 – Mapa conceitual acerca da concepção de energia exposta na coleção 2.



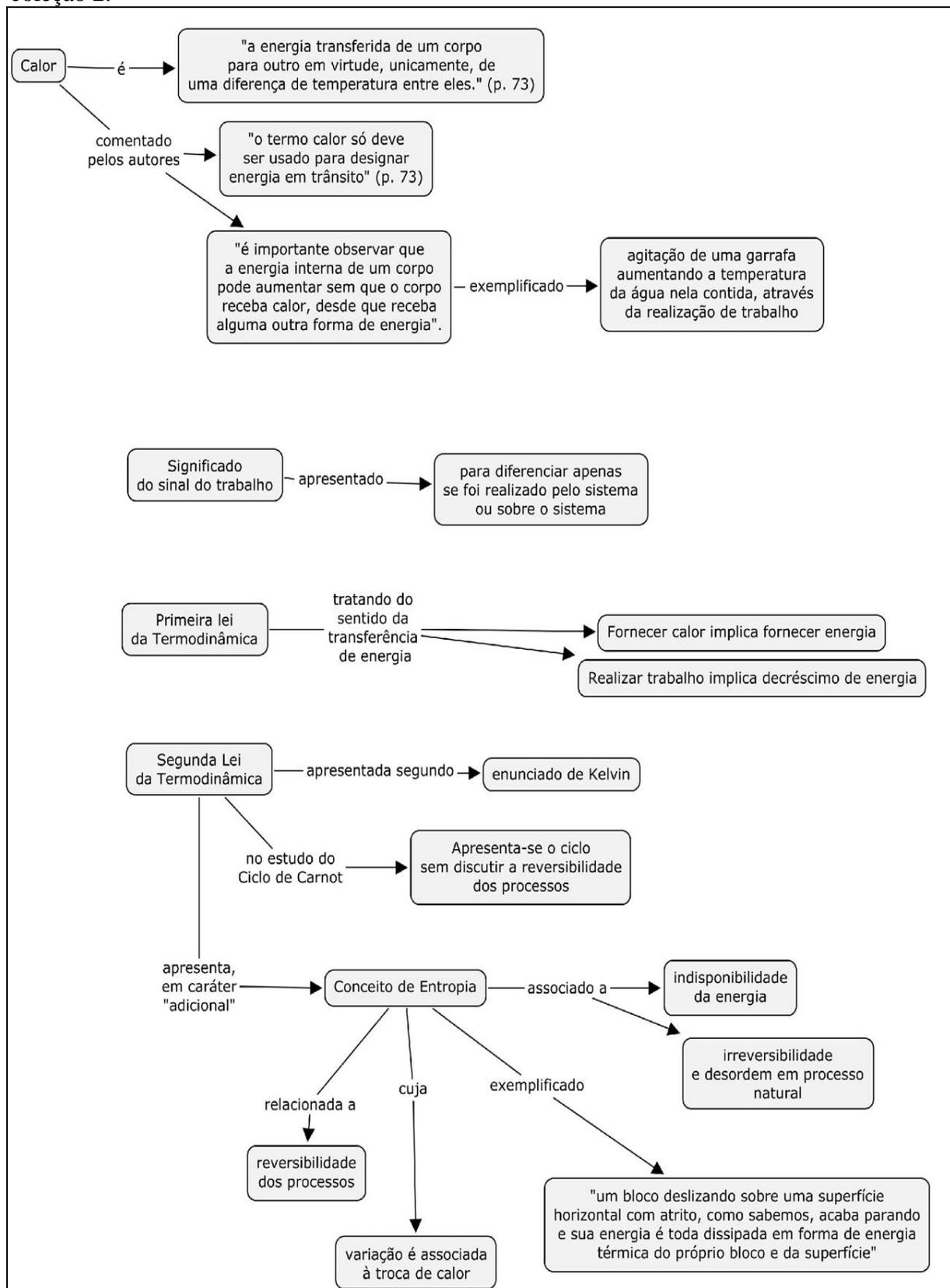
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 12 – Mapa conceitual acerca do princípio de conservação de energia exposto na coleção 2.



Fonte: Elaborada pelo autor.

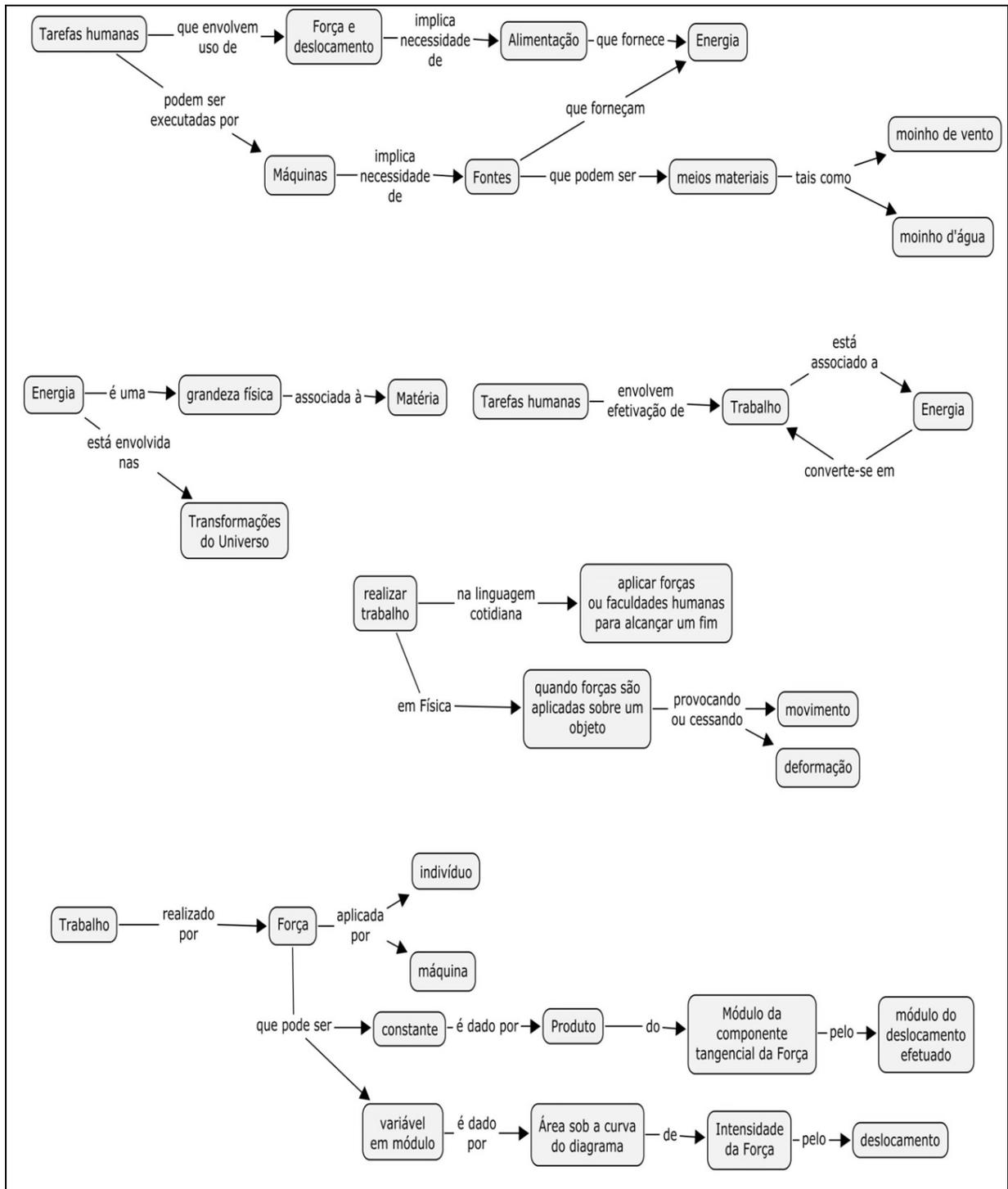
Figura 13 – Mapas conceituais acerca do conceito de calor e de Termodinâmica expostos na coleção 2.



Fonte: Elaborada pelo autor.

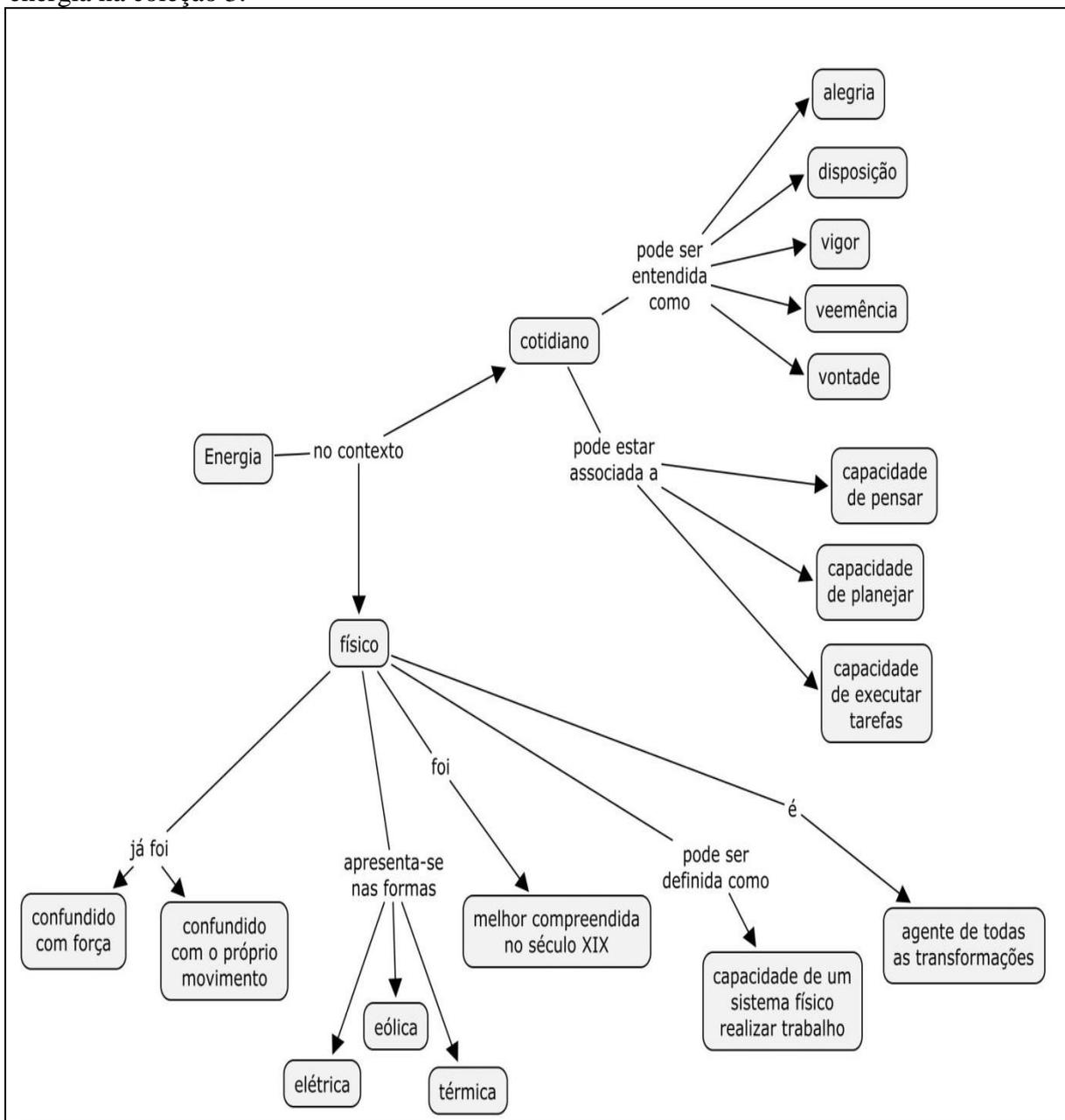
COLEÇÃO 03

Figura 14 – Mapas conceituais representando as noções iniciais apresentadas na coleção 3, acerca do conteúdo energia.



