



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
Instituto de Física
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física
Mestrado Profissional em Ensino de Física

**UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE ENERGIA MECÂNICA E SUA
CONSERVAÇÃO ATRAVÉS DO USO DE ANALOGIAS**

Vitor Ribeiro de Souza

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:
Antônio Carlos Fontes dos Santos

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2015

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE ENERGIA MECÂNICA E SUA
CONSERVAÇÃO ATRAVÉS DO USO DE ANALOGIAS

Vitor Ribeiro de Souza

Orientador:

Antônio Carlos Fontes dos Santos

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:

Dr. Antônio Carlos Fontes dos Santos (Presidente)

Dr. Flávio Napole Rodrigues (IFRJ)

Dra. Lúcia Helena Coutinho (IF-UFRJ)

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2015

FICHA CATALOGRÁFICA

Souza, Vitor Ribeiro de

S729p

Uma proposta para o ensino de Energia Mecânica e sua conservação através do uso de analogias / Vitor Ribeiro de Souza. - - Rio de Janeiro, 2015.
80f.

Orientador: Antônio Carlos Fontes dos Santos.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Física, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, 2015.

1. Ensino de Física. 2. Energia Mecânica. 3; Analogias. I. Santos, Antônio Carlos Fontes dos, orient. II. Título.

*Dedicado a todos os profissionais
da área da educação do Brasil*

Agradecimentos

- A Deus pelo dom da vida e por todos os dons que dela advém;
- À minha família, por ser o meu porto seguro;
- A todos os amigos, que direta ou indiretamente ajudaram na confecção deste trabalho;
- Ao meu orientador, Professor Dr. Antônio Carlos Fontes dos Santos, pela partilha dos seus conhecimentos, por seus valiosos conselhos e pela confiança depositada ao longo do trabalho;
- À Banca examinadora, pela disponibilidade para ler e avaliar esta dissertação.

RESUMO

UMA PROPOSTA PARA O ENSINO DE ENERGIA MECÂNICA E SUA CONSERVAÇÃO ATRAVÉS DO USO DE ANALOGIAS

Vitor Ribeiro de Souza

Orientador:

Antônio Carlos Fontes dos Santos

Resumo da Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós- Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Energia e a sua conservação são dois conceitos importantes para a Ciência de modo geral e possuem grandes implicações sociais e econômicas, apesar das dificuldades em defini-los e entendê-los. O primeiro tipo de energia estudado pelos alunos do Ensino Médio costuma ser a Energia Mecânica que, em geral, é tratada de modo quantitativo, através da dedução de equações, sem uma análise conceitual. O objetivo deste trabalho é apresentar uma proposta para o ensino da Energia Mecânica e sua conservação com o uso de três analogias diferentes, de acordo com o método Teaching With Analogies (TWA). O produto de nossa dissertação consiste em um subsídio para uma aula segundo o modelo proposto, com um enfoque conceitual e fundamentação histórica. Acreditamos que este pode ser um caminho para que os estudantes desenvolvam uma aprendizagem dos temas propostos.

Palavras- chave: Ensino de Física, Energia Mecânica, Conservação da Energia Mecânica, Analogias

ABSTRACT

A PROPOSAL FOR THE TEACHIING OF MECHANICAL ENERGY AND ITS CONSERVATION WITH OF ANALOGIES

Vitor Ribeiro de Souza

Supervisor:

Antônio Carlos Fontes dos Santos

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio de Janeiro, in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

Energy and its conservation are two of the most important ideas for the general science and have great social and economic implications, despite of the difficulty in defining and understanding such concepts. The first type of energy studied by high school students is often the Mechanical Energy, which in general is treated quantitatively, by deducting equations without a conceptual analysis. The objective of this dissertation is to propose the teaching of mechanical energy and its conservation by using three different analogies, according to the Teaching With Analogies method (TWA). The aim of our work is to subsidize the teaching of models, with a conceptual approach and historical reasons. We believe that this may be a possible way for the development of a meaningful learning for students. We believe this can be a way for students to develop a learning of the proposed topics.

Keywords: Physics Teaching, Mechanical Energy, Conservation of Mechanical Energy, Analogies

Sumário

CAPÍTULO 1 Introdução	1
CAPÍTULO 2 Por que estudar a Energia Mecânica e a sua Conservação?	4
2.1 O que diz a LDB e os PCNs.....	4
2.2 A importância da Conservação da Energia Mecânica na Física.....	7
2.3 A Energia Mecânica e sua Conservação na sociedade, no meio ambiente e na economia.....	8
CAPÍTULO 3 Um pouco de História: o longo caminho até a Lei de Conservação da Energia Mecânica	10
3.1 Primeiras ideias.....	10
3.2 A Conservação da Energia.....	11
CAPÍTULO 4 A utilização da analogia no decorrer de uma aula de Física	15
4.1 O Conceito.....	15
4.2 Vantagens e dificuldades na utilização de analogias.....	16
4.3 Conclusões a respeito de analogias no ensino de Ciências.....	18
CAPÍTULO 5 Uma proposta para a utilização da analogia no ensino da Energia Mecânica e sua Conservação	19
5.1 O princípio da Conservação da Energia Mecânica.....	19
5.2 Passo 1 do Método TWA – Introdução ao Conceito.....	20
5.3 Passo 2 do Método TWA – Lembrar o análogo.....	26
5.3.1: A substância que flui.....	26
5.3.2: O baralho.....	30
5.3.3: Dinheiro em um cofre.....	30
5.4 Passo 3 do Método TWA - Identificar as características do conceito alvo e dos análogos.....	31
5.5 Passo 4 do Método TWA - Identificar as características relevantes entre os dois domínios e conectar (mapear) as similaridades entre o alvo e os análogos...	32
5.6 - Passo 5 do Método TWA - Indicar onde a analogia falha.....	34
5.7 - Passo 6 do Método TWA - Traçar as conclusões sobre o conceito alvo...	36
5.8 – Análise.....	36
CAPÍTULO 6 Conclusões	37

APÊNDICE A – Produto.....	39
APÊNDICE B – Sugestão de um guia atividades para uma aula sobre Energia Mecânica e sua Conservação utilizando analogias.....	57
APÊNDICE C – Análise de Livros Didáticos de Física.....	63
BIBLIOGRAFIA.....	69

Capítulo 1

Introdução

O conceito de Energia é um dos mais fundamentais para a ciência e traz grandes implicações sociais e econômicas. Quem nunca ouviu falar em crise energética? Habitualmente, este é um dos temas mais recorrentes no ensino de Física no Ensino Médio e Fundamental: está presente em Dinâmica, Termodinâmica, Eletricidade, Física Moderna, etc.

O estudo da energia costuma ser iniciado pela Energia Mecânica. Infelizmente, o conceito de energia e sua conservação é apresentado de forma muito quantitativa, onde o enfoque conceitual fica distante, prejudicando seu entendimento. O que percebemos é que há um excesso de rigor matemático, com situações que não fazem parte do cotidiano dos estudantes e que objetivam apenas o caráter numérico da energia, quase sempre sem uma análise qualitativa, conceitual. Muitos livros didáticos utilizados no Ensino Médio reforçam esta ideia (ver Apêndice C). O Princípio da Conservação da Energia Mecânica se torna apenas um caminho alternativo para se resolver questões de cinemática e dinâmica de modo mais simples.

Apesar deste ser o panorama geral do quadro do ensino da Energia Mecânica, estudos na área do ensino de física tem analisado os principais aspectos de tal ensino e apresentado algumas iniciativas opostas a esta tendência. Neste sentido, podemos citar Lehrman (1973), Solbes e Tarín (1998), Arons (1999), Hecht (2008) e Hewitt (2011). Apresentando propostas de atividades diferenciadas para o ensino da Conservação de Energia temos Brewe (2011), Florczak e Lenz (2012) e Scherr *et al* (2012).

Schroeder (2000) transmite a dificuldade acerca do conceito de Energia em seu livro-texto sobre termodinâmica:

Para esclarecer ainda mais as coisas, eu realmente deveria dar-lhe uma definição precisa de energia. Infelizmente, eu não posso fazer isso. Energia é o mais fundamental conceito dinâmico em toda a física e por esta razão, eu não posso te dizer o que é, em termos de algo mais fundamental.

O autor então identifica as qualidades fundamentais da energia, que incluem a sua conservação, armazenamento, e transferência. É um grande desafio identificar recursos conceituais para a compreensão de Energia. Como Feynman (1970) disse: "Nós não temos nenhuma ideia do que é Energia." Em vez disso, nos concentramos na promoção da compreensão dos alunos sobre as propriedades do conceito de Energia. Neste ponto é que a analogia conceitual de Energia como uma substância, que pode ser armazenada e transferida e os recursos conceituais de acompanhamento podem ser empregados.

Por outro lado, os alunos tendem a não usar Energia ou sua conservação na análise de situações físicas. Driver e Warrington (1985) descobriram que os estudantes utilizam conceitos de Trabalho ou de Energia em menos de 10% de suas respostas às perguntas qualitativas e que os estudantes raramente utilizam Princípios de Conservação de Energia na resolução de problemas quantitativos. Os autores concluíram que a utilização do Princípio da Conservação da Energia não é trivial para estudantes e atribuíram essa dificuldade ao fato de que os alunos não estão sendo ensinados a pensar em Energia como uma quantidade que se conserva.