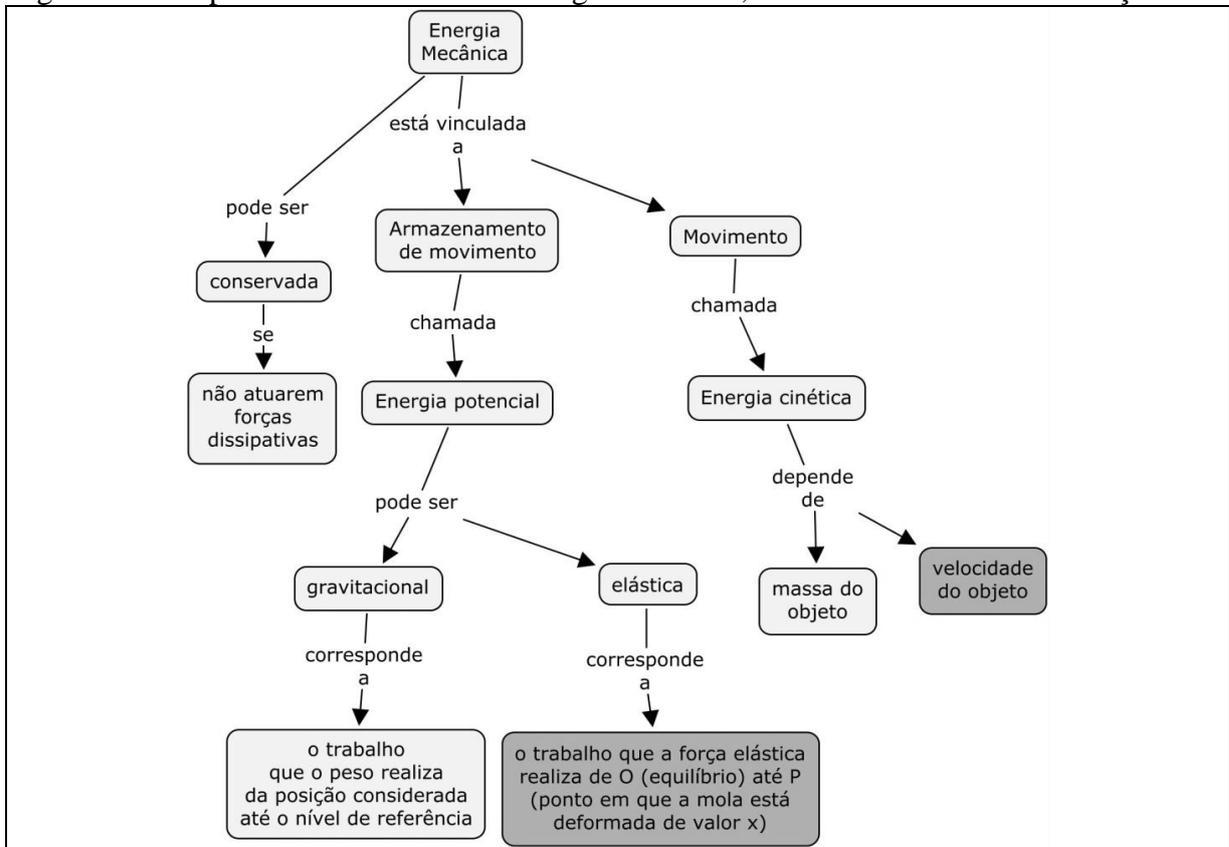
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 15 – Mapa conceitual relacionando conceitos acerca da introdução do capítulo de energia na coleção 3.



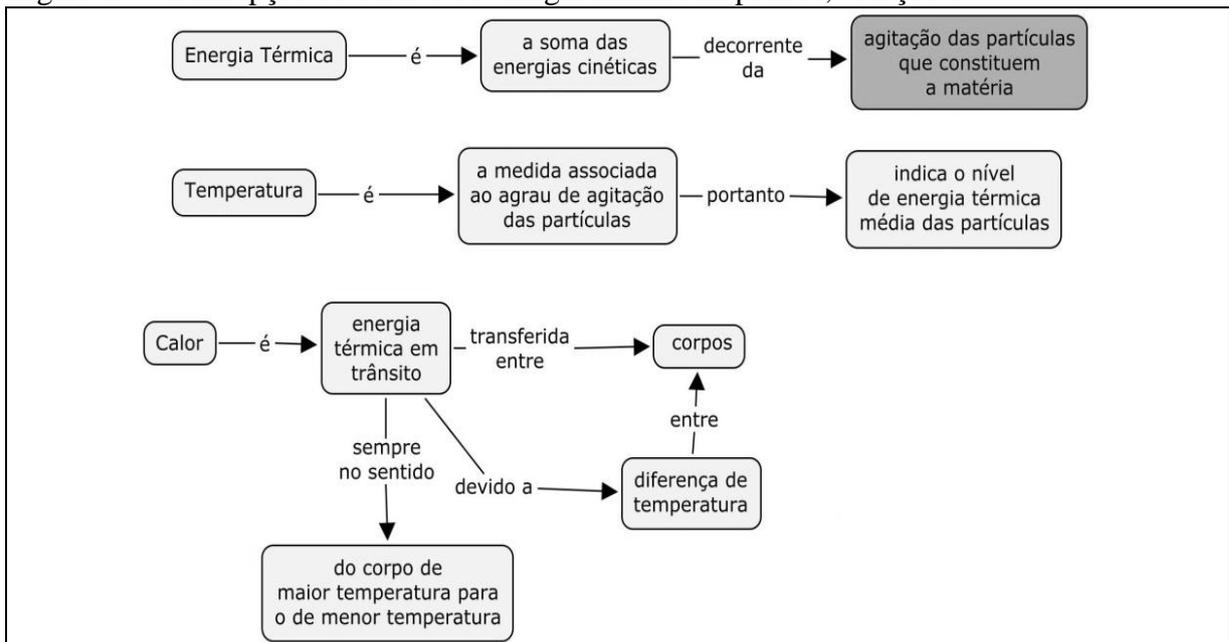
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 16 – Mapa conceitual acerca de energia mecânica, resultante da análise da coleção 3.



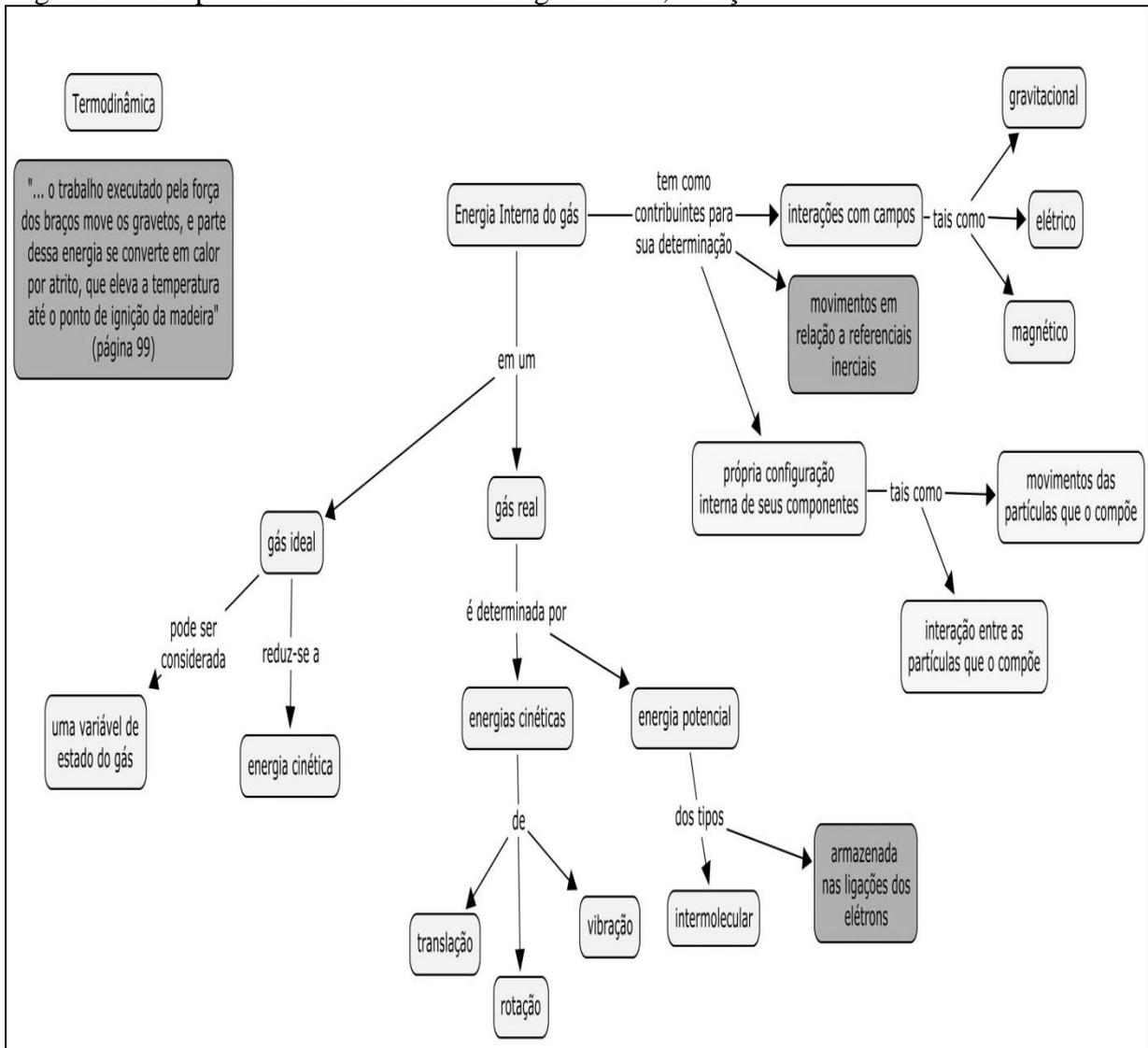
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 17 – Concepção de calor e de energia térmica mapeados, coleção 3.



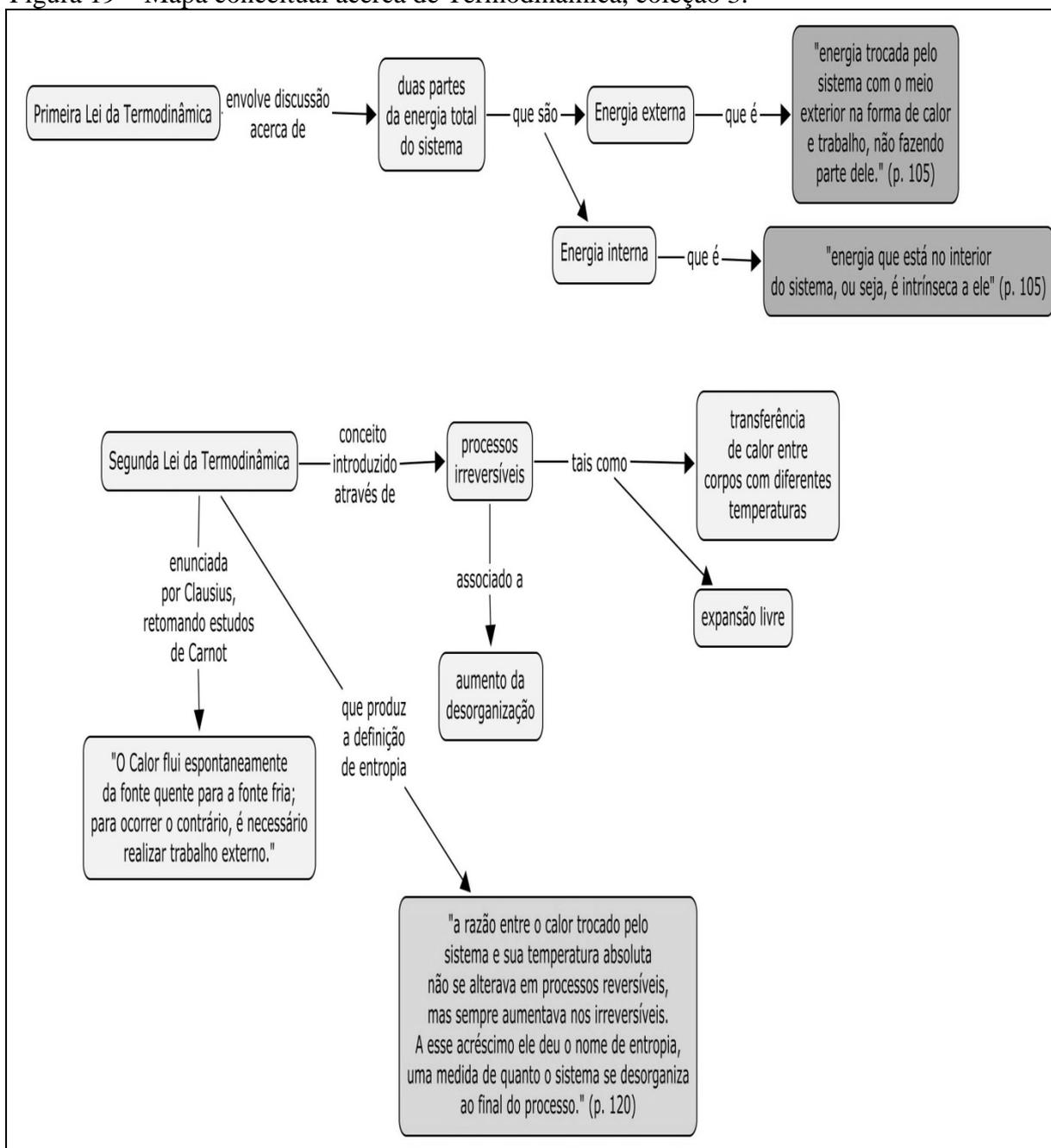
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 18 – Mapa conceitual acerca de energia interna, coleção 3.



Fonte: Elaborada pelo autor.

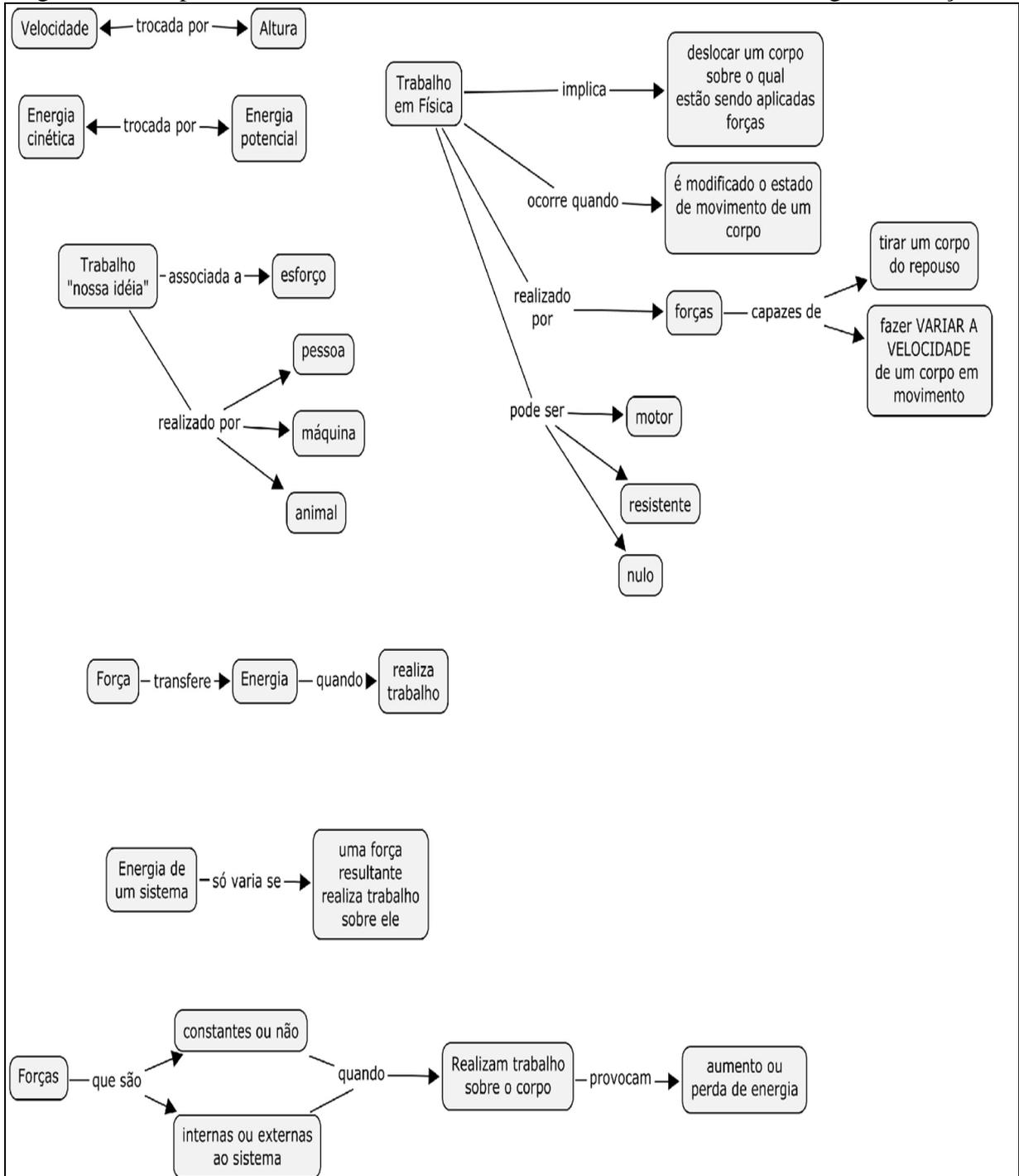
Figura 19 – Mapa conceitual acerca de Termodinâmica, coleção 3.



Fonte: Elaborada pelo autor.

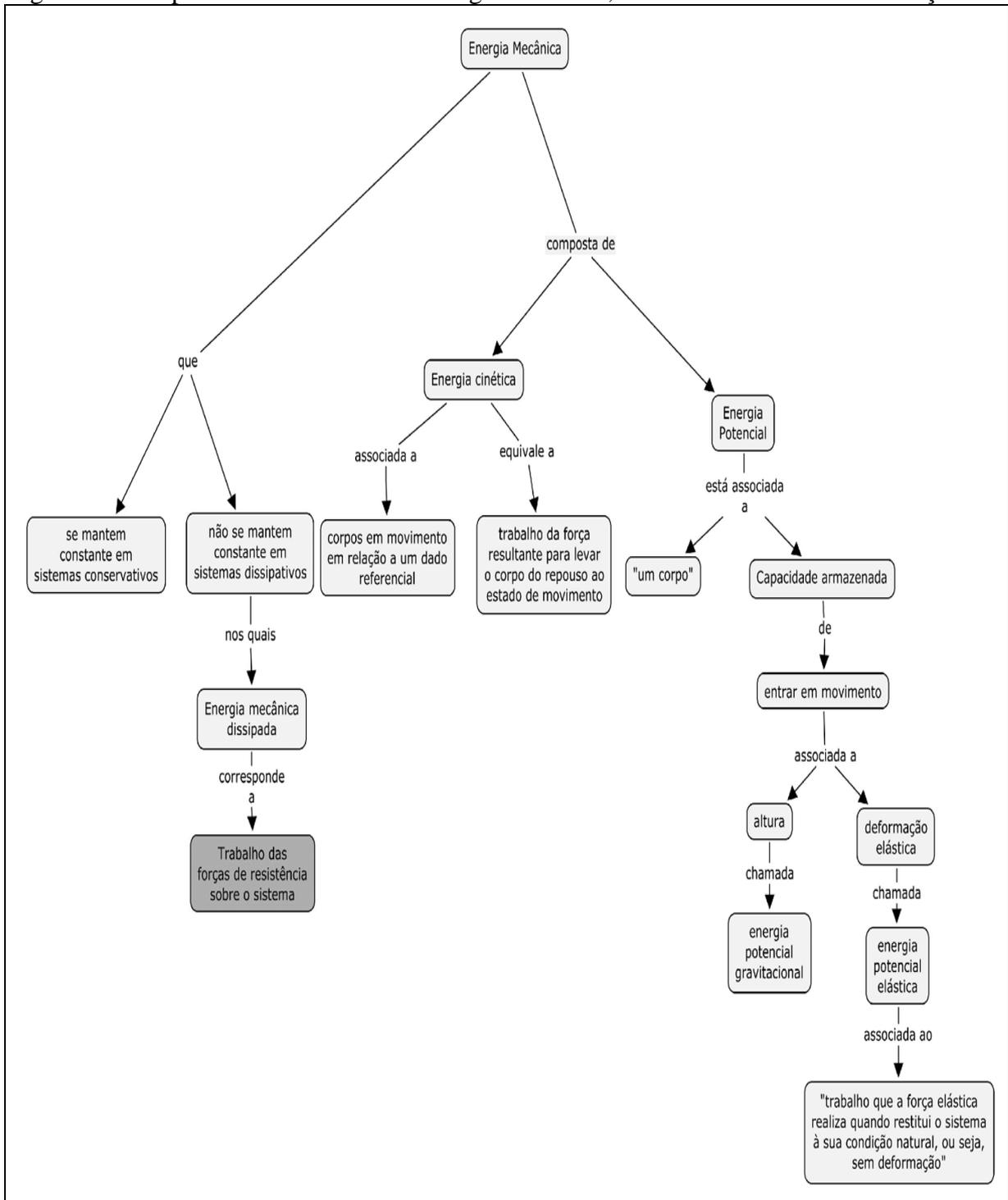
COLEÇÃO 04

Figura 20 – Mapas conceituais relacionando conceitos sobre trabalho e energia na coleção 4.



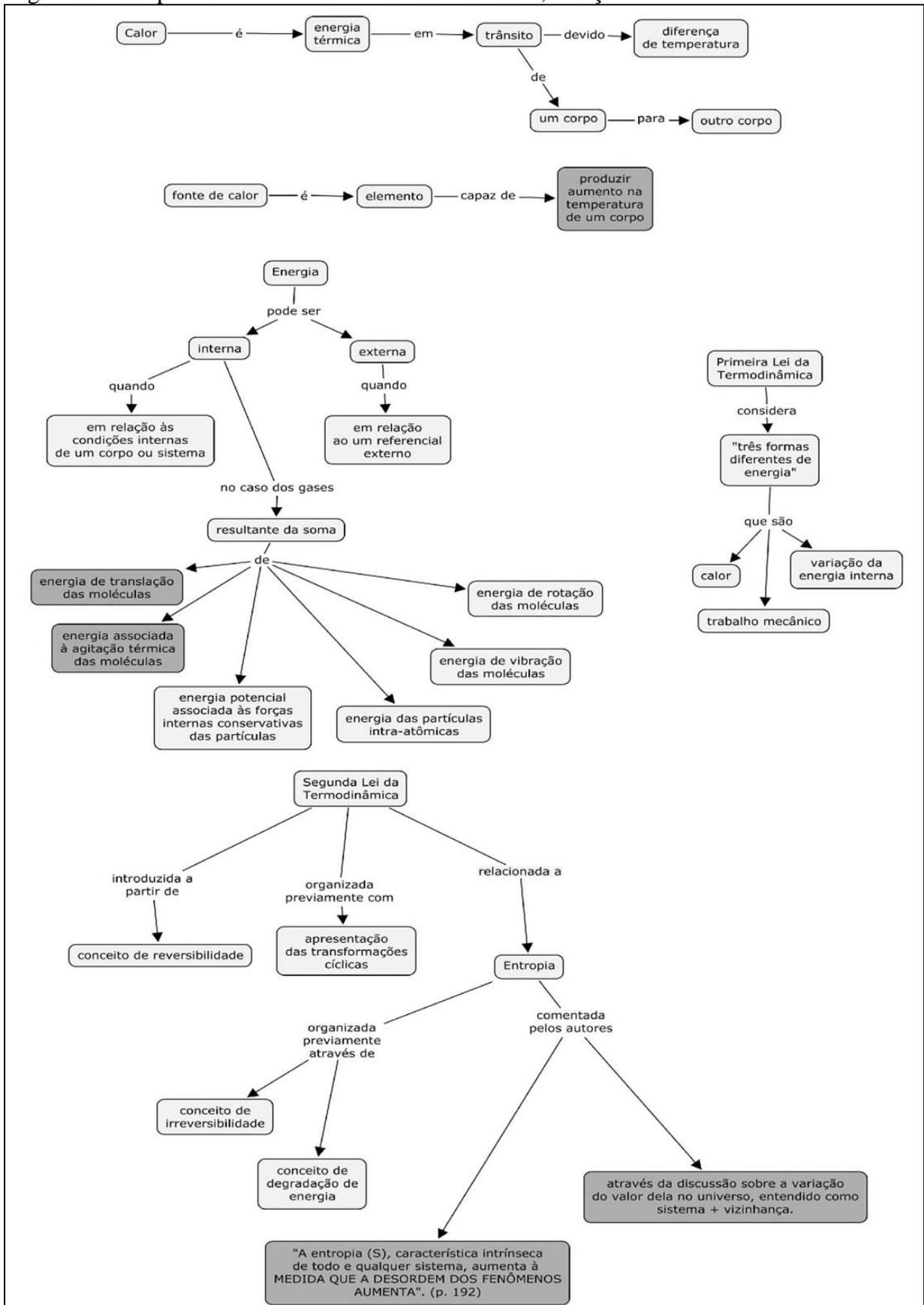
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 21 – Mapa conceitual acerca de energia mecânica, construído na análise da coleção 4.



Fonte: Elaborada pelo autor.

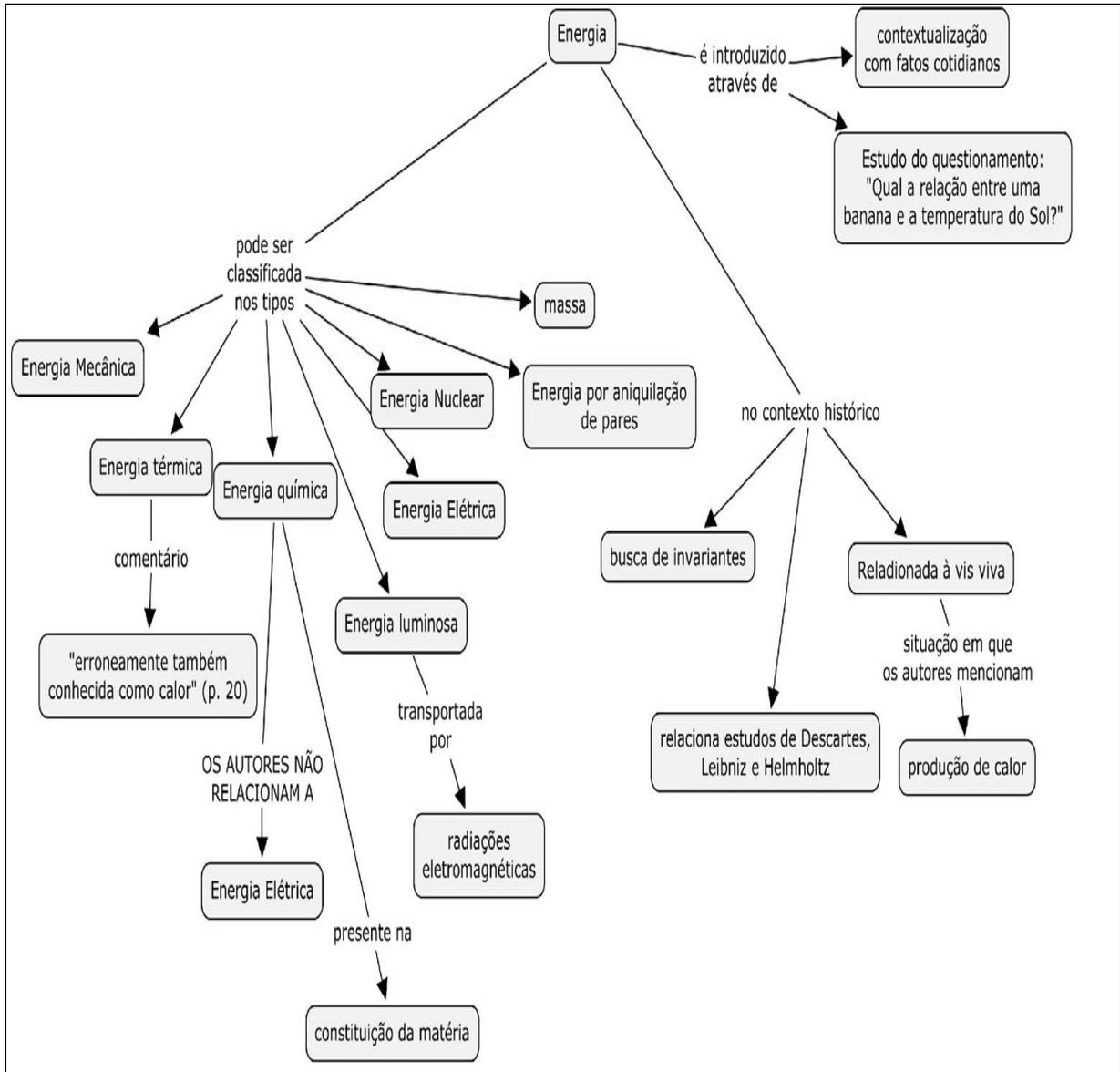
Figura 22 – Mapa conceitual acerca de Termodinâmica, coleção 4.