Assim, neste trabalho propomos uma atividade para o ensino da energia mecânica e sua conservação com o uso de analogias.

Esta dissertação está dividida como se segue: no capítulo 2 tecemos algumas considerações sobre o porquê da escolha da temática da energia e sua conservação, à luz dos documentos oficiais sobre o ensino e da importância desta para a ciência e sociedade de modo geral; no capítulo 3, apresentamos um relato sucinto da história da origem e do desenvolvimento da Lei de Conservação da Energia; no capítulo 4 discutiremos sobre a utilização de analogias para o ensino de Física, apresentando as vantagens, os desafios e o método utilizado na atividade proposta neste trabalho; o capítulo 5 traz a nossa proposta para o ensino de Energia Mecânica e sua conservação com o uso de analogias, com a apresentação de todas as etapas requeridas pelo método utilizado; e a última etapa deste trabalho é a Conclusão, onde trazemos uma análise de tudo que foi pensado e proposto e uma reflexão sobre a adequação e possível utilização do método e da atividade sugerida e da importância do mesmo para o ensino de Física.

No apêndice A é apresentada como produto desta dissertação uma sugestão de aula com a utilização de analogias, de acordo com os passos do método proposto. No apêndice B apresentamos um guia de atividades para uma aula sobre Energia Mecânica e sua Conservação, segundo o método TWA e utilizando a analogia do baralho. No apêndice C apresentamos uma análise de sete livros didáticos de Física, amplamente utilizados por professores, em relação à forma de abordagem do tema da Energia e sua conservação.

Capítulo 2

Por que estudar a Energia Mecânica e a sua Conservação?

2.1 O que diz a LDB e os PCN's

A temática da Energia é muito abrangente. Na escola, possui um caráter amplo, multidisciplinar. Diferentes aspectos desta temática podem ser explorados por diferentes disciplinas, em diversos níveis, no Ensino Fundamental e Médio. Como a nossa proposta é voltada para o ensino da Energia Mecânica e sua conservação, um conteúdo trabalhado tradicionalmente no Ensino Médio, nossa análise à luz dos documentos oficiais será ancorada nesta etapa de escolaridade.

O Ensino Médio no Brasil sempre foi carente de identidade. Desde a época do Império, cada documento que era lançado trazia uma nova abordagem e função para o Ensino Médio: complementação de estudos, preparação para o Ensino Superior, preparação para o mercado de trabalho e etc. A Lei de Diretrizes e Bases da Educação de 1996 (LDB/96) é o documento oficial, de caráter geral, mais recente a discorrer sobre as finalidades do Ensino Médio. Em seus artigos 21 e 22, a LDB/96 tenta buscar uma identidade para o Ensino Médio, ao colocá-lo como participante da Educação Básica e estabelecer:

Art. 22. A educação básica tem por finalidades desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores.

Assim, o exercício da cidadania passa a ser o objetivo central dos conhecimentos adquiridos no Ensino Médio, juntamente com a possibilidade de continuar os estudos ou se inserir no mundo do trabalho. Assim, o antigo caráter propedêutico dá lugar a um ensino que priorize a formação para a vida em sociedade. Em relação ao ensino de Física, atividades centradas em memorização de fórmulas e resolução de problemas deixam de ser as principais formas de trabalhar os conteúdos. Entender os conceitos e relacioná-los com a vida, com o

cotidiano dos estudantes passou a ser uma das bandeiras do ensino de Física, diante da nova realidade da LDB/96.

Para orientar e organizar os aspectos pedagógicos e curriculares das demandas surgidas com a LDB/96, em 1998 foram instituídas as Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (DCNEM). Já em seu 5º artigo, as DCNEM explicitam que o currículo escolar deve ser organizado de modo que possibilite a adoção “de metodologias de ensino diversificadas, que estimulem a reconstrução do conhecimento e mobilizem o raciocínio, a experimentação, a solução de problemas e outras competências cognitivas superiores”. No artigo 10, as DCNEM instituem que “a base nacional comum dos currículos do ensino médio deverá ser organizada em áreas de conhecimento”. A Física está inserida na área das Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, objetivando a constituição de habilidades e competências que permitam ao educando, por exemplo:

- Explicar o funcionamento do mundo natural, planejar, executar e avaliar ações de intervenção na realidade natural.
- Entender o impacto das tecnologias associadas às ciências naturais na sua vida pessoal, nos processos de produção, no desenvolvimento do conhecimento e na vida social.
- Aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais na escola, no trabalho e em outros contextos relevantes para sua vida.

Podemos observar que as DCNEM, em comunhão com as propostas da LDB, trazem novos desafios e perspectivas ao ensino de Física, mais voltados à realidade dos alunos.

A interpretação dos fundamentos das DCNEM pode ser encontrada nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs e PCNs+). Os PCNs e PCNs+ apresentam as competências necessárias e requeridas dos alunos para a área das Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias e para a Física, especificamente, articuladas entre os três grandes grupos: representação e comunicação, investigação e compreensão e contextualização sócio-cultural. O objetivo é superar os métodos tradicionais, que tratam a física de maneira

desarticulada da vida do aluno, priorizando a memorização e a resolução mecânica de exercícios. Ao contrário, pretende-se que o ensino de física contribua na construção de uma cultura científica dos alunos, para que entendam a relação do homem com a natureza. Assim, os PCNs e PCNs+ apresentam alguns temas estruturadores, recomendados diante das novas perspectivas trazidas pela LDB/96 e as DCNEMs:

- Movimentos: variações e conservações
- Calor, Ambiente, Fontes e Usos de Energia
- Equipamentos Eletromagnéticos e Telecomunicações
- Som, Imagem e Informação
- Matéria e Radiação
- Universo, Terra e Vida

No segundo tópico, a temática da energia aparece de maneira explícita, relacionada aos seus usos e a conteúdos de física térmica. Na realidade, por sua importância e abrangência para a Ciência de modo geral e para a Física em particular, podemos dizer que a temática da Energia está presente, de maneira indireta em todos os tópicos.

Nossa proposta de abordagem para a temática da Energia está conectada ao primeiro tópico, que diz respeito a movimentos, conservações e variações.

Os PCNs e PCNs+ de Física propõem, através dos temas geradores para o ensino de Física (de acordo com a LDB/96 e com as DCNEMs) algumas competências e habilidades como: identificar as formas e tipos de Energia, as características de cada tipo, os modos de transformação e transferência, os usos que podem ser dados a esta Energia e as implicações sociais e econômicas destes usos.

A temática da Energia, por sua importância e complexidade deve ter seu ensino centrado em métodos e abordagens de acordo com as ideias de habilidades e competências, enfoque conceitual, contextualização com o cotidiano do aluno etc. Assim, podemos perceber claramente que o estudo da Energia Mecânica e sua conservação vem de encontro ao novo “espírito” trazido pelos documentos oficiais para o ensino de física e que se faz presente diante da necessidade da formação do aluno para a cidadania.

2.2 A importância da Conservação da Energia na Física

O conceito de energia é um dos mais centrais das ciências naturais. Ele é empregado em praticamente todas as áreas das ciências naturais, como a física, a química e a biologia. Para a Física, em particular, possui uma importância fundamental: grande parte dos modelos e teorias da física são fundamentados nesse conceito.

Sempre que podemos observar alguma regularidade na natureza, buscamos expressar estas regularidades, de maneira científica, através do estabelecimento de leis científicas. Quando dois sistemas físicos interagem entre si, mudanças nos dois sistemas ocorrem. A interação entre sistemas físicos naturais acontece de acordo com resultados empíricos, de forma muito regular, onde uma determinada mudança em um dos sistemas sempre acompanha uma certa mudança no outro sistema, ainda que a natureza destas mudanças sejam completamente diferentes. No que se refere à forma de interação entre sistemas físicos, na busca da correlação entre as mudanças observadas nos sistemas viu-se a necessidade de estabelecer-se, não apenas uma, mas duas grandezas físicas primárias independentes, cada qual associada à uma lei de conservação própria. Essas leis, inerentes a todos os sistemas físicos, quando combinadas permitem a correta descrição dos mesmos. Estas grandezas físicas são a Energia e o Momento, e as leis científicas que as governam denominam-se respectivamente Lei da Conservação da Energia e Lei da Conservação do Momento Linear. O conceito científico de Energia só pode ser entendido mediante a análise de dois sistemas físicos em interação.

A relação existente entre a energia e o momento de um dado ente físico é de vital importância no contexto de qualquer teoria para a dinâmica da matéria e Energia (Mecânica Clássica, Relatividade, Mecânica Quântica, etc.). Em Mecânica Clássica, por exemplo, para partículas massivas, a Energia depende do quadrado do Momento. Para fótons a Energia mostra-se diretamente proporcional ao Momento por este transportado. Grandezas físicas importantes são definidas a partir da

relação entre as grandezas apresentadas e o modo como se conservam nos fenômenos físicos.

De modo geral, em todos os modelos dinâmicos o Momento e a Energia são definidos de forma a satisfazerem leis gerais de conservação. As transformações observadas em um sistema têm naturezas as mais diversas: de uma simples mudança nas velocidades das partículas do sistema até um rearranjo completo das posições espaciais de partículas interagentes. Para cada transformação define-se a forma de se determinar o valor da grandeza Energia a ela associada, de forma que as mudanças observadas sejam descritas por uma variação de Energia igual ao determinado para as variações de Energia associadas a todas as outras mudanças relacionadas. Tal definição é realizada de forma a garantir-se que a Energia total dos sistemas em interação sempre se conserve.

Outro aspecto importante em relação à energia é o fato de ser uma grandeza escalar, enquanto que o momento é uma grandeza vetorial. Este aspecto torna mais simples e usual a análise da conservação da energia no estudo de fenômenos físicos que envolvam mudanças ou transformações nos sistemas.

Assim, vemos que muitas teorias e ideias só podem ser comprovadas ou explicadas à luz do Princípio da Conservação da Energia. Deste modo podemos perceber que o estudo da temática da energia e da sua conservação possui uma importância muito grande para a Física de modo geral e que nossa proposta de ensino sobre esta temática se mostra de acordo e se justifica diante desta importância.

2.3 A Energia e sua Conservação na sociedade, no meio ambiente e na economia

Quando pensamos em Energia, no contexto da sociedade humana, geralmente estamos nos referindo a recursos energéticos, e substâncias como combustíveis, derivados do petróleo e eletricidade em geral. Estas são fontes de Energia utilizável, que podem ser facilmente transformadas em outros tipos de fontes de Energia que podem servir a um objetivo particularmente útil. A diferença em relação à Energia nas ciências naturais pode causar alguma confusão, uma vez

que os recursos energéticos não se conservam na natureza do mesmo modo que a energia é conservada no contexto da física. O conteúdo real de energia é sempre conservado, mas quando é convertido em calor, por exemplo, habitualmente torna-se menos útil para a sociedade, parecendo, portanto, que foi gasto.

A utilização de energia tem sido crucial para o desenvolvimento da sociedade humana ao ajudá-la a controlar e a adaptar-se ao meio ambiente. Gerir o uso da energia é inevitável em qualquer sociedade funcional. No mundo industrializado o desenvolvimento de recursos energéticos tem se tornado essencial à agricultura, transportes, recolha de desperdícios, tecnologia da informação, telecomunicações que são hoje pré-requisitos de uma sociedade desenvolvida. O uso crescente de energia desde a Revolução Industrial trouxe consigo um número de problemas sérios, alguns dos quais, como o aquecimento global, apresentam riscos potencialmente graves para o mundo.

Em relação a expressões populares como crise energética e a necessidade de conservar Energia a utilização do termo Energia pode ser vista como uma contradição à Lei da Conservação de Energia das ciências naturais. As práticas de eficiência energética exigem um esforço direcionado à conservação dos recursos energéticos disponíveis.

O consumo de Energia no mundo, em sua grande maioria, ainda se restringe às tradicionais fontes de energias como petróleo, carvão e gás natural, que são poluentes e não-renováveis. Muito se discute a respeito do tempo da duração das fontes destes combustíveis fósseis, enquanto as fontes de energia mais limpas, em relação às outras, e renováveis como biomassa, energia eólica e energia maremotriz, vem ganhando cada vez mais espaço. Sanções como as do Protocolo de Quioto que cobra de países industriais um nível menor de poluentes (CO_2) expelidos para a atmosfera, além de incentivar (financeiramente) os países que já o fazem tornam-se um incentivo às pesquisas de fontes de energias alternativas, econômicas e saudáveis para o meio ambiente.

CAPÍTULO 3

Um pouco de História: o longo caminho até a Lei de Conservação da Energia

Para que possamos entender uma ideia, explicar um fenômeno ou compreender um determinado mecanismo, existe todo um processo, com várias etapas, com erros, acertos, avanços e retrocessos. O saber científico é algo que demanda tempo e trabalho árduo de pesquisa, de várias pessoas, para ser construído. Entretanto, o modo como transmitimos este saber, não transparece este processo de fazer ciência. Muitos conceitos, que por vezes demoraram séculos para serem compreendidos, são apresentados como uma simples equação, que surge como fruto do acaso, ou como algo que foi descoberto em um lampejo de genialidade de um cientista isolado em um laboratório. Acreditamos que para um verdadeiro ensino de Física, é necessário desmistificar esta imagem da ciência, focando a aprendizagem no processo de construção de conceitos. Para tal objetivo, o ensino através do enfoque histórico é fundamental. No presente capítulo, vindo de encontro a esta necessidade, apresentamos um relato histórico sucinto do longo processo de descoberta e compreensão do Princípio da Conservação da Energia.

3.1 Primeiras ideias

Energia, do grego, *enérgeia*, significa trabalho. A palavra energia apareceu pela primeira vez em 1807, sugerida por Thomas Young (1773-1829). Ao adotar este termo, Young fazia referência ao produto $m.v^2$ (“vis-viva”), que estava associado ao que ele acreditava ser a energia: a capacidade para realizar um trabalho.

Antes de 1800 o conceito de força (“vis”) possuía um sentido bastante abrangente, adaptando-se a diferentes tipos de fenômenos: elétricos, magnéticos, gravitacionais. Apesar disto, ainda não existiam muitos estudos voltados a encontrar aproximações entre estas diferentes manifestações.

Podemos encontrar uma ideia de conversão e conservação entre o que hoje denominamos de energia cinética e energia potencial na obra de Galileu Galilei

(1564-1642). Ao afirmar que a velocidade máxima adquirida por um corpo que cai, partindo do repouso, na ausência de atrito, é capaz apenas de elevá-lo à altura inicial, nunca ultrapassando esta, Galileu nos dá pistas para entender tais processos relacionados aos movimentos. Outro exemplo foi a longa controvérsia entre os seguidores de René Descartes (1596-1650) e de Gottfried Leibniz (1646-1716) em relação à tentativa de se medir o movimento de um corpo e à quantidade conservada no processo, que em termos modernos, seria o momento ($m.v$), segundo Descartes e energia cinética (na verdade, o produto $m.v^2$, “vis-viva”) de acordo com Leibniz.

Apenas no início do século XIX, o termo energia se sobrepôs a termos como “calórico” e “vis-viva”. Em 1853, o termo foi adotado pelo físico escocês e engenheiro William Rankine (1820-1872), que utilizou o termo “energia potencial” como o diferente de “energia atual” (que posteriormente seria denominada “energia cinética”). Com o seu sentido moderno, o termo entrou em uso geral apenas a partir de 1870.

Na época, a concepção de energia foi o centro de uma revolução no pensamento científico europeu, pois estavam ligadas a ela as condições para uma nova visão da natureza, uma visão que se ancorava no Princípio da Conservação da Energia (Kuhn, 1977).

3.2 A Conservação da Energia

A atual concepção de energia possui sua base conceitual fortemente alicerçada no princípio de sua conservação. Segundo Kuhn (1977) o processo de elaboração do princípio de conservação de energia, possui dois momentos fundamentais.

- 1) De 1800 até 1842: envolve a investigação de uma rede de conexões entre as várias “forças” e os processos de conversão entre elas: os fenômenos físicos entre 1837 e 1844 são descritos por vários pesquisadores da época como sendo resultado da manifestação de uma única força que poderia aparecer sob várias formas: elétrica, térmica, dinâmica, mas que nunca poderia ser criada e nem destruída. Isto pode ser exemplificado através de citações de Kuhn (1977):

Não podemos dizer se alguma [destas forças] é a causa das outras, mas apenas que todas estão conexas e se devem a uma causa comum.

A posição que procuro estabelecer neste ensaio é que [cada um] dos vários agentes imponderáveis ...isto é, calor, luz, eletricidade, magnetismo, afinidade química e movimento, podem, enquanto força, produzir ou converter-se nas outras.

A ideia de conversão entre as forças ganhava cada vez mais destaque, entretanto, ainda não se falava em “conservação” destas forças. Para Kuhn (1977):

Esta dita força é a que foi mais tarde conhecida pelos cientistas como energia. A história da ciência não oferece nenhum exemplo mais marcante de fenômeno conhecido como descoberta simultânea.

2) Entre 1842 e 1847, ocorre a descoberta simultânea do princípio de conservação:

Entre 1842 e 1847, a hipótese da conservação da energia foi publicamente anunciada por quatro cientistas europeus amplamente dispersos – Mayer, Joule, Colding e Helmholtz -, todos, exceto o último, trabalhando em completa ignorância dos outros (Kuhn, 1977).

Apesar das revelações destes cientistas terem sido feitas em tempo diferentes e de que o que foi dito nelas não seja exatamente a mesma coisa, elas são consideradas como uma descoberta simultânea (Kuhn, 1977). Se levarmos em consideração os resultados dos trabalhos destes pesquisadores percebemos que todos estavam relacionados a um mesmo aspecto da natureza, descoberto de forma independente, porém em um mesmo contexto histórico.

Assim, a grande contribuição destes pesquisadores foi uma visão unificada, da "...emergência rápida e, muitas vezes, desordenada dos elementos experimentais e conceituais a partir dos quais esta teoria em breve iria se constituir" (Kuhn, 1977).

Segundo Kuhn, três fatores contribuíram para a descoberta da conservação da Energia

1º) Disponibilidade dos processos de conversão: Muitos processos de conversão entre as diferentes formas de Energia eram bastante conhecidos até meados do século XIX (ver Tabela 3.1).