Fonte: Elaborada pelo autor.

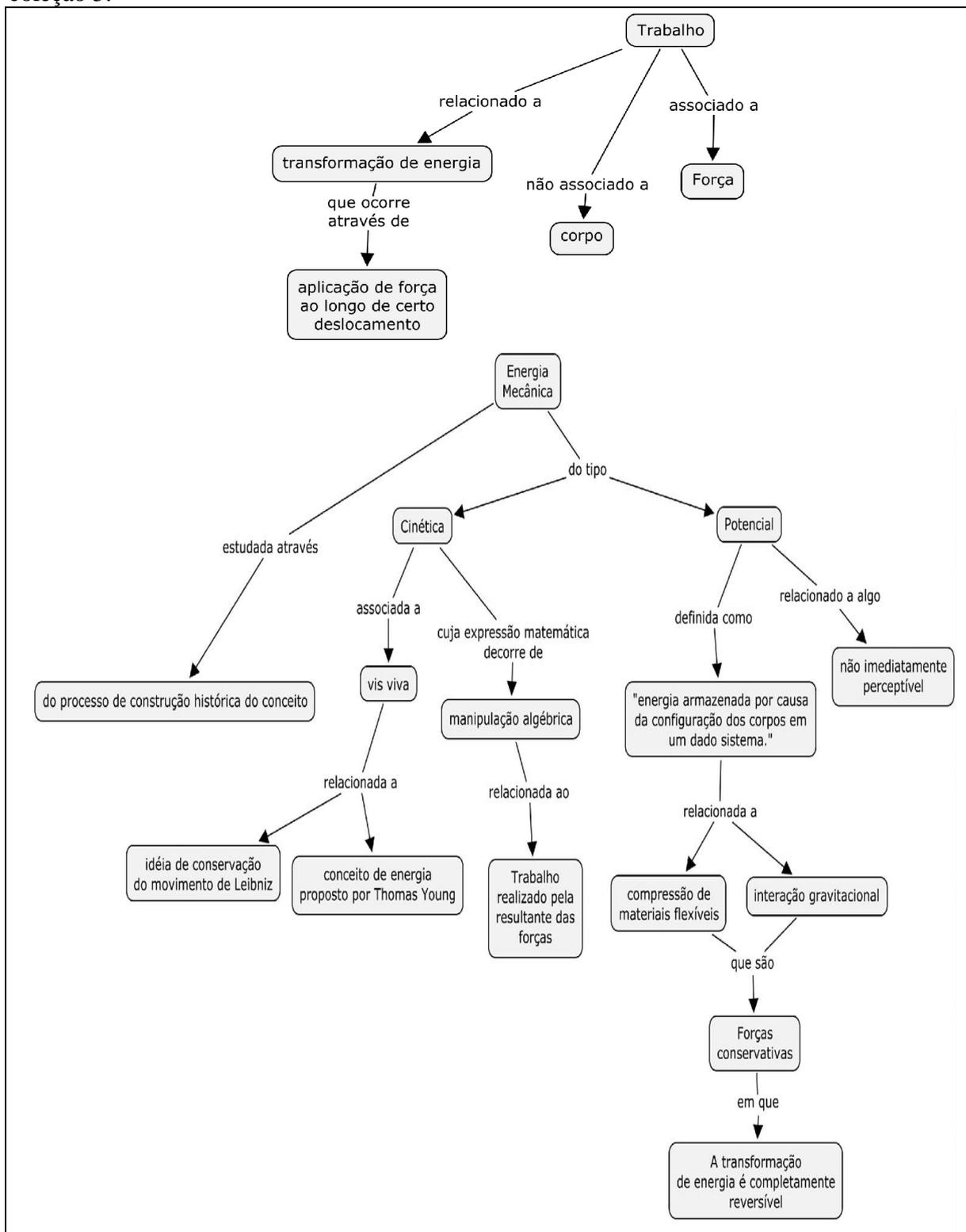
COLEÇÃO 05

Figura 23 – Mapa conceitual acerca da introdução do conceito energia apresentada na coleção 5.



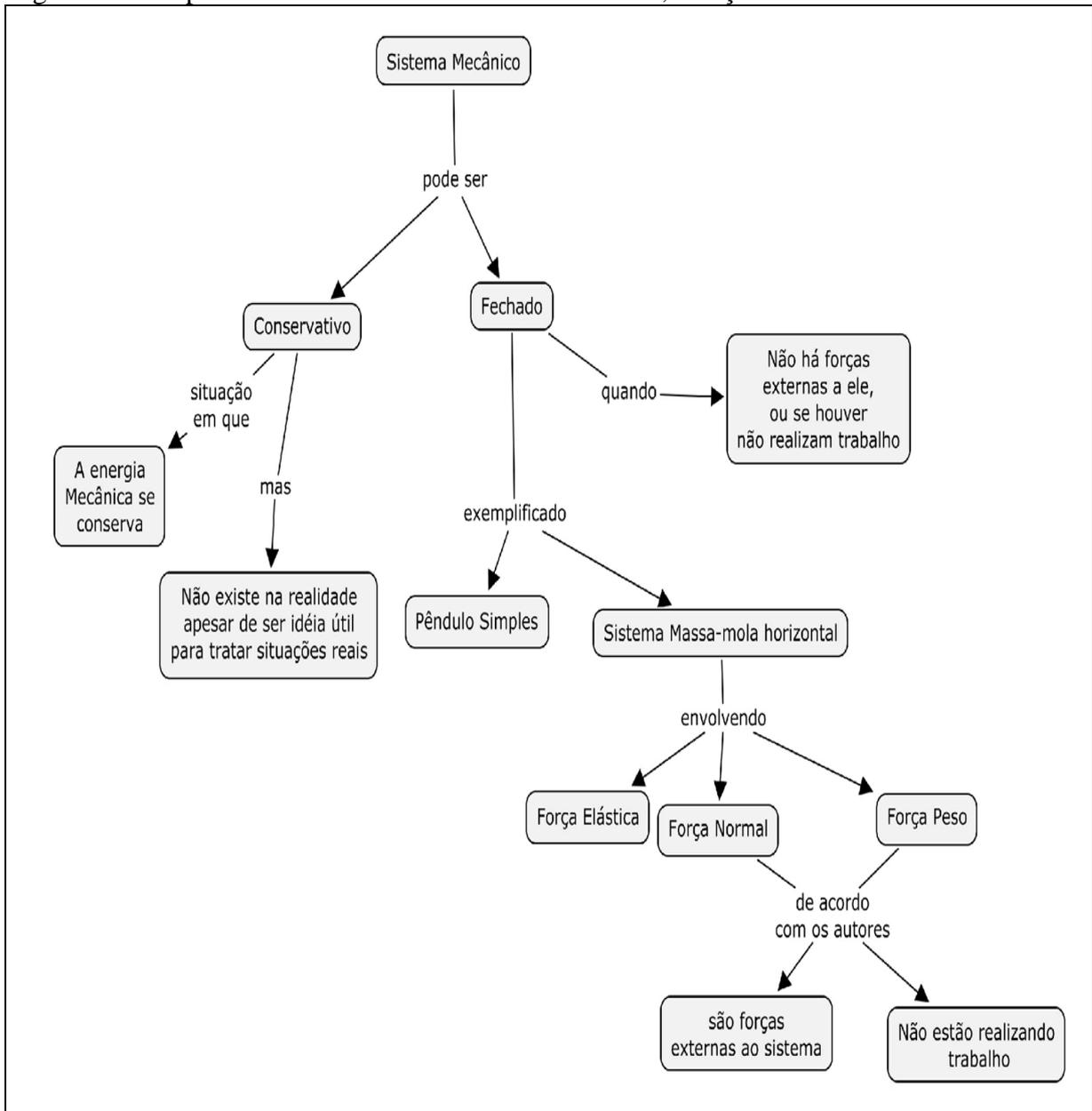
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 24 – Mapas conceituais acerca da abordagem de trabalho e energia mecânica na coleção 5.



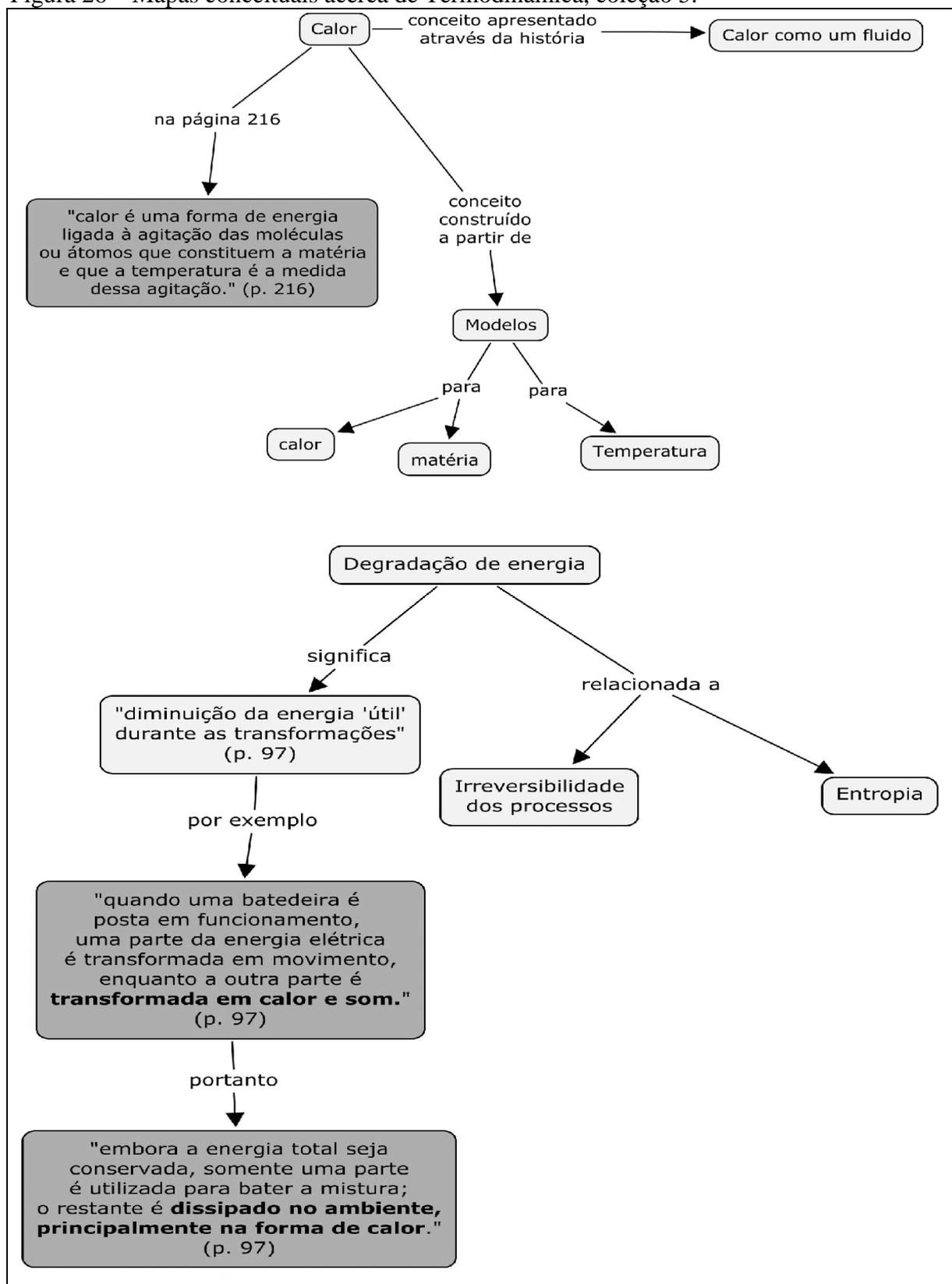
Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 25 – Mapa conceitual acerca de sistema mecânico, coleção 5.



Fonte: Elaborada pelo autor.

Figura 26 – Mapas conceituais acerca de Termodinâmica, coleção 5.



Fonte: Elaborada pelo autor.