PESQUISADOR	DISPOSITIVO (ou processo)	CONVERSÃO
Watt (1736-1819)	Máquina térmica	Energia térmica em cinética
Volta (1745-1827)	Pilha	Energia química em elétrica
Oersted (1777- 1851)	Eletroímã	Energia elétrica em magnética
Seebeck (1770- 1831)	Termopar	Energia térmica em elétrica
Faraday (1791- 1867)	Indução eletromagnética	Energia magnética em elétrica
Joule (1818- 1889)	Efeito joule	Energia elétrica em térmica

Tabela 3.1: processos de conversão e tipos de energia envolvidos nos mesmos

2º) Preocupação com motores: O fato de motores serem dispositivos de conversão e de permitirem comparações entre os diferentes tipos (elétricos ou térmicos, por exemplo) apontava para a possibilidade de quantificação do valor da conservação das “forças”. De modo especial, a conversão de calor em trabalho recebia uma atenção especial, pois envolviam a questão da melhora do rendimento desta conversão e conseqüentemente o aumento da produção de trabalho útil. O que se buscava na época era estabelecer um equivalente mecânico do calor. Em 1838, James Prescott Joule (1818-1889) estava preocupado com o funcionamento de motores elétricos. Entre 1840 e 1843 Joule realizou diversos estudos com este tipo de motor e com máquinas a vapor, a fim de estabelecer comparações em relação às diferentes formas de produção de movimento. A partir de 1843 ele foca as suas pesquisas na questão das transformações entre os diferentes tipos de força (elétrica, térmica, mecânica), conseguindo descobrir a equivalência entre trabalho e calor. Em 1849 Joule publica o resultado dos seus estudos, afirmando ser o calor uma forma de “força” e fornecendo o valor para o seu equivalente mecânico: $1\text{cal} = 4,15\text{J}$. Sobre a importância do trabalho de Joule ao fazer uma integração entre as diversas concepções dos diferentes processos de conversão, Kuhn afirma:

Na medida que o fez, o seu trabalho foi cada vez mais associado ao dos outros pioneiros e só quando muitos desses laços apareceram é que a sua descoberta se assemelhou à conservação da energia (Kuhn, 1977).

3º) Filosofia da Natureza (Nathurphilosophen): A Nathurphilosophen era uma corrente filosófica que acreditava na existência de um princípio unificador em todos os fenômenos naturais, como se a ciência fosse um grande organismo onde as diferentes partes se conectam de alguma forma em uma unidade. Esta corrente filosófica teve grande influência principalmente entre os cientistas formados dentro da cultura alemã. Esta influência levou, algumas vezes, à conclusões que se apoiavam mais em especulações metafísicas do que em deduções matemáticas ou experimentações.

A ocorrência persistente de saltos mentais como estes sugere que muitos dos descobridores da conservação da energia estavam profundamente predispostos a ver uma única força indestrutível na raiz de todos os fenômenos naturais (Kuhn, 1977).

CAPÍTULO 4

A utilização da analogia no decorrer de uma aula de Física

4.1 O Conceito

Antes de se construir uma teoria, frequentemente percebe-se que o sistema que está sendo estudado funciona de um modo similar a um outro sistema com o qual ele é mais familiar, ou com o qual ele pode realizar experimentos mais facilmente. Este outro sistema é chamado de sistema análogo ao sistema em consideração.

Uma analogia, por sua vez, pode ser definida como uma similaridade entre conceitos, ou seja, uma comparação explícita entre objetos –um conhecido e outro desconhecido- de dois conjuntos diferentes de maneira que possamos, a partir do objeto conhecido, imaginar o desconhecido. A utilização de analogias é algo comum e instintivo ao ser humano quando quer comunicar uma ideia.

Diversos autores têm acentuado a importância da utilização da analogia no ensino de ciências e, de modo mais específico, no ensino de Física. O uso de tal método se destaca especialmente quando é necessária a abordagem de conceitos mais abstratos. Destacaremos a valiosa contribuição que esta ferramenta proporciona e alguns obstáculos associados à utilização deste recurso nas aulas de ciências.

Grande parte dos professores faz uso de analogias em suas aulas sem ao menos perceberem isto. É necessário ressaltar que a analogia não pressupõe a necessidade de existência de uma igualdade simétrica entre os dois assuntos comparados. A exploração das analogias no ensino de Física facilita o aprendizado dos alunos, pois fornecem um subsídio de um significativo *modelo mental* [Glynn,2007] através da correlação entre o familiar e o desconhecido, o qual pode ser um sistema com partes que interagem entre si, sendo mais difícil a sua compreensão/imaginação por parte dos estudantes. Com o desenvolvimento cognitivo dos alunos e de sua aprendizagem, estas simples comparações entre

objetos poderão evoluir propiciando os alunos a adotar outros modelos mentais ainda mais significativos. É comum a utilização da palavra “analogia” como um sinônimo de termos como “exemplo” ou “metáfora”. Acreditamos que é necessário, a título de esclarecimento, fazermos a distinção entre termos. Uma metáfora consiste no emprego de uma palavra ou expressão em sentido diferente do próprio, no lugar de outra, em virtude de certas semelhanças entre estas. Duarte (2005) e Bozelli (2010) distinguem analogia de metáfora da seguinte forma: a metáfora é uma comparação implícita enquanto a analogia é uma comparação explícita e mais elaborada. Nas analogias, a transposição de significados de um domínio para outro está fortemente conectada às relações comparativas entre tais domínios, enquanto nas metáforas, está mais relacionada aos atributos. Um exemplo pode ser entendido como algo que pode ou deve servir para modelo ou para ser copiado. Um exemplo é um caso específico direto de um fenômeno; não há comparações entre dois domínios diferentes. Os exemplos buscam propósitos semelhantes aos das analogias no processo de ensino-aprendizagem, que é estabelecer relações entre o conhecido e o desconhecido, entretanto, um exemplo é um caso particular de constatação de uma certa situação, o que é diferente de uma analogia.

Assim, o modelo análogo para um sistema físico A é um outro sistema físico B, cujas partes e funções fazem correspondência com as partes e funções do sistema A.

4.2 Vantagens e dificuldades na utilização de analogias

São várias as contribuições que a utilização de analogias no ensino de Física pode proporcionar:

- Os alunos podem, através da organização do pensamento análogo, desenvolver habilidades cognitivas como a criatividade;
- Os professores podem utilizá-las como ferramenta para avaliação dos alunos;
- Propiciam aos professores a facilitar a compreensão de evoluções conceituais;
- Facilita a compreensão de conceitos abstratos, tornando o conhecimento científico mais acessível aos alunos.

Ainda assim, podemos enumerar alguns obstáculos que podem ser encontrados pelos profissionais de educação ao explorar tal recurso em suas aulas:

- A analogia pode ser confundida com o conceito em si, ou seja, apenas os detalhes mais marcantes podem ficar retidos nos alunos de forma que não se atinja o fim desejado;
- Os alunos podem negligenciar suas limitações, extrapolando conceitos;
- A analogia pode não ficar clara para os alunos, de maneira que não fique visível o porquê de sua utilização;
- Os alunos podem não ter um pensamento análogo, dificultando o entendimento da mesma.

O emprego das analogias no cotidiano da sala de aula não pode ser instintivo, mas baseado em um processo criterioso que estabeleça previamente quais práticas serão adotadas. Assim, alguns modelos baseados neste mecanismo de ensino foram criados a fim de proporcionar ao professor uma estratégia a seguir quando disposto a trabalhar com a utilização de analogias. Dentre estes modelos, destacamos dois: modelo de ensino baseado no aluno e modelo de ensino baseado no professor. Iremos nos aprofundar no modelo de ensino baseado no professor, não podendo deixar de mencionar, contudo, o modelo centrado no aluno.

O primeiro consiste em estimular os próprios alunos a criar e avaliar suas próprias analogias acerca do tema abordado, em detrimento de uma postura passiva em que estes seriam apenas ouvintes das analogias oriundas do professor. Este modelo, apesar de possuir vantagens, dispõe de uma dificuldade cuja superação seja incerta: os alunos se deparam com suas próprias limitações na hora de criar as analogias, seja pela falta de conhecimento do objeto desconhecido ou apenas pela dificuldade em selecionar um objeto conhecido que possa ser usado como referência.

Iremos abordar, finalmente, o modelo centrado no professor nos aprofundando no trabalho “The Teaching-With-Analogies Model” [Glynn, 2007] ou, abreviadamente, TWA.

O autor chama a atenção, primeiramente, ao fato de que nem todos os alunos podem ter conhecimento acerca do domínio utilizado para explicar a analogia. Assim, o mesmo esclarece que deva ser feita uma confirmação de que todos os

alunos estejam familiarizados com o conceito análogo. Glynn defende, também, que o professor deva explicar aos alunos o que é, e no que consiste, uma analogia de modo que todos saibam que é apenas uma comparação feita para facilitar o processo de aprendizagem e o mesmo oferece seis etapas para utilizá-la:

- 1) Introduzir o conceito-alvo;
- 2) Lembrar aos alunos o que sabem sobre o conceito análogo;
- 3) Identificar as características relevantes entre os dois domínios;
- 4) Conectar (mapear) as similaridades entre os dois objetos;
- 5) Indicar onde a analogia falha;
- 6) Traçar as conclusões sobre o conceito alvo.

4.3 Conclusões a respeito de analogias no ensino de Ciências

Uma das implicações do modelo desenvolvido por Glynn é o fato de os professores terem de selecionar objetos análogos que compartilhem muitas características semelhantes com o conceito alvo. Quanto mais características compartilhadas, mais bem sucedida será a analogia. Outra implicação do TWA é que os professores devem verificar com cuidado se os alunos não cometeram nenhum equívoco durante o processo. Estes equívocos se tornam mais evidentes nas etapas quatro e cinco, onde verificamos as características que não são compartilhadas entre o objeto análogo e o conceito alvo.

É importante ressaltar que a analogia funciona como um “modelo mental” conectando um conhecimento anterior com um novo conhecimento, ao serem abordados novos conceitos abstratos. O método de Glynn nos serve como guia para utilizá-la de modo que os alunos possam compreender conceitos chave em ciência. Já que as analogias estão presentes nos livros usados pelos estudantes, estão presentes no cotidiano dos estudantes e de maneira inconsciente na falar dos professores, então elas deveriam ser exploradas no ensino de modo organizado e consciente, tornando o conceito-alvo familiar e significativo aos alunos.

CAPÍTULO 5

Uma proposta para a utilização da analogia no ensino da Energia Mecânica e sua Conservação

5.1 O princípio da Conservação da Energia Mecânica

Habitualmente costuma-se definir Energia como a capacidade de realizar trabalho. Contudo sabemos que esta não é uma boa definição. Estudos como os de Lehrman (1973), nos alertam para as limitações de tal definição e a real importância de considerar o Princípio da Conservação da Energia ao tentar elaborar uma definição de Energia. Quando analisamos um sistema onde a Energia está relacionada à posição ou ao movimento de algo, estamos falando em Energia Mecânica. Normalmente, no ensino de Física, a Energia Mecânica é a primeira forma de Energia com a qual os estudantes têm contato. Entender as principais características desta Energia é fundamental para a compreensão de outros tipos de Energia e de outros fenômenos físicos que serão estudados posteriormente. Dentre estas características, a mais importante é o Princípio de Conservação da Energia. Fundamental para a análise de fenômenos físicos, químicos, biológicos e relacionado ao próprio conceito do que é Energia, seu perfeito entendimento é primordial para a aprendizagem em Física.

Por seu caráter abstrato, entender a energia mecânica e sua conservação, não é algo tão simples. A proposta que apresentamos a seguir tem o objetivo de vir de encontro a esta necessidade, utilizando analogias que auxiliem o aluno a perceber de maneira concreta, prática, trazendo para a sua realidade uma ideia abstrata e conceitual. Seguindo os passos do modelo Teaching With Analogies (TWA), nossa proposta é levar o aluno a compreender as características da energia mecânica e de sua conservação e construir uma ideia própria sobre o conceito.

Nossa proposta de estudo está ancorada em uma abordagem conceitual para o ensino da Energia Mecânica e de sua Conservação. Por este motivo, não estamos dando ênfase a outros aspectos e características relacionadas ao tema como por exemplo, a relação entre Trabalho e Energia, comumente explicitados por teoremas e equações.

5.2 Passo 1 do Método TWA – Introdução ao Conceito

Energia é um conceito crítico em ciências, mas é frequentemente uma fonte de confusão para os alunos se a apresentação não é cuidadosamente realizada pelo professor ou livro-texto [Jewett, 2008]. Energia é um conceito que, de certa forma, conecta toda a Física. A transferência e a transformação de Energia são os pilares de todos os processos que ocorrem em física, química e biologia. Ao introduzirmos o conceito de energia e sua conservação é importante discutir a sua natureza global.

Ao contrário do que é dito em linguagem cotidiana, não vemos nem sentimos a Energia. Podemos sim medir e às vezes sentir certos parâmetros que são relacionados à quantidade conhecida como Energia: massa, carga, velocidade, etc. A Energia é determinada pela combinação destes parâmetros de acordo com conjunto específico de expressões. Inicialmente vamos definir alguns termos.

Sistema: O primeiro passo na resolução de problemas sobre energia é identificar o sistema em consideração. O sistema pode ser um único objeto, dois ou mais objetos que interagem entre si, uma região do espaço, etc. A palavra sistema, muito utilizada no nosso dia-a-dia, se refere a um todo composto por partes, exemplos: sistema ferroviário, sistema hidráulico, sistema solar, sistema de ensino, etc. O conceito de sistema se aplica sempre que um todo, suas partes e suas relações devem ser consideradas, como o sistema massa-mola, ou o sistema projétil + Terra. Uma vez que identificamos o sistema, algumas mudanças podem ocorrer no sistema. Por exemplo, um pote fechado contendo água é colocado no refrigerador e uma parte ou toda a água pode virar gelo. Utilizamos a conservação da massa para identificar o sistema e acompanhar as mudanças que nele ocorrem. Isso significa que nenhuma matéria é adicionada ou retirada do pote durante o processo de congelamento.

Estado do sistema: Fatores variáveis tais como temperatura, pressão, volume, velocidade, etc... são utilizados para descrever o estado do sistema.

Interação: O sistema pode interagir com a sua vizinhança bem como diferentes partes do sistema podem interagir entre si. Em sala de aula, o professor interage com os alunos e estes podem interagir entre si. No exemplo acima, o pote com água interage com a sua vizinhança (o refrigerador). Interagir significa atuar um

sobre o outro. Interação é a ação sobre ou influência mútua. Dizer que um sistema interage é dizer que sobre ele um efeito é produzido, como resultado de suas ações mútuas. O que observamos geralmente não é a interação ou a influência que são conceitos abstratos, mas os efeitos ou resultados da interação. Por exemplo, o efeito da interação da radiação solar com o nosso corpo é o bronzeamento ou queimadura em casos extremos. A mudança da direção de um projétil nas vizinhanças da superfície da Terra é um efeito observável da interação projétil+Terra.

Para introduzir o conceito de Energia e sua conservação, adotamos o procedimento sugerido por Arons (1989). Energia é o poder inerente de um sistema material, de realizar mudanças no estado de sua vizinhança ou nele mesmo. Algumas fontes de Energia são: baterias, usinas hidrelétricas, combustíveis, etc.. A Energia pode ser transferida. No caso do sistema ser o corpo humano, a alimentação e o ar que respiramos contribuem para a transferência de Energia. A primeira lei da termodinâmica, que pode ser considerada como uma definição, no sentido que ela é a lei da natureza que afirma que existe uma quantidade chamada de energia que é função de estado do sistema, na sua forma mais conhecida é escrita como

$$\Delta E = Q \pm W \quad (5.1)$$

onde E é chamada a Energia interna do sistema, Q o calor e W o trabalho realizado sobre o sistema ($W > 0$) por uma força externa ou pelo sistema ($W < 0$) sobre o meio externo ao sistema. O instrutor deve identificar tanto o sistema sobre qual a força atua e a força que está realizando trabalho. O trabalho de uma força sobre um sistema deve ser introduzido não somente pelo produto $W = F \cdot d$, onde F é a força aplicada sobre o sistema e d o deslocamento, mas como um processo de transferência de Energia através dos limites do sistema pela aplicação de uma força ao longo de um deslocamento. Deve ser enfatizado que o trabalho é a quantidade de Energia transferida ao sistema, não uma mudança do estado.

O nosso objetivo é a compreensão de que a Energia é uma quantidade que pode ser transferida de, ou para, um sistema ou transformada dentro do sistema. É óbvio que esta compreensão não será alcançada de forma completa até o estudo da termodinâmica. Entendemos que o aprendizado acontece de forma “espiral”, onde um assunto é abordado em etapas sucessivas que vão se aprofundando de forma

gradual e coerente. No modo convencional em que é apresentado o conteúdo, os estudantes veem conexão entre a primeira lei da termodinâmica e a Lei de Conservação da Energia que eles aprenderam em mecânica [Knight, 2004].

As mudanças na Energia interna do sistema podem aparecer de diversas formas: variação da Energia interna térmica ($\Delta E_{\text{térmica}}$), variação da Energia interna química ($\Delta E_{\text{química}}$), variação da Energia cinética (ΔE_{cin}), variação da Energia interna potencial (ΔE_{pot}), variação da Energia interna em outras formas (ΔE_{outras}). Assim, podemos escrever

$$\Delta E \equiv \Delta E_{\text{térmica}} + \Delta E_{\text{química}} + \Delta E_{\text{cin}} + \Delta E_{\text{pot}} + \Delta E_{\text{outras}} = Q \pm W \quad (5.2)$$

Onde $Q \pm W$ representa a quantidade de Energia transferida através dos limites do sistema por um dado mecanismo (calor, trabalho). A base conceitual dessa equação é que o único modo de alterar a Energia interna de um sistema é pela transferência de Energia através dos limites do sistema.

A Energia cinética E_{cin} na equação 5.2, é a soma da Energia cinética de translação do centro de massa e a energia cinética em relação ao centro de massa (rotação em torno do centro de massa, energia de translação radial). A Energia potencial E_{pot} inclui todos os tipos (gravitacional, elástica, elétrica, etc.). A Energia química está associada a Energia de combustíveis ou explosivos, Energia dos músculos (ATP), etc. A Energia térmica inclui o movimento não organizado dos átomos e moléculas.

O instrutor deve gastar algum tempo (uma aula de 50 minutos, por exemplo) discutindo esta equação e cada um dos termos que a compõem. Alguns exemplos podem ser trabalhados. Se uma força é aplicada sobre um bloco que se move com velocidade constante, em um plano horizontal, então $\Delta E_{\text{cin}} = \Delta E_{\text{pot}} = 0$, e $\Delta E_{\text{térmica}} > 0$. Se levamos um livro desde o solo até o topo de uma mesa, temos $\Delta E_{\text{cin}} = 0$, $\Delta E_{\text{pot}} > 0$, e $\Delta E_{\text{térmica}} = 0$. Em ambos os casos, as forças que empurram o bloco ou levantam o livro são forças externas não conservativas que atuam sobre o sistema (bloco ou livro) e transferem Energia ao sistema.