APÊNDICE D – PRODUTO EDUCACIONAL

**MATERIAL DE APOIO AO PROFESSOR
NA ABORDAGEM DO CONTEÚDO ENERGIA**

**ESTE MATERIAL APRESENTA TEXTO PARA SER LIDO PELO ALUNO E
COMENTÁRIOS PARA GUIAR O TRABALHO DO PROFESSOR EM CONJUNTO
COM O USO DO LIVRO DIDÁTICO**

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	198
2.	CONSTRUTIVISMO HUMANO E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	199
3.	O QUE É ENERGIA?	199
4.	AS DISCUSSÕES DA COMUNIDADE CIENTÍFICA SOBRE O QUE É ENERGIA.	200
4.1	Ideias originais sobre energia: ela é algo que sempre se conserva!.....	201
4.2	Energia se conserva, mas pode mudar de forma	202
5.	ATUALMENTE, O QUE REPRESENTA O CONCEITO ENERGIA NO CONTEXTO DA FÍSICA CLÁSSICA?	203
5.1	Definição de sistema físico.....	203
5.1.1	<i>O estado do sistema físico</i>	<i>205</i>
5.1.2	<i>O princípio da conservação de energia e a transferência de energia</i>	<i>206</i>
5.2	Como “ver” a energia de um sistema?.....	206
5.3	Definição de trabalho mecânico: uma forma de transporte ou de transformação de energia	208
5.3.1	<i>Trabalho como transferência de energia</i>	<i>210</i>
5.3.2	<i>Trabalho como transformação de energia</i>	<i>211</i>
5.4	A energia mecânica, a energia interna e a degradação da energia.	212
5.4.1	<i>O trabalho do atrito cinético e o “desaparecimento” da energia mecânica</i>	<i>212</i>
6.	COMO CARACTERIZAR A DEGRADAÇÃO DE ENERGIA?	214
7.	OUTRAS FORMAS DE TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA	214
8.	CONSOLIDANDO OS CONCEITOS	215
9.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	219
	BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	220

1. INTRODUÇÃO

Este manual didático tem como objetivo nortear a abordagem do conteúdo energia, de acordo com a teoria do Construtivismo Humano e segundo a teoria da Aprendizagem Significativa. Para tal, constitui-se em um organizador prévio, avançado, com o intuito de facilitar a elaboração de um subsunçor estável na estrutura cognitiva do aluno, a fim de que sejam aprendidos, de forma significativa, os conceitos subordinados, mais específicos, presentes nos livros didáticos.

Além disso, busca-se levantar as concepções de energia já presentes, com a finalidade de tornar conscientes as possíveis contradições em relação à concepção científica. É também sugerido que se verifiquem as concepções presentes nas mídias tais como revistas, jornais, internet, com o objetivo de mostrar que o rótulo energia pode ter seu significado em função do contexto em que se apresenta.

Em seguida, apresenta-se, resumidamente, como o conceito fora construído historicamente, enfatizando o principal objetivo dos inquéritos sócio-históricos a respeito: a busca por um invariante nas transformações, o princípio da conservação de energia. Na sequência, define-se sistema físico, com a finalidade de constituí-lo como um subsunçor para o conceito de energia. Com essas definições, torna-se possível especificar as formas de apresentação da energia, bem como as formas de transferência, culminando com o princípio da degradação. Este último deve ser apresentado para evitar a interpretação equivocada da expressão “energia dissipada” como energia destruída, compreendendo-a como energia degradada.

Com o objetivo de consolidar os conceitos apresentados, sugere-se uma lista de expressões incoerentes em relação à concepção de energia, a fim de que sejam reinterpretadas à luz dos quatro aspectos que regem o conceito cientificamente: conservação, transformação, transporte e degradação.

Nesse sentido, propõe-se investigar o que os alunos já sabem, enfatizar as contradições, diferenciar progressivamente os conceitos e promover a reconciliação integradora, subindo e descendo na hierarquia conceitual.

2. CONSTRUTIVISMO HUMANO E APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

O Construtivismo Humano constitui uma teoria da educação elaborada por Novak, tendo como conceito subjacente a Aprendizagem Significativa. Essas teorias inferem que o processo de instrução deve obedecer a alguns princípios. Primeiramente, defende-se que o fator mais importante no processo ensino-aprendizagem constitui aquilo que o aluno já sabe. A partir disso, propõe-se a estratégia didática da diferenciação progressiva dos conceitos, devendo-se apresentar inicialmente os conceitos mais gerais, mais inclusivos, fazendo com que os mais específicos, ao serem relacionados significativamente aos mais gerais, venham a diferenciar estes. A fim de ressaltar similaridades e discrepâncias entre os conceitos, evitando proposições contraditórias, aponta-se o uso da integração conciliadora, um princípio que indica ser necessário o “sobe e desce” nas hierarquias conceituais, ou seja, a constante integração entre os conceitos mais específicos e os mais gerais.

Para Novak, a elaboração da sequência de instrução deve incluir um estudo prévio das hierarquias conceituais. Para tal, tomou-se como referência a concepção científica do conceito energia proposta por Duit e Heausller (1994), identificando-se o sistema físico como conceito mais geral relacionado com energia.

3. O QUE É ENERGIA?

A palavra energia está presente nos mais diversos meios de comunicação, em muitas conversas no nosso cotidiano, principalmente relacionada a temas como tecnologia. A fim de começarmos a desvendar esse tema, procure, com seus conhecimentos, responder livremente a seguinte pergunta: o que a palavra energia representa para você?

Comentário: espera-se que surjam aqui as concepções alternativas mencionadas por Linjse (1990) tais como:

- a) visão antropocêntrica de energia, representada nas ideias de estar energizado e ativo ou de perda de energia após execução de atividades, gerando exaustão física;*
- b) modelo depositório de energia, como algo que seja fonte de poder, causa dor de atividades, armazenado em objetos que possuem energia;*

- c) *energia como ingrediente ou produto, sendo interpretada como algo que surge de uma reação química, ou algo presente nos alimentos e que se torna ativo após a ingestão deles;*
- d) *energia como uma manifestação do movimento dos objetos;*
- e) *energia como algo funcional, representado pelos combustíveis ou por baterias, que têm função no funcionamento de objetos tecnológicos;*
- f) *energia como um tipo de fluido, como algo materializado, que flui entre os objetos.*

O objetivo desse questionamento é fazer os alunos tomarem consciência do que o rótulo energia representa para eles.

Agora que já expôs o que a palavra energia representa para você, pesquise em livros, em revistas, em jornais ou na internet, textos que representem a sua visão de energia e os transcreva em pelo menos três exemplos. Nessa investigação, você encontrou alguma visão de energia com a qual não concorda?

Comentário: com essa atividade, espera-se que o aluno tome consciência de que o rótulo energia é utilizado em várias circunstâncias, representando ideias muitas vezes diferentes, em função do contexto. Esta atividade, bem como o questionamento anterior, pode ser proposta, como tarefa de casa, antes da aula que virá a abordar o tema energia.

4. AS DISCUSSÕES DA COMUNIDADE CIENTÍFICA SOBRE O QUE É ENERGIA

No desenvolvimento de suas pesquisas, os cientistas buscam observar o comportamento dos objetos na natureza. Nesse contexto se encontram também as propriedades dos objetos tais como massa, velocidade, aceleração, volume, densidade, temperatura etc. Quando há alguma variação nessas propriedades, procura-se alguma regularidade, ou seja, alguma relação que se repita (por exemplo, o valor do deslocamento de um móvel em movimento uniforme é diretamente proporcional ao valor da velocidade dele, para um determinado intervalo de tempo), ou algo que se conserve (por exemplo, Lavoisier verificou que a massa total dos produtos de uma reação tem o mesmo valor da massa total dos reagentes).

Quando aquilo que se conserva envolve uma expressão matemática relacionando várias propriedades, procura-se dar um nome a essa expressão. Na construção do

conhecimento científico, muitas vezes, há discordância entre os pesquisadores, tanto quanto ao uso de uma palavra para rotular um conceito, quanto na formulação matemática que define essa nova grandeza física.

4.1 Ideias originais sobre energia: ela é algo que sempre se conserva!

Os primeiros rascunhos do conceito de energia parecem ter surgido quando Descartes (1596-1650) formulou a hipótese de que todo movimento de um corpo provém do movimento de outro corpo, como, por exemplo, quando uma bola de bilhar colide com outra, transferindo movimento. Contudo, nesse processo, para ele a quantidade que reduzia em um deles, era acrescentada no mesmo valor ao outro.

Mas como explicar o fato de que uma bolinha lançada em um plano horizontal vai perdendo seu movimento? Descartes explicava isso dizendo que parte do movimento era transferido para as partículas do ar e do próprio piso, de forma invisível aos olhos humanos.

Gottfried Leibniz (1646-1716) formulou uma expressão matemática que, para ele, representava a “força” viva (do latim *vis viva*) presente nos objetos em movimento: mv^2 , em que m representa a massa do corpo e v , o valor de sua velocidade. Para ele, a quantidade total de *vis viva* deveria ser constante em todo o Universo. Hoje chama-se essa “força” viva de energia cinética (mas acrescenta-se o fator $\frac{1}{2}$ à expressão mv^2 : $\frac{1}{2}mv^2$).

Hermann Von Helmholtz (1821-1894) explicitou o princípio da conservação da energia, quando ela ainda era chamada de “força” viva:

Chegamos à conclusão de que a Natureza, como um todo, possui uma reserva de força que não pode de qualquer modo aumentar ou diminuir e que, portanto, a quantidade de força na Natureza é precisamente tão eterna e inalterável como a quantidade de matéria. Expressa nesta forma, mencionei a lei geral: O Princípio de Conservação da Força.

(In: PROJECTO FÍSICA. Unidade 3: O triunfo da Mecânica. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1980. P. 64).

Helmholtz utilizava a palavra “força” para definir o que hoje se conhece como “energia”. Este termo fora introduzido pelo físico e médico britânico Thomas Young em 1807.

4.2 Energia se conserva, mas pode mudar de forma

Atualmente, classifica-se a energia de várias formas. Você já deve ter ouvido falar em: energia mecânica, energia eólica (dos ventos), energia química, energia nuclear, energia elétrica, energia térmica, energia luminosa... A comunidade científica, quando verificava que uma determinada forma de energia “desaparecia”, buscava encontrar em que outro modo ela se manifestava, de tal forma que se respeitasse o princípio da conservação. Leia o texto a seguir, que ilustra uma situação semelhante a esse processo:

Existe um fato ou, se você preferir, uma lei que governa todos os fenômenos naturais conhecidos até agora. Não se conhece nenhuma exceção a essa lei – ela é exata, pelo que sabemos. A lei chama-se *conservação da energia*. Segundo ela, há certa quantidade, que denominamos energia que não se modifica nas múltiplas modificações pelas quais passa a natureza. Trata-se de uma ideia extremamente abstrata, por ser um princípio matemático: diz que há uma quantidade numérica que não se altera quando algo acontece. Não é a descrição de um mecanismo ou de algo concreto, é apenas o fato estranho de que podemos calcular certo número e, quando terminamos de observar a natureza em suas peripécias e calculamos o número de novo, ele é o mesmo.

[...]

Imagine uma criança, talvez “Dênis, o Pimentinha”, que possui cubos absolutamente indestrutíveis e que não podem ser divididos em pedaços. Todos são idênticos. Suponhamos que possui 28 cubos. Sua mãe o coloca com seus 28 cubos em um quarto no início do dia. No final do dia, sendo curiosa, ela conta os cubos com cuidado e descobre uma lei fenomenal: não importa o que ele faça com os cubos, há sempre 28! Isso prossegue por vários dias, até que um belo dia só há 27 cubos, mas uma pequena investigação mostra que um deles foi para debaixo do tapete – ela tem de procurar por toda parte para se assegurar de que o número de cubos não mudou. Um dia, porém, o número parece mudar, só há 26 cubos. Uma investigação cuidadosa indica que a janela foi aberta e, após uma procura lá fora, os outros dois cubos são encontrados. Outro dia, uma contagem cuidadosa indica que há 30 cubos! Isso causa uma consternação considerável, até que descobre que Bruce fez uma visita, trazendo consigo seus cubos, e deixou alguns na casa de Dênis. Depois de se desfazer dos cubos extras, a mãe fecha a janela, não deixa Bruce entrar e, então, tudo vai às mil maravilhas, até que um dia ela conta os cubos e só encontra 25. Entretanto, há uma caixa no quarto, uma caixa de brinquedos, e, quando a mãe tenta abri-la, o menino protesta: “Não, não abra minha caixa de brinquedos”. A mãe não pode abrir a caixa de brinquedos. Sendo extremamente curiosa e um tanto engenhosa, ela inventa um truque! Ela sabe que um cubo pesa 84 gramas; assim, pesa a caixa sem os 28 cubos e verifica que seu peso é 448 gramas. Da próxima vez em que quer verificar o número de cubos, pesa a caixa de novo, subtrai 448 gramas e divide o resultado por 84. Descobre o seguinte:

$$(\text{número de cubos vistos}) + \frac{(\text{peso da caixa}) - 448 \text{ g}}{84 \text{ g}} = \text{constante}$$

Passado algum tempo, parece haver um novo desvio, mas um exame cuidadoso indica que a água suja na banheira está mudando de nível. O menino está jogando os cubos na água e ela não consegue vê-los devido à sujeira, mas consegue descobrir quantos cubos há na água acrescentando outro termo à fórmula. Como a altura original da água era de 15 centímetros e cada cubo eleva a água meio centímetro, a nova fórmula seria:

$$(n^\circ \text{ de cubos vistos}) + \frac{(\text{peso da caixa}) - 448 \text{ g}}{84 \text{ g}} + \frac{(\text{altura da água}) - 15 \text{ cm}}{0,5 \text{ cm}} = \text{constante}$$

Com o aumento gradual da complexidade de seu mundo, ela descobre toda uma série de termos representando meios de calcular quantos cubos estão em lugares onde ela não pode olhar. Como resultado, encontra uma fórmula complexa, uma quantidade que tem de ser calculada e que sempre permanece idêntica em sua situação.

(FEYNMAN, Richard P. *Física em 12 lições*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2006)

5. ATUALMENTE, O QUE REPRESENTA O CONCEITO ENERGIA NO CONTEXTO DA FÍSICA CLÁSSICA?

Primeiramente, é importante ressaltar que energia não representa uma entidade ou um fluido que vaga no espaço, ou que seja responsável pelas transformações que ocorrem no universo.

Energia é uma propriedade de um sistema físico (que pode ser um corpo ou um conjunto de corpos), da mesma forma que massa, volume, temperatura e densidade também são. Contudo, é possível encontrar relações entre essas propriedades que caracterizam o estado do sistema. Por exemplo, o valor da densidade é igual à razão entre a massa e o volume.

5.1 Definição de sistema físico

Um sistema físico corresponde a uma determinada região do Universo que escolhemos para focarmos nossa atenção. Cabe a nós escolher o sistema de forma conveniente a simplificar nossas observações sobre ele. Podem ser considerados sistemas físicos, por exemplo:

- um corpo;



Figura 27 - um tijolo representa um corpo, que pode representar um sistema.

- uma partícula;
- um conjunto de corpos ou de partículas;



Figura 28 - uma parede, representada por um conjunto de tijolos, pode ser considerada um sistema.

- uma região do espaço de volume constante (por exemplo, o interior de uma garrafa térmica) ou de volume variável (por exemplo, o interior de uma bola de futebol, que pode ser deformada).



Figura 29 - o interior de uma garrafa térmica, por exemplo, pode ser considerado um sistema físico. (disponível em <http://www.cafestore.com.br>)



Figura 30 - O interior de uma bola de futebol pode ser considerado um sistema físico. Nesse caso, a fronteira do sistema é real, representada pela borracha de que é feita a bola. (disponível em: <http://olhares.uol.com.br/cabecada-foto1276885.html>)

A fronteira do sistema é uma superfície imaginária ou não (isso porque pode ser uma superfície física como a casca do ovo, por exemplo) que divide o sistema do restante do Universo, conhecido como vizinhança, arredor ou meio externo.

5.1.1 O estado do sistema físico

Uma vez que definimos as fronteiras que delimitam o que vamos observar como sistema físico, verificamos que existem algumas **propriedades** que o caracterizam, tais como número de partículas, massa, volume, densidade, temperatura etc. Dizemos que o conjunto dessas propriedades pode representar o estado do sistema em um determinado instante.

Essas propriedades ainda podem ser classificadas como **extensivas** ou **intensivas**. Para diferenciarmos, vamos analisar um exemplo. Imagine que nosso sistema é a água contida em um jarro. Agora vamos subdividir esse sistema em dois copos. Note que a massa de um copo somada com a massa do outro copo corresponde à massa total do sistema. Nesse caso, podemos dizer que a massa é uma propriedade que depende da extensão do sistema, e, caso venhamos a subdividi-lo em extensões menores, a massa também se subdivide: **massa é uma propriedade extensiva do sistema**. Vamos então pensar na densidade da água presente no jarro. Pelo que sabemos, a densidade da água é algo em torno de 1 g/cm^3 , assim, a densidade da água no jarro corresponde a 1 g/cm^3 . Quando fizemos a subdivisão nos copos, não houve subdivisão da densidade: a água de cada copo apresenta 1 g/cm^3 , ou seja, se somarmos as densidades das águas no copo, não obtemos a densidade total. Portanto, classificamos a **densidade** como uma **propriedade intensiva do sistema**, não dependendo de sua extensão.



Figura 31 - Observe-se que o sistema "água contida no jarro" foi subdividido em duas partes: "água contida no copo à esquerda" e "água contida no copo à direita".

Energia é uma propriedade extensiva de um sistema físico, medida em relação a um determinado referencial (lembra-se de que é preciso de um referencial para medir a velocidade de um corpo? Ocorre o mesmo com o valor da energia). Pode-se dizer, por exemplo, que a energia do sistema formado pelos dois copos com água da Figura 31, corresponde à soma da energia de um copo com a energia do outro.

5.1.2 O princípio da conservação de energia e a transferência de energia

As propriedades dos objetos contidos em um sistema podem sofrer alterações, caso esse sistema sofra transformações devido a interações internas (entre os componentes do sistema) ou a interações externas (entre o sistema e sua vizinhança).

Contudo, buscou-se encontrar aquilo que não varia nesses processos de transformação, quando o sistema está isolado de sua vizinhança, ou seja, quando não interage com ela. Nesse contexto, construiu-se o conceito de energia, como uma propriedade extensiva de um sistema, representada por uma grandeza escalar, que se conserva caso ele esteja isolado de sua vizinhança.

Quando ocorre interação entre o sistema e sua vizinhança, ainda assim continua válido o princípio da conservação de energia, porque se houve aumento da quantidade de energia no sistema, houve também uma redução de igual valor na quantidade de energia da vizinhança. Assim, dizemos que houve **transferência** de energia entre o sistema e sua vizinhança, respeitando o princípio da conservação.

Portanto, **para alterar o estado de um sistema, pode ser necessário variar a quantidade de energia desse sistema ou alterar a forma de manifestação dessa energia.** Devido ao princípio de conservação da energia, para que tal transformação ocorra, é necessário que ou as partes internas do sistema interajam transformando energia, ou que o sistema interaja com sua vizinhança. De qualquer forma, tais interações são representadas pelas forças (estudadas nas leis de Newton).

É por esse motivo que dizemos “precisar de energia” para nossas atividades. Em geral, essas atividades envolvem transformações de estado ocorrendo em vários sistemas, implicando transferências e transformações de energia, mas mantendo sempre o valor total constante o Universo. Contudo, não podemos dizer que a energia é a causadora das transformações! Ela é apenas uma propriedade que se transforma ou se transfere nessas transformações.

5.2 Como “ver” a energia de um sistema?

O estudo matemático da conservação da energia proporcionou que se relacionasse a energia de um sistema, principalmente, a duas propriedades:

1. à rapidez do movimento de seus componentes e

2. à disposição espacial de seus componentes (em outras palavras, a forma do sistema), levando em consideração suas interações (forças) internas.

Considerando-se o módulo da velocidade, escolheu-se chamar a energia relacionada ao movimento de **energia cinética**, ficando conveniente defini-la como $\frac{mv^2}{2}$, onde m representa o valor da massa em movimento e v o módulo da velocidade dessa massa. Nas aulas sobre o cálculo do trabalho, será mostrado por que foi conveniente adotar essa formulação matemática da energia cinética.

Considerando-se a disposição espacial de seus componentes, ou seja, o formato do sistema, escolheu-se chamar a energia associada a essa configuração de **energia potencial**. Tal fato ocorreu porque, o valor da velocidade das massas em movimento nós conseguimos observar, mas não nos é tão evidente a energia associada às posições dos objetos do sistema.

Contudo, podemos dar um exemplo simples para isso. Imagine um sistema formado por uma pedra no alto de um edifício e pelo planeta Terra. Considere também que nada nem ninguém poderá interagir com esses dois. Quando soltamos essa pedra, ela adquire velocidade e, portanto, energia cinética. Considerando o princípio da conservação da energia, fica a pergunta: de onde veio essa energia? Com certeza, essa energia está associada à interação gravitacional entre a pedra e o planeta Terra. Para manter válido o princípio da conservação, consideramos que havia uma quantidade de energia associada à posição da pedra em relação à Terra, devido à interação gravitacional, ficando conveniente chamar de **energia potencial gravitacional do sistema pedra-Terra**.

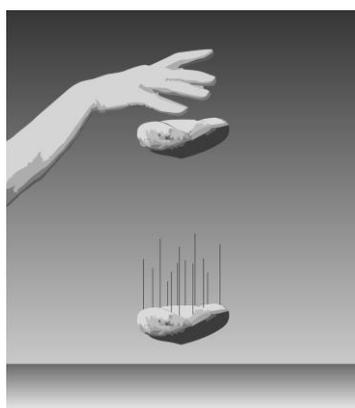


Figura 32 - Durante sua queda, a pedra adquire energia cinética. Dizemos que esse acréscimo da energia cinética ocorreu graças ao decréscimo de energia potencial gravitacional do sistema pedra-Terra.

As forças com as quais é possível repetir esse raciocínio são chamadas **forças conservativas**. Tais forças têm seu valor existindo em função da posição de um corpo em relação a outro e, quando realizam trabalho, modificam o formato do sistema (ou o

deformando) e provocam a **transformação de energia potencial** em outras formas de energia mecânica.

Portanto, o princípio da conservação da energia deve ser respeitado tanto na transferência de energia de um sistema para outro (também conhecido como transporte de energia), quanto da transformação de uma forma para outra:

A propriedade energia pode ser transportada de um lugar para outro (de um sistema para outro), ou transformada de uma forma em outra, mas o valor total dela no Universo é sempre constante.

Além disso, é bom recordar que, para medir uma posição ou uma velocidade é sempre necessário que se adote um referencial. Portanto, a grandeza energia depende do referencial adotado. Entretanto, independente do referencial que se adote, observa-se o princípio da conservação.

5.3 Definição de trabalho mecânico: uma forma de transporte ou de transformação de energia

Para que a atuação de uma força represente uma mudança no estado de um sistema, é necessário que, ou o deforme, ou altere a rapidez de seus movimentos. Em quaisquer dessas situações, essa força deverá estar envolvida em um deslocamento, quer o favorecendo, quer o contrariando.

Caso uma força atue sem deslocar seu ponto de aplicação, ela não altera o estado do sistema. Por exemplo, você está em repouso em pé fazendo uma força sobre o chão, mas sem deslocá-lo. Você está modificando o estado desse chão? Você está modificando o seu estado? Está acontecendo alguma transformação por conta dessa força com que você interage com o chão? Definitivamente, não!



Figura 33 - Note que nem o homem, nem o piso sofrem mudanças de estado devido à aplicação da força de contato F .

Portanto, essa força não está sendo responsável por transferência de energia entre você e o chão, já que energia representa uma propriedade que caracteriza o estado dos sistemas, e todos estão mantendo seus estados inalterados!

Vamos estudar agora uma situação simplificada: um bloco deslizando numa superfície horizontal lisa. Faremos essas considerações para que não precisemos nos preocupar com o atrito. Além disso, a força peso e a força normal de contato irão equilibrar-se.

Se fizermos atuar uma força a favor do movimento, haverá aumento da velocidade, e, portanto, aumentaremos a energia cinética do bloco.

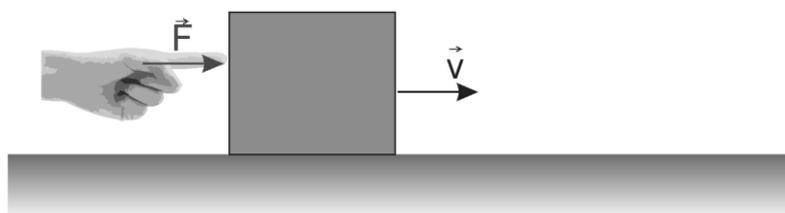


Figura 34 - força favorecendo o movimento e aumentando a energia cinética do bloco.

Se fizermos atuar uma força contrária ao movimento, haverá uma redução da velocidade, e, portanto, reduziremos a energia cinética do bloco.

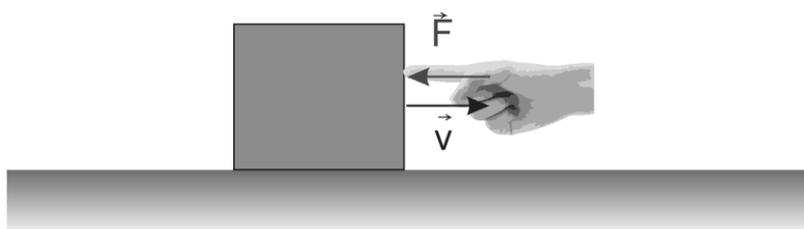


Figura 35 - força contrariando o movimento e reduzindo a energia cinética do bloco.

É possível mostrar que, quanto maior o espaço (deslocamento) em que essa força atuou, maior a variação da energia cinética, proporcionando a conclusão de que a “influência” dessa força é proporcional ao valor dela e ao deslocamento envolvido. Assim, decidiu-se chamar esse produto da intensidade da força pelo valor do deslocamento de **trabalho realizado pela força**. Essa definição é simplificada, mas o estudo das complexidades envolvidas no cálculo dessa nova grandeza física será abordado no livro didático.

5.3.1 Trabalho como transferência de energia

Considerando-se o modelo explicativo dos movimentos referente Leis de Newton, é possível propor a análise de uma situação simplificada: imagine que a mão de uma pessoa exerça uma força constante sobre uma bolinha, empurrando-a e, portanto, acelerando-a:

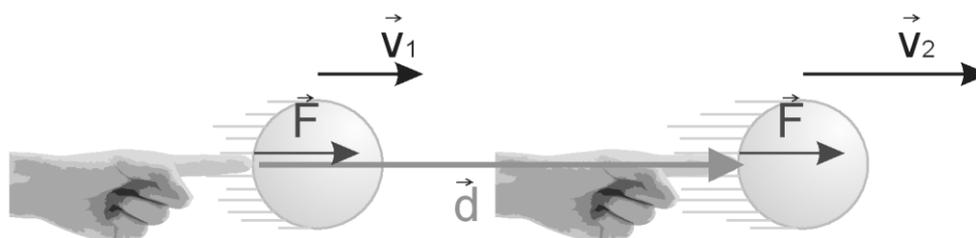


Figura 36 - Força exercida pela mão sobre a bolinha realizando trabalho positivo, transferindo energia para a esfera.