O instrutor deve distinguir o sistema de sua vizinhança ou meio ambiente. Devemos lembrar a diferença entre sistema isolado quando o sistema não interage com a vizinhança, do sistema em equilíbrio, quando não ocorre transferência líquida de Energia sobre, ou pelo sistema.

Energia Mecânica (E_{mec}) é a energia relacionada ao movimento, ou à capacidade para realizar um movimento. A Energia Mecânica pode ser do tipo cinética ou potencial. A energia cinética (E_{cin}) é a energia dos objetos em movimento, quando estes possuem uma determinada velocidade. A energia cinética é mais facilmente aceita pelos estudantes como energia de movimento, por ser mais tangível. Esta energia de movimento, em um instante qualquer é dada pela quantidade:

$$E_{cin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Onde:

E_{cin} = energia cinética
 m = massa
 v = velocidade

Quadro 5.1 – Definição de energia cinética

Agora, como os estudantes podem compreender um conceito mais abstrato como Energia Potencial? A Energia Potencial pode ser entendida como Energia de interação. A Energia Potencial Gravitacional tem sua origem na interação gravitacional entre dois corpos. A energia potencial elástica tem sua origem na interação que ocorre devido à força de uma mola. Assim, a energia potencial (E_{pot}) é a energia que está relacionada à posição em que um objeto se encontra em relação a um referencial. A energia potencial, ou mais precisamente a mudança na energia potencial ΔE_{pot} , é uma medida da mudança configuracional (energia de posição) em um sistema de partes interagentes. Existem vários tipos de energia potencial, cada um associado a um tipo diferente de força. A energia potencial é uma forma conveniente de descrever o trabalho realizado por forças conservativas internas, ou seja, forças entre partes do sistema, em oposição ao trabalho externo realizado por forças que têm sua origem nas vizinhanças do sistema. Em relação à mecânica tratada no nível médio, os tipos mais importantes são a energia potencial

gravitacional (E_{potg}) para a “Terra plana”, e a energia potencial elástica (E_{pote}) para uma mola ideal.

$$E_{potg} = m \cdot g \cdot h$$

Onde:

E_{potg} = energia potencial gravitacional
 m = massa
 g = aceleração da gravidade
 h = posição em relação a um referencial

Quadro 5.2 – Energia potencial para um campo gravitacional uniforme.

$$E_{pote} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Onde:

E_{pote} = energia potencial elástica
 k = constante elástica
 x = posição da mola ou elástico em relação a posição natural

Quadro 5.3 – Energia potencial elástica de um sistema massa-mola.

A Energia Potencial é uma forma de Energia (ou variável de estado) do sistema e não a Energia de um objeto em particular. Por exemplo, é incorreto afirmar “que a Energia Potencial da bola é mgh ”. Ao invés, devemos dizer, “a Energia Potencial do sistema bola+Terra é mgh ”. Em um determinado sistema, de acordo com as suas particularidades, pode ocorrer transformação de Energia Cinética em Energia Potencial (gravitacional ou elástica, entre outras). A Energia Potencial não possui um valor absoluto, mas relativo. O “nível zero” da Energia Potencial é sempre

uma fonte de confusão para os estudantes. Quando este sistema está isolado, atuando apenas forças conservativas, a Energia Mecânica total do sistema se conserva:

“Em um sistema conservativo, a Energia Mecânica total se conserva, havendo apenas transformação de Energia Potencial em Energia Cinética e vice-versa. Ou:

$$E_{\text{mec}} = \Delta E_{\text{cin}} + \Delta E_{\text{pot}} = \text{constante} \quad (5.3)$$

Podemos agora fornecer uma definição operacional para Energia Potencial Gravitacional:

Energia Potencial Gravitacional de um sistema é medida pela altura a qual o sistema pode levar uma massa padrão numa interação gravitacional com a Terra [Karplus, 2003].

Os estudantes podem ver que a Energia Mecânica $\Delta E_{\text{cin}} + \Delta E_{\text{pot}}$ é conservada somente para sistemas que estão isolados ou em equilíbrio com o meio ambiente (onde o trabalho líquido realizado pelas forças externas é nulo, ou seja, $W_{\text{ext}} = 0$) e quando o trabalho das forças não conservativas é nulo ($W_{\text{nc}} = 0$). Portanto, a Lei de Conservação de Energia pode ser facilmente conectada com a primeira lei da termodinâmica.

Devemos sempre deixar claro para o estudante que as fórmulas são invenções humanas. Mas, por quê as pessoas inventaram estas fórmulas? Cada uma destas fórmulas resultou do esforço de físicos no intuito de sintetizar, de formar uma ampla generalização que poderia unificar uma variedade de fenômenos sob a mesma rubrica. Muitos conceitos inicialmente distintos foram unificados para formar um cordão. O conceito de Energia propiciou amarrar estas cordas em uma única rede. A formulação matemática do Princípio da Conservação da Energia resultou das necessidades práticas durante a Revolução Industrial. Precisava-se de um modo de comparar a eficiência das máquinas a vapor, dos motores elétricos, dos animais de tração, etc. Tornou-se uma prática aceitável em engenharia comparar o resultado energético de uma máquina com o produto $W = F \cdot d$, onde F é a força e d a distância ao longo da qual a força atua sobre o sistema. A quantidade W foi batizada como Trabalho.

É importante salientar que o Princípio da Conservação da Energia não é derivável das leis da dinâmica. É uma afirmação independente sobre ordem na natureza. A Lei geral da Conservação da Energia, incluindo transferência de calor, ou outras formas de Energia, é uma afirmação nova, que, na maioria dos casos, não tem nada a ver com o teorema do trabalho energia cinética.

5.3 Passo 2 do Método TWA – Lembrar do conceito análogo

Trabalhos na área da cognição têm demonstrado que a categorização ontológica (ontologia = estudo do ser) é a chave para o entendimento do conceito físico [Chi, 1993, 2005, 2006]. As representações são partes centrais do empreendimento científico. Uma parte fundamental de uma representação da energia é a articulação de que tipo de coisa a energia é, ou seja, sua ontologia.

Modelos frequentemente fazem uso de imagens mentais simplificadas para os sistemas físicos. Essas imagens são chamadas de *modelos de trabalho* para o sistema [Karplus, 2003]. Um exemplo é o modelo de partícula para o Sol e para os planetas no sistema solar; neste modelo, o tamanho e a estrutura de cada um desses corpos ignorada e cada corpo é representado como um ponto massivo. Outro exemplo é o campo gravitacional nas vizinhanças da superfície terrestre que é considerado uniforme. Um *modelo de trabalho* é uma abstração da realidade. Jamais poderemos compreender completamente a complexidade de todos os detalhes do sistema real. Modelos de trabalho são sempre representações simplificadas ou idealizadas. Assim, os modelos de trabalho, juntamente com as teorias das quais fazem parte, possuem limitações.

Para o ensino de Energia Mecânica e sua Conservação utilizando analogias propomos três diferentes analogias.

5.3.1: A substância (líquido) que flui

Argumentamos que um tratamento ontológico de Energia como substância é particularmente produtivo no desenvolvimento da compreensão das trocas de Energia e transformações. Tratar a Energia como uma substância utilizando

analogias compara a Energia a um objeto físico real, como defendido por Duit (1987). Atribuir qualidades de um objeto à Energia fornece uma maneira de pensar sobre a sua conservação, armazenamento e transferência. Estabelecer uma concepção de Energia como substância proporciona aos alunos um conjunto rico e bem estabelecido de ferramentas para raciocinar sobre conservação de energia, armazenamento e transferência. Fornecer aos alunos uma concepção de energia mais concreta pode ajudá-los a superar uma suposta aversão a este conceito.

Uma determinada substância (líquido) está armazenada em um recipiente fechado, sem contato com o ambiente externo. Este recipiente contém duas câmaras de formatos diferentes, porém de mesma espessura e altura: câmara 1 e câmara 2 (figura 5.1). Inicialmente o conteúdo total da substância (C_T) está armazenado na câmara 1, que se encontra isolada da câmara 2, onde é feito vácuo.

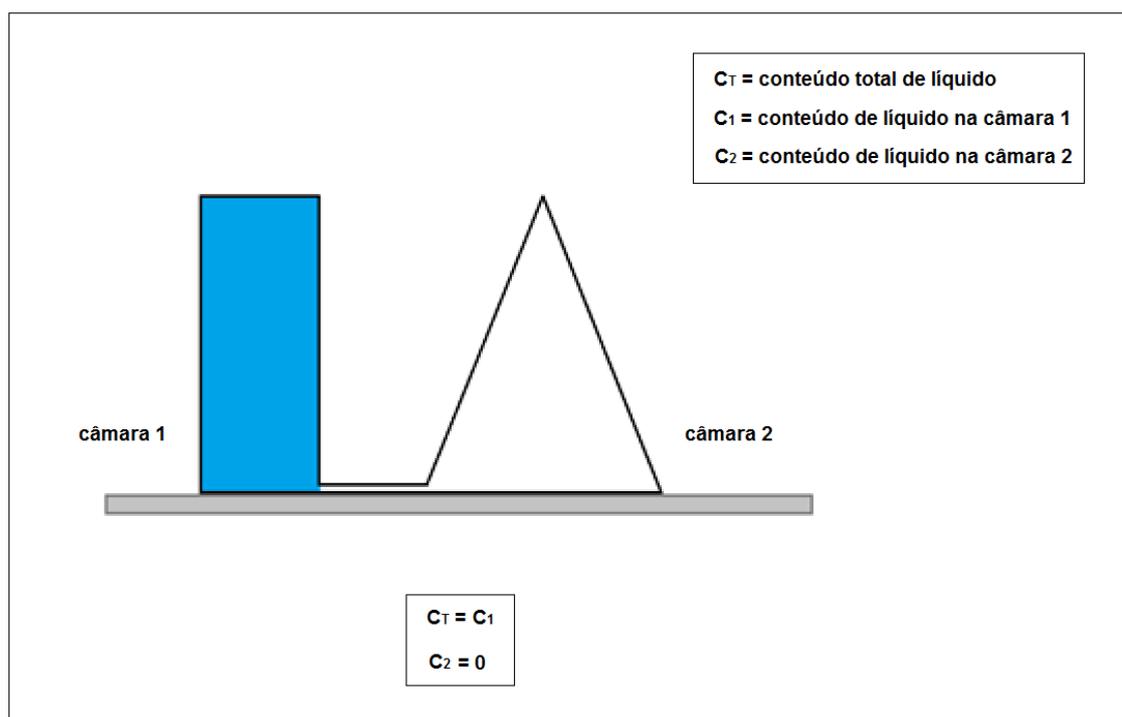


Figura 5.1: recipiente contendo a substância que flui

Em um determinado momento, a ligação entre as duas câmaras é aberta e a substância pode fluir da câmara 1 para a câmara 2. Observamos que o conteúdo de líquido da câmara 1 (C_1), sofre uma diminuição enquanto o conteúdo da câmara 2 (C_2) aumenta gradativamente. O processo continua até a altura da coluna de líquido ser a mesma nos dois compartimentos. Neste momento há um equilíbrio e cessa a

transferência de substância entre as câmaras. Este fenômeno pode ser explicado através da pressão exercida pelo líquido no fundo do recipiente e pela ação da gravidade. Em nossa análise, a principal constatação é que ao final do processo, o conteúdo total da substância no recipiente não sofre alteração. Temos portanto:

$$C_T = C_1 + C_2 \quad (5.4)$$

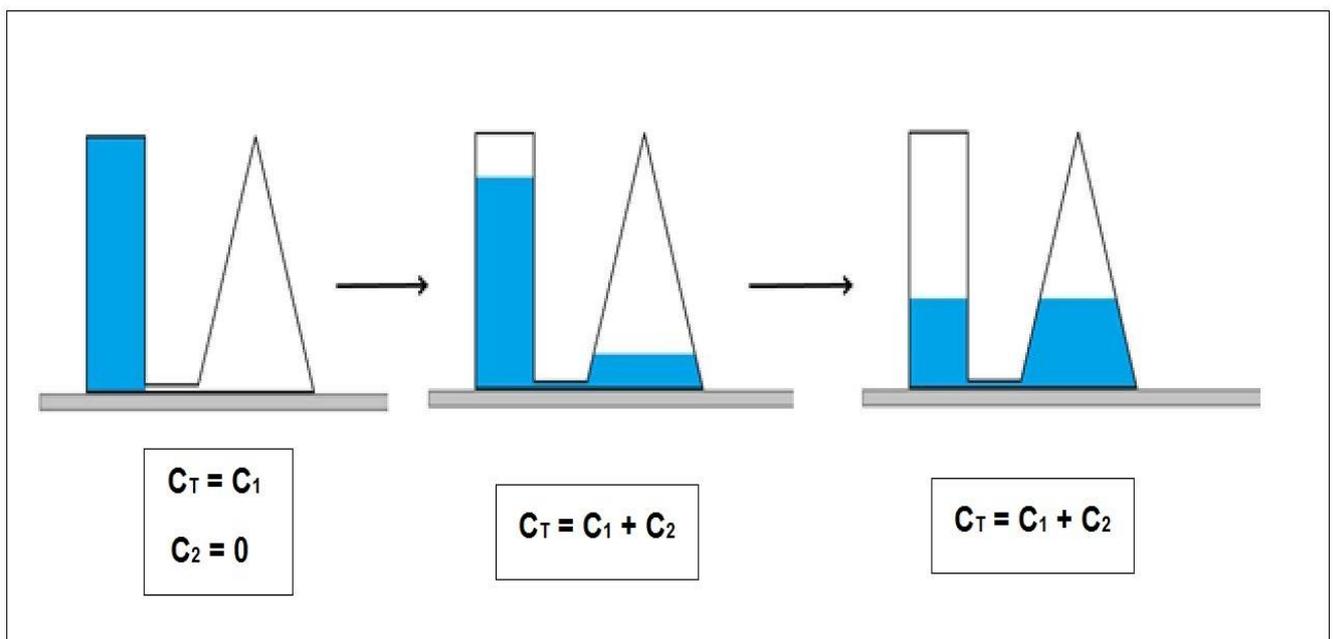


Figura 5.2: Processo de transferência de líquido de uma câmara para outra. Há uma mudança na forma, uma divisão entre os recipientes, mas o conteúdo total do recipiente não se altera.

A substância que flui entre as duas câmaras é análoga às barras de Energias introduzidas por Van Heuvelen e Zou (2001), ilustradas na figura 5.3.

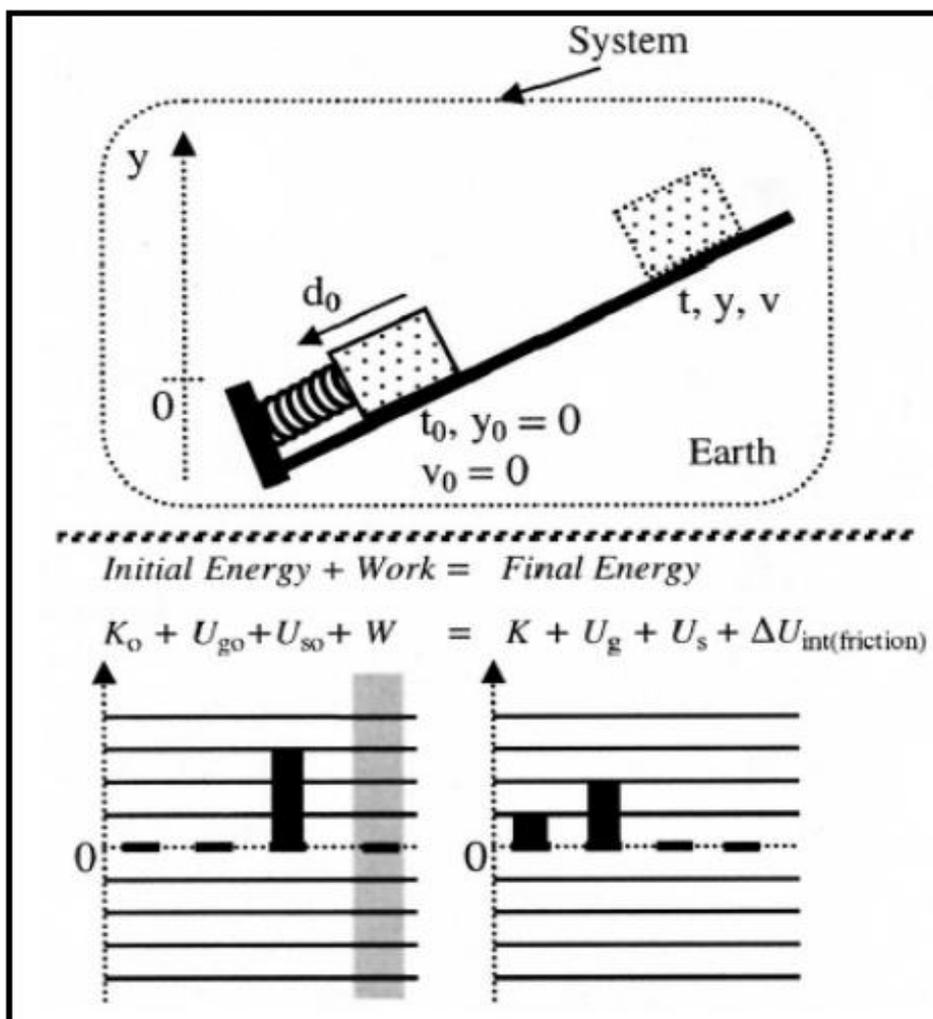


Figura 5.3: Barras de Energia de Van Heuvelen e Zou (2001) utilizadas na análise de um problema físico relacionado a Trabalho e Energia (bloco que sobe uma rampa, sem atrito, impulsionado por uma mola que inicialmente era comprimida pelo bloco). [Huevelen, 2001]

Elas servem como ferramentas que ajudam aos alunos a visualizarem situação antes de realizarem os cálculos. Em um problema envolvendo Energia e Trabalho, os alunos são convidados a converter um esboço inicial, mostrando a situação do problema, em um gráfico de barras qualitativo. As barras são colocadas no gráfico para cada tipo de Energia que não é zero, e a soma das barras na esquerda (situação inicial) é a mesma que a das barras à direita (situação final). A parte do Trabalho no gráfico de barras é destacada, de modo que se possa distinguir entre Trabalho e Energia. Os gráficos de barras de Trabalho-Energia qualitativo desempenham um papel significativo no encurtamento da distância entre as palavras e as equações quando se utiliza os conceitos de Trabalho e Energia para resolver problemas de Física.