Nesse exemplo, a força F realizou trabalho aumentando a energia cinética da bolinha. Agora, é importante considerar que, para permanecer válido o princípio da conservação da energia, o aumento de energia da bola deve corresponder a uma redução na energia da mão. O significado disso irá aparecer no valor do trabalho realizado pela força de reação na mão: de acordo com a terceira lei de Newton, para toda ação há uma reação de mesma intensidade, de mesma direção, mas de sentido contrário, atuando no corpo que provocou a ação. Assim, sobre a mão irá atuar uma força contrária ao movimento que irá reduzir a quantidade de energia do sistema mão:

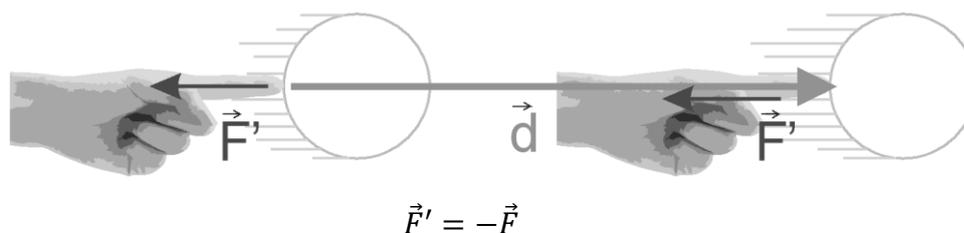


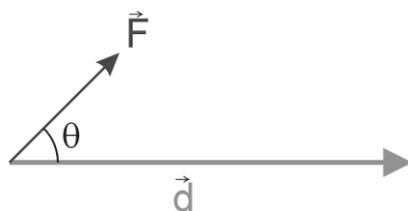
Figura 37 - A força de reação à aplicada sobre a bolinha, que atua sobre a mão, realizando trabalho negativo, reduzindo a energia da mão.

Nesse caso, o trabalho realizado por \vec{F}' sobre a mão (que faz parte da vizinhança) teria valor $-F d$.

Uma vez que o trabalho $F d$ representou um acréscimo de energia na bolinha, é razoável admitir que $-F d$ representou um decréscimo de mesmo valor na mão (vizinhança).

Para representar essas considerações (trabalho positivo a favor do deslocamento e trabalho negativo contra o deslocamento), definiu-se o trabalho realizado por uma força constante como sendo:

$$\tau = |\vec{F}||\vec{d}|\cos\theta$$



Com essa formulação, verifica-se trabalho positivo (implicando acréscimo de energia ao sistema sobre o qual a força atua) quando a força favorece o movimento e trabalho negativo (implicando decréscimo de energia ao sistema sobre o qual a força atua) quando a força desfavorece o movimento. Note ainda que, caso a força seja perpendicular ao movimento, não irá alterar as energias dos sistemas.

5.3.2 Trabalho como transformação de energia

Quando forças conservativas realizam trabalho, ocorre a transformação de energia potencial em outras formas de energia. Assim, o trabalho realizado por essas forças corresponde à queda do valor da energia potencial, o que matematicamente pode ser representado por:

$$\tau_{\text{forças conservativas}} = \text{Energia potencial}_{\text{inicial}} - \text{Energia potencial}_{\text{final}}$$

Isso é o que ocorre quando uma pedra cai livremente, nas proximidades da superfície da Terra. O trabalho realizado pela força peso (que é uma força interna ao sistema pedra-Terra) realiza a transformação da energia potencial gravitacional do sistema em energia cinética. Nesse caso não houve transferência de energia porque ela permaneceu interna ao sistema pedra-Terra, mudando apenas a forma de manifestação (de potencial para cinética).

Serão estudadas, como exemplos de forças conservativas, no livro didático, a força peso, a força elástica e a força eletrostática. As demais forças, como forças de contato (normal e atrito) ou forças de tração, não têm energia potencial associada a elas e são chamadas não-conservativas. Cuidado, esse nome não significa que elas violam o princípio de conservação de energia; elas apenas transformam energia mecânica em outras formas, ou seja, impedem a conservação da energia mecânica. A seguir, veremos o que significa energia mecânica.

5.4 A energia mecânica, a energia interna e a degradação da energia.

Define-se como **energia mecânica** de um sistema a soma da energia cinética com a energia potencial de suas partes visíveis na escala macroscópica. Nesse caso, não são considerados os movimentos microscópicos das agitações das moléculas. Assim, analisa-se apenas o movimento ordenado do corpo, na escala macroscópica, medindo-se apenas a velocidade do movimento do centro desse corpo.

Quando apenas forças conservativas realizam trabalho, a transformação é reversível e a energia mecânica se conserva, não sendo transformada em outras formas. Quando se usa o termo reversível, refere-se ao fato de a transformação poderia ocorrer no sentido inverso. Por exemplo, se você arremessa uma bola para cima, ela reduz a sua quantidade de energia cinética, mas aumenta a quantidade de energia potencial gravitacional com a Terra; depois de atingir a altura máxima, volta revertendo o processo, reduzindo a quantidade de energia potencial e retornando ao mesmo valor de energia cinética de antes, ao retornar ao ponto de arremesso.

. Tais situações são idealizadas, haja vista que, na prática, é difícil impedir que forças não conservativas (em especial os atritos cinéticos) realizem trabalho nos sistemas.

A energia associada aos movimentos que ocorrem na escala microscópica, bem como a energia associada às interações nessa escala, tendo como referencial o centro do objeto, é chamada **energia interna**. Parte dessa energia interna é chamada de **energia térmica**, referente à agitação das moléculas desse corpo, diretamente relacionada à temperatura dele.

5.4.1 O trabalho do atrito cinético e o “desaparecimento” da energia mecânica

Quando lançamos um bloco sobre uma superfície horizontal áspera, verificamos que a energia cinética dele tende a diminuir até atingir o repouso. Durante esse processo, houve forças de atrito atuando, realizando trabalho, sendo as responsáveis pela redução da energia cinética desse bloco. Surgem então as perguntas: para onde foi essa energia? Como ela se manifesta agora?

A alteração da energia de um sistema provoca mudanças no estado desse sistema, haja vista ser a energia uma propriedade que caracteriza esse estado. Quando o atrito cinético realiza trabalho, em geral, provoca um espalhamento da energia cinética, antes organizada no

movimento ordenado do centro do bloco, depois distribuída ao movimento desordenado da agitação das moléculas que constituem as superfícies atritadas.

Não é mais possível “ver” o movimento relacionado a essa energia, contudo, podemos associá-lo à temperatura das superfícies atritadas, que aumentou durante o processo. Portanto, a temperatura dos corpos está relacionada à energia de agitação do movimento das moléculas que os constituem.

Note-se, por outro lado, que essa transformação – ao contrário do que ocorre quando arremessamos um corpo para cima – não é reversível, ou seja, a força de atrito não provoca espontaneamente a reversão dessa transformação de energia em movimento ordenado do bloco. Tal fato é admitido como verdadeiro, porque até hoje ainda não se observou a reversão de um processo como esse.

Forças desse tipo são conhecidas como **forças dissipativas** porque provocam a conversão da energia ordenada, mecânica, em energia microscopicamente desordenada, interna. Em outras palavras, o trabalho desse tipo de força “dissipa” a energia mecânica.

Uma vez que esses processos são irreversíveis, nota-se uma tendência da energia em “espalhar-se” pelas moléculas, ou seja, vê-se que a energia tende a degradar-se. Quando usamos esse termo – degradação – referimo-nos ao fato de que essa energia desce ao nível microscópico, e isso ocorre irreversivelmente, ou seja, a energia mecânica transforma-se espontaneamente em energia térmica, mas o inverso, espontaneamente, não ocorre.

Portanto, quando ocorre transformação irreversível em um sistema, apesar de a energia total permanecer constante, há a perda da capacidade de realização de trabalho mecânico, ela se degrada. Para que a energia de um sistema “ganhe” qualidade, ele deve interagir energeticamente com a vizinhança, porque, isolado, a única tendência é a degradação.

As transformações que ocorrem no nosso cotidiano, em geral são irreversíveis, havendo sempre degradação da energia. Portanto, podemos expandir nossa construção do conceito de energia:

A propriedade energia pode ser transportada de um lugar para outro (de um sistema para outro), ou transformada de uma forma em outra, mas o valor total dela no Universo é sempre constante. Contudo, nessas transformações, ela se degrada, manifestando-se em forma mais desordenada, principalmente no movimento microscópico das moléculas, havendo perda da capacidade de realizar trabalho mecânico.

6. COMO CARACTERIZAR A DEGRADAÇÃO DE ENERGIA?

Rudolf Clausius, ao estudar as transformações que ocorrem em máquinas térmicas (como o motor de um automóvel, por exemplo), definiu uma nova propriedade extensiva de um sistema: a **entropia**.

Fisicamente, definimos entropia como uma medida da degradação da energia de um sistema. Tal degradação está relacionada ao “espalhamento” espacial da energia e da matéria, ou seja, à desordem do sistema. Lorde Kelvin, Max Planck e o próprio Rudolf Clausius enunciaram uma lei, baseada em observações experimentais:

Em um sistema isolado, caso ocorram apenas transformações reversíveis, a entropia permanece constante; contudo, caso ocorram transformações irreversíveis, a entropia aumenta. Assim, em um sistema isolado a entropia não irá se reduzir.

Esse é o enunciado do princípio da degradação da energia. A única forma de reduzir a degradação da energia em um sistema é fazê-lo interagir com sua vizinhança. É dessa forma que o sistema do indivíduo “ser humano” evita a desorganização de seu sistema: interagindo com a vizinhança.

A degradação da energia em um sistema está associada à redução da capacidade de essa energia sofrer novas transformações, ou seja, quando aumenta a degradação, a energia torna-se menos transformável.

7. OUTRAS FORMAS DE TRANSFERÊNCIA DE ENERGIA

Já vimos que o trabalho provoca a transferência de energia entre sistemas através da aplicação de uma força cujo ponto de aplicação se desloque.

Outra forma de transferir energia são as ondas mecânicas, que correspondem a uma perturbação que se propaga em um meio material, transportando energia. Um exemplo disso são as ondas sonoras que se propagam pelo ar e, ao atingir nossos ouvidos, estimulam o processo de audição. Note que, nas ondas, há oscilações, ou seja, forças e deslocamentos, de forma semelhante ao que ocorre no trabalho.

Há ainda a condução de calor, que corresponde a um método para transferir energia através de “colisões” microscópicas. É o que ocorre, por exemplo, na extremidade de uma colher em contato com o café quente: lá as moléculas mais agitadas do café (por conta da maior temperatura) colidem com as moléculas da colher, aumentando a agitação delas; essas

moléculas irão colidir com o grupo de moléculas menos agitadas (menor temperatura) que estão a seguir, e assim, sucessivamente. Dessa forma, a energia interna da colher aumenta e se espalha ao longo dela, por conta dessas colisões, essa é a transferência de energia através de calor.

É importante ressaltar que há o costume de chamar de calor a energia transferida através desse processo. Contudo, calor não é uma forma de energia, representando apenas a transferência. Futuramente, durante as aulas sobre termologia, iremos estudar especificamente como ocorre esse tipo de transferência de energia.

Trabalho é um processo de transferência/transformação de energia. Trabalho não é energia, mas podemos chamar de trabalho o valor da energia transferida/transformada nesse tipo de processo.

Calor é um processo de transferência de energia. Calor não é energia, mas podemos chamar de calor o valor da energia transferida nesse tipo de processo.

Na transferência de matéria, também é possível transferir energia. Isso ocorre porque, quando removemos matéria através da fronteira de um sistema, para sua vizinhança, transportamos também a energia associada a essa matéria.

Radiação eletromagnética corresponde a uma forma de propagação da energia na forma de ondas de campo elétrico e magnético. Exemplos disso são a luz, as ondas de rádio, as micro-ondas.

8. CONSOLIDANDO OS CONCEITOS

1. Construa um mapa conceitual relacionando os conceitos estudados. Procure identificar quais são os conceitos mais gerais e quais são os mais específicos. Depois busque relacioná-los.

A elaboração desse mapa conceitual pode ser feito em grupo, onde os componentes irão negociar os significados envolvidos, construindo as relações através das discussões. A análise do professor deve buscar ressaltar as relações corretas e os exemplos citados nos mapas. Por outro lado, deve-se negociar as proposições não coerentes com a concepção científica, buscando uma reinterpretação. Tal atividade pode ser feita através da exposição dos mapas elaborados à turma.

2. Interprete as seguintes frases, retiradas de diversos meios de comunicação, à luz das quatro características da energia: conservação, transferência, transformação e degradação:

2.1 “A bateria de um carro possui energia química que aciona o motor do carro.”. Segundo esse texto, a energia aciona o motor do carro. Está correto o uso do conceito energia como causa do movimento das coisas? Por quê? Como reinterpretar essa afirmação segundo as quatro características da energia?

Comentário: é importante ressaltar que a energia não é um agente, mas uma propriedade relacionada ao estado dos sistemas. Assim, pode-se reler o texto indicando que, para transformar o estado do motor do carro, fazendo-o apresentar energia de movimento, é necessário que seja transferida essa energia para ele; assim, transforma-se a energia química presente na bateria em energia elétrica (associada à corrente elétrica), que é transferida para o motor, manifestando-se como energia cinética. Nesse processo, houve transformação (química em elétrica, elétrica em mecânica) e transporte (da bateria para o motor), mas o valor total da energia permaneceu constante. Por outro lado, a energia se degradou porque, após essas transformações, ela não será mais capaz de retornar ao estado inicial espontaneamente.

2.2 “A geladeira, o telefone, a televisão, o aparelho de som, o chuveiro elétrico, a energia elétrica que alimenta todos esses aparelhos, tudo isso aumenta o conforto dos nossos lares e faz com que olhemos o mundo de maneira diferente.” (BARROS & PAULINO, 2002, p.61). Segundo esse texto, a energia parece alimentar os aparelhos. Há algo de errado nessa afirmação, segundo o que estudamos?