5.3.2: O baralho

Tanto os especialistas como estudantes utilizam múltiplas e sobrepostas representações que se complementam para as quantidades físicas. Uma outra analogia que propomos é o baralho.

A analogia com o baralho possui uma semelhança com a analogia proposta na seção anterior (líquido que flui). Procuramos oferecer ao aluno uma representação física para Energia, algo que ele possa analisar, contar e manipular. O baralho é familiar aos alunos, é fácil de ser obtido e utilizado. O ponto central da analogia com o baralho, da forma como propomos, é a possibilidade de manuseá-lo de diferentes formas, porém, mantendo a sua quantidade, que é fixa. Feynman (1970), compara a Energia com blocos de brinquedo: não importa o que a criança faz (armazená-los em sua caixa de brinquedos, dá-los a um amigo, perdê-los atrás do sofá) o número de blocos não muda.

Utilizado em jogos de cartas, o baralho modelo francês é composto de 52 cartas, divididas em quatro naipes: paus (♣), ouros (♦), copas (♥) e espadas (♠). Cada naipe possui um ás, um rei, uma rainha, um valete e nove cartas numeradas de 2 a 10.

5.3.3: Dinheiro em um cofre (conta bancária)

É instrutivo comparar a equação 5.2 com valores em um cofre ou uma conta bancária. O balanço não se altera se não ocorrer transferências para a conta ou cofre. A definição simples, inadequada e incompleta de Energia como a “habilidade de realizar trabalho” é análoga a definição de dinheiro como a “habilidade de adquirir bens” [Knight, 2004]. Assim como a Energia, o dinheiro, ou a moeda, pode ser transformado e transferido de vários modos distintos. Como os estudantes estão familiarizados com dinheiro, esta analogia fornece uma imagem mental inicial.

Uma pessoa guarda uma determinada quantia em dinheiro dentro de um cofre, em forma de moedas. Um dia, essa pessoa retira uma certa quantidade de dinheiro em moedas, troca por cédulas no mesmo valor e guarda novamente no cofre. A pessoa repete esta operação por mais dois dias, trocando as moedas por

um cheque em um dia e por barras de ouro em outro. Ao final dos três dias, há moedas, joias, cédulas e um cheque no cofre. A energia cinética é análoga ao dinheiro em espécie (“dinheiro vivo”), a energia potencial é análoga a aplicações, e o trabalho é análogo ao contracheque ($W>0$) ou contas a pagar ($W<0$).

Através da analogia monetária, fica mais diretamente visualizável que há vários modos de transferir Energia de, ou para, um sistema. Os estudantes podem compreender melhor a convenção de sinais. O trabalho será positivo (negativo) quando transfere energia para o (do) sistema.

5.4 Passo 3 do Método TWA - Identificar as características do conceito alvo e dos análogos

5.4.1 Substância (líquido) que flui:

- pode ser armazenada, guardada em um recipiente;
- pode ser transferida de um lugar para outro espontaneamente;
- pode mudar sua forma;
- possui massa, é material; e,
- pode ocupar totalmente uma das câmaras, pode se dividir entre os dois recipientes, mas seu volume total não se altera.

5.4.2 Baralho:

- pode ser guardado e manipulado;
- há diferentes tipos de cartas;
- as cartas possuem um valor numérico; podem ser contadas
- possui massa, é material; e,
- possui quantidade e forma definida.

5.4.3 Dinheiro em um cofre:

- pode ser guardado, armazenado;
- possui massa, é material;
- pode possuir diferentes formatos, diferentes aspectos;
- pode ser trocado de formato; e,

- possui um valor numérico, monetário total que não se altera.

5.4.4 Energia Mecânica:

- pode ser armazenada;
- pode ser de tipos diferentes (cinética ou potencial), com características diferentes, ou pode ser dos dois tipos ao mesmo tempo;
- pode se transformar de um tipo em outro;
- não possui forma definida;
- não possui massa (e nem peso); e,
- possui uma quantidade total que não se altera em um sistema conservativo.

Vamos agora discutir a distinção importante entre *transferência* e *transformação* de Energia. A Energia pode ser transformada de um tipo a outros (de potencial a cinética, por exemplo) e transferida de um sistema para outro. Alguns livros didáticos afirmam incorretamente que “*A Energia é transferida de Energia Cinética para Energia Gravitacional*”.

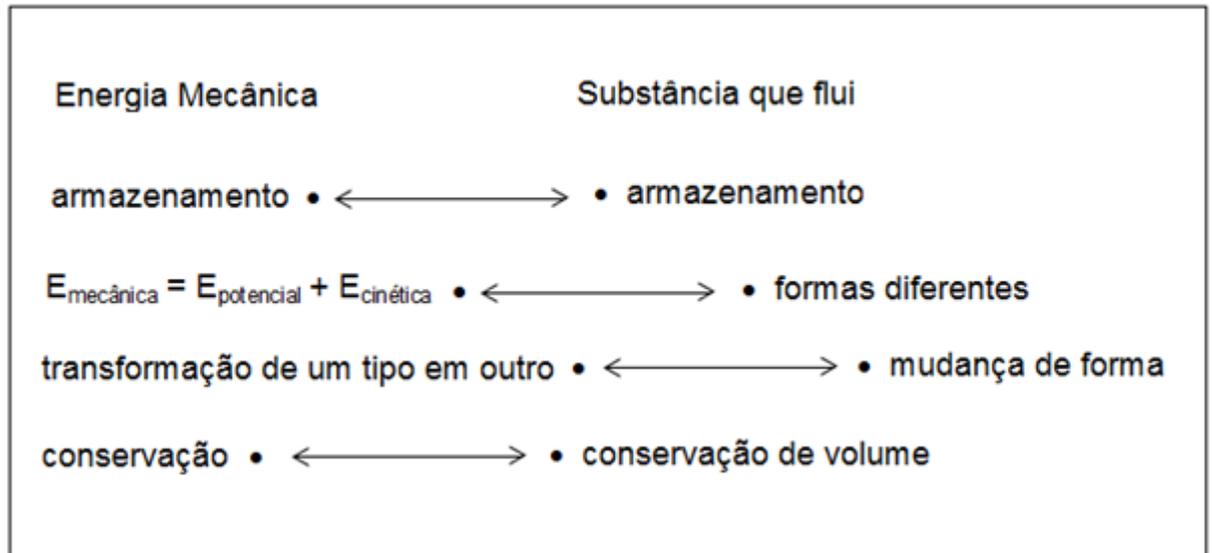
Devemos deixar claro para os alunos que a transformação de Energia ocorre dentro de um sistema (no caso da analogia com a conta bancária, a riqueza pode ser transformada em ações, embora é comum utilizar a palavra transferência “*vou transferir o dinheiro da poupança para a minha conta corrente*”). Por exemplo, a Energia Potencial de um sistema menino + Terra é transformada em Energia Cinética conforme ele desce num escorregador. Assim, a Energia Cinética não está associada unicamente com o movimento do menino, mas como parte da Energia total do sistema que está sendo transformada.

A transferência de Energia ocorre através dos limites do sistema e pode resultar numa mudança na Energia total do sistema. Os mecanismos de transferência incluem trabalho e calor.

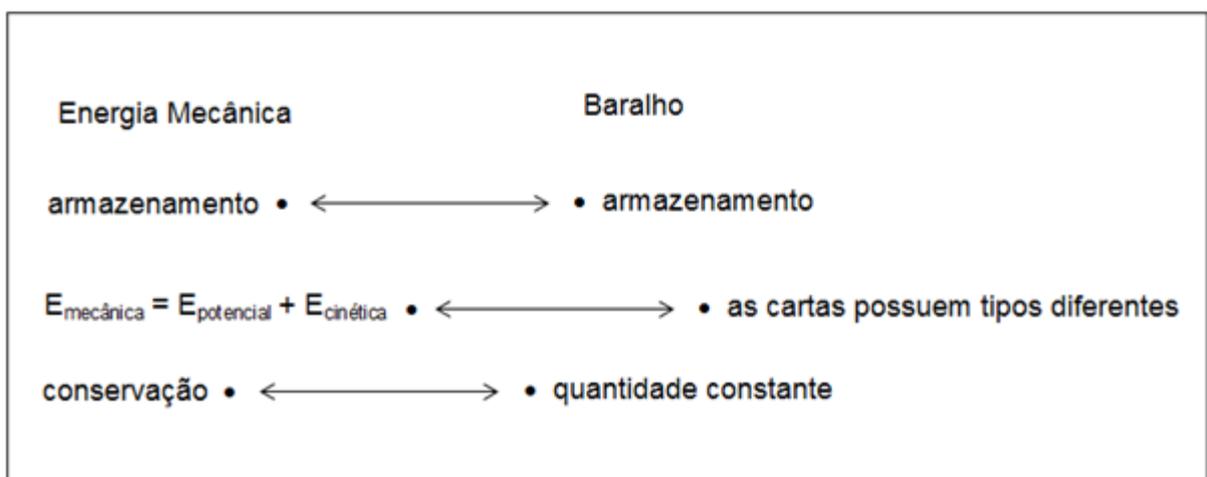
5.5 Passo 4 do Método