Comentário: A energia não é agente transformador, mas é uma propriedade relacionada ao estado dos objetos. Assim, para que ocorram as transformações presentes nos objetos citados, deverá haver transformações na propriedade energia deles. Nessas transformações, a energia se degrada e, para que continue havendo

o funcionamento, são necessárias transferências de energia entre a rede elétrica (tomadas) e os equipamentos.

- 2.3 “... sempre que uma corrente elétrica é estabelecida num circuito, ele aquece. (...) além do aquecimento por causa do atrito entre as engrenagens em movimento, boa parte do calor gerado se deve ao efeito Joule.” (BARROS & PAULINO, 2002, p.228). De acordo com o que estudamos sobre o calor, qual o sentido da expressão “calor gerado” no contexto das quatro características da energia estudadas?

Comentário: Calor é um processo de transferência de energia e não uma modalidade de energia associada a um corpo. Portanto, seria mais conveniente dizer que outras formas de energia são convertidas em energia térmica, aquecendo alguns objetos. Devido ao aumento da temperatura desses objetos, é possível ocorrer transferência de energia na modalidade calor dele para a vizinhança.

- 2.4 “Para manter nosso corpo aquecido ou simplesmente para sobreviver, precisamos de energia.” (BARROS & PAULINO, 2006, p.8-9). Seria possível reinterpretar essa frase através do que foi estudado sobre energia?

Comentário: A energia não é um agente vital, é apenas uma propriedade, que sempre se conserva, mas que, nas transformações dos sistemas físicos, acaba se degradando. Quando ocorrem as transformações fisiológicas no nosso organismo, e quando transformamos o meio ao nosso redor, há transformações e transferências de energia e também, degradação. Essa degradação diminui a capacidade dessa energia se converter em formas convenientes para nós. Portanto, precisamos “renová-la”, ou seja, precisamos nos alimentar, para reduzir o “grau” de degradação da energia presente em nosso corpo, bem como compensar a energia transferida para o meio que nos circunda (através de calor e de trabalho).

Nas interações com o meio que nos circunda, pelo fato de estarmos a uma temperatura maior, perdemos energia através do processo calor. A fim de não reduzirmos nossa temperatura, precisamos repor essa quantidade de energia, para mantermos nosso estado.

- 2.5 “As usinas hidrelétricas são acionadas pela energia da água”. É correto, de acordo com o que estudamos, considerar a energia como algo que faz as coisas funcionarem? Como interpretar essa afirmação a partir dos princípios estudados?

Energia como causa das transformações corresponde a uma concepção alternativa. Uma reinterpretação coerente da afirmação do enunciado seria: na queda da água, transforma-se energia potencial em cinética da água. A água, ao interagir com os mecanismos da usina, realiza trabalho e transfere para eles energia. Essa energia é então transformada em energia elétrica e transferida às residências, ao comércio e à indústria, por exemplo, através da rede de transmissão elétrica.

- 2.6 “Por estar deformada, dizemos que a mola está energizada, tendo armazenada em si energia potencial elástica”. Como interpretar essa afirmação a partir dos princípios estudados?

A deformação da mola implica uma mudança no estado do sistema mola. Essa mudança altera a propriedade energia desse sistema, para um valor maior do que o anterior. Ao retornar à configuração natural, haverá redução da energia potencial elástica, sendo transformada em outras formas de energia ou transferida para outros sistemas.

- 2.7 “Enquanto o carro freia, o atrito gera calor”. Como interpretar essa afirmação a partir dos princípios estudados?

O trabalho realizado pela força de atrito transforma a energia mecânica, organizada, em energia interna (térmica) desorganizada, relacionada ao movimento de agitação das moléculas das superfícies atritadas. Dessa forma, aumentam-se as temperaturas da pista e dos pneus. Assim, a explicação para o aumento da

temperatura dos corpos envolvidos não deve ser feita através do conceito de calor.

Note-se, contudo, que poderá haver transferência de energia através de calor entre essas superfícies e o ar, por exemplo, haja vista elas estarem agora provavelmente a uma maior temperatura que a atmosfera.

Acrescente-se ainda que esse tipo de transformação é irreversível, envolvendo degradação da energia, haja vista ela não poder mais retornar espontaneamente ao estado original.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A organização da exposição proposta neste material buscou diferenciar progressivamente os conceitos, propondo, ao final a reinterpretação de textos que contêm concepções alternativas do conceito energia, com a finalidade de buscar a consolidação para o estudo dos conceitos subordinados, mais específicos, presente nos livros didáticos.

O uso de organizador gráfico ao longo do texto foi evitado para que não influenciasse a elaboração de um mapa conceitual por parte dos alunos ao final do material. Essa construção do mapa é sugerida com as finalidades: de propor uma reflexão metacognitiva, de identificar contradições e incoerências e de possibilitar a negociação de significados. Assim, permite-se avaliar o processo de ensino-aprendizagem, proporcionando-se a reorientação das estratégias ao longo do trabalho em sala de aula, a fim de consolidar os conceitos, fazendo-os manifestarem-se de forma mais próxima às concepções científicas.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AUSUBEL, David P. **Aquisição e retenção de conhecimentos: Uma perspectiva cognitiva.** Lisboa: Plátano, 2003.

BARROS, C. & PAULINO, W. **Física e Química.** 2ª edição. São Paulo: Ática, 2002

DUIT, Reinders; HEAUSLLER, Peter. Learning and Teaching Energy. In: FENSHMAN, P.; GUNSTONE, R.; WHITE, R. (Eds.). **The Content os Science: a Construtivist Approach to its Teaching and Learning.** London: Falmer, 1994. p. 185-200.

FEYNMAN, Richard P. **Física em 12 lições.** Rio de Janeiro: Ediouro, 2006

FEYNMAN, Richard P.; LEIGHTON, Robert B.; SANDS, Matthew. **Feynman Lições de Física.** Porto Alegre: Bookman, v. 1, 2008.

LIJNSE, P. Energy between the life-world of pupils and the world of physics. *Sci. Ed.*, v.74, n.5, p. 571-583, 1990.

NOVAK, Joseph D. **Aprender criar e utilizar o conhecimento.** 1. ed. Lisboa: Plátano, 2000.

NOVAK, Joseph D. **A theory of education.** Ithaca: Cornell University Press, 1977.

NUSSENSVEIG, H. M. **Curso de Física Básica 2: fluidos, oscilações e ondas, calor.** São Paulo: Edgard Blücher, 2002, 4 ed.

PROJECTO Física: unidade 3 – Triunfo da Mecânica. Lisboa: Fundação Calouste, 1980.

SERWAY, Raymond A.; JEWETT JR., John W. **Princípios de Física.** Tradução de André Koch Torres Assis. São Paulo: Cengage Learning, 2012.

ANEXO A – COMO CONSTRUIR UM CÍRCULO DE CONCEITOS

- 1 - Um círculo só pode representar um conceito.
- 2 - Escrever o nome do conceito (e.g., vertebrados) dentro do círculo com letras normais.
- 3 - Para mostrar as relações incluídas (e.g., todos os peixes são vertebrados), desenhar um círculo mais pequeno dentro do maior. Legendar cada círculo com o nome dentro do círculo apropriado.
- 4 - Quando se quer mostrar características comuns entre conceitos (e.g., alguma água contém minerais), desenhar círculos que se sobreponham parcialmente, e dar-lhes um nome apropriado.
- 5 - Os conceitos que se excluem mutuamente devem estar em círculos separados.
- 6 - Limitar os desenhos a cinco círculos num diagrama separado, e não mais. Isto deve-se a limitações da capacidade de trabalho da memória humana. Os círculos podem ser separados, sobrepostos, inclusos. Todos os círculos devem ter nomes.
- 7 - O tamanho relativo dos círculos usados num diagrama pode mostrar o nível de especificidade de cada conceito, ou as quantidades relativas dos exemplos. Os círculos maiores representam os conceitos mais gerais.
- 8 - Um molde psicologicamente dimensionado, com aberturas que parecem ser 2, 3, 4 ou 5 vezes maiores do que um círculo normal, pode ser facilmente construído. Querendo mostrar que a quantidade está a ser representada, coloca-se uma letra "n" minúscula perto de cada rótulo de conceito e inclui-se dentro de um parêntese (n). [...]
- 9 - As relações temporais (tais como as encontradas na História da Biologia) podem ser representadas através de desenhos de círculos aninhados (ou concêntricos), com os conceitos mais antigos a ficarem no centro. Se as relações cronológicas forem mostradas, deve ser incluído um parêntese com um "t", (t).
- 10 - Os diagramas podem ter a forma de um telescópio, de modo a ficarem ligados uns aos outros. Estes diagramas devem ser feitos de maneira a serem lidos da esquerda para a direita. Se se tiver um bocado grande de papel, é possível fazer-se vários graus de telescopia.
- 11 - A maior parte dos diagramas em círculo podem ser melhorados, se forem redenhados de modo a deixar espaço suficiente à volta dos rótulos para dar ao diagrama uma aparência organizada.
- 12 - Para melhor visualizar, compreender e evocar as relações entre conceitos devem ser utilizadas canetas de cores diferentes, marcadores, lápis ou canetas fosforescentes.
- 13 - O espaço vazio (o espaço em branco) à volta dos conceitos incluídos é usado para subentender que existem outros conceitos que não são mostrados. Uma área sombreada ou colorida à volta dos conceitos é usada para indicar que não foram omitidos conceitos importantes.
- 14 - O título que descreve o diagrama deve ser escrito no quadrante superior esquerdo da página, e deve ser escrita uma frase de explicação na área imediatamente abaixo do diagrama. (TROWBRIDGE, WANDERSEE; 2000, p. 114).

ANEXO B – COMO ELABORAR UM DIAGRAMA EM VÊ

1. Escolha um evento de laboratório ou de campo (ou objeto) que seja relativamente simples e para o qual uma ou mais questões-foco possam ser facilmente identificadas. Alternativamente, um trabalho de pesquisa com características semelhantes pode ser usado depois que todos os alunos (e o professor) o tenham lido cuidadosamente.
2. Comece com uma discussão sobre o evento ou objeto que está sendo observado. Assegure-se de que o que é identificado é o evento ou objeto para os quais registros serão feitos. Surpreendentemente, isso às vezes é difícil.
3. Identifique e escreva o(s) melhor(es) enunciado(s) da(s) questão(ões)-foco. Novamente, certifique-se que a(s) questão(ões)-foco se relaciona(m) com o evento ou objeto estudado e com os registros a serem feitos.
4. Discuta como a(s) questão(ões)-foco serve(m) para focalizar nossa atenção em aspectos específicos do evento ou objeto e requer(em) que certos tipos de registros sejam feitos se queremos respondê-la(s). Mostre como uma pergunta diferente sobre o mesmo evento ou objeto implicaria fazer registros distintos (ou com distinto grau de precisão).
5. Discuta a fonte da(s) questão(ões)-foco, ou a escolha do evento ou objeto a ser observado. Ajude os alunos a ver que, em geral, são nossos conceitos, princípios ou teorias que nos levam a escolher o que observar e perguntar.
6. Discuta a validade e fidedignidade dos registros. São eles fatos (isto é, registros válidos e fidedignos)? São nossos conceitos, princípios e teorias, relacionados com nossos mecanismos de fazer registros, que lhes asseguram validade e fidedignidade? Há maneiras de obter registros mais válidos e fidedignos?
7. Discuta como podem ser transformados os registros a fim de responder a(s) questão(ões)-foco. Será que certos gráficos, tabelas ou estatísticas serão transformações úteis?
8. Discuta como nossos conceitos, princípios e teorias dirigem nossas transformações dos registros. A estrutura de qualquer gráfico ou tabela, ou a escolha de certas estatísticas, é influenciada por tais conceitos, princípios e teorias.
9. Discuta a construção de asserções de conhecimento. Ajude os alunos a ver que questões diferentes poderiam levar a fazer registros distintos e fazer outras transformações dos registros. A consequência disso poderia ser um outro conjunto de asserções de conhecimento sobre o evento ou objeto estudado.
10. Discuta as asserções de valor. São enunciados de valor do tipo X é melhor do que Y, ou X é bom, ou deveremos procurar atingir X. Note que as asserções de valor devem derivar das asserções de conhecimento, mas não são a mesma coisa.
11. Mostre como conceitos, princípios e teorias são usados para moldar nossas asserções de conhecimento e podem influenciar nossas asserções de valor.
12. Explore maneiras de como melhorar uma pesquisa examinando qual elemento do Vê parece ser o "elo mais fraco" em nossa cadeia de raciocínio, isto é, na construção de nossas asserções de conhecimento e valor.
13. Ajude os alunos a ver que trabalhamos com uma epistemologia construtivista para construir asserções sobre como vemos o mundo funcionando, não com uma epistemologia empirista ou positivista que provo alguma verdade sobre como o mundo funciona.
14. Ajude os alunos a ver que uma "visão de mundo" é o que motiva e dirige o pesquisador naquilo que ele ou ela escolhe para tentar entender e controlar a energia que dispense nessa tentativa. Cientistas preocupam-se com valores e procuram sempre melhores maneiras de explicar racionalmente como funciona o mundo. Astrólogos, místicos, criacionistas e outros não se engajam no mesmo empreendimento construtivista.
15. Compare, contraste e discuta diagramas V feitos por diferentes alunos para o mesmo evento ou objeto. Discuta como essa variedade ajuda a ilustrar a natureza construtivista do conhecimento. (1994 *apud* MOREIRA 2006, p. 132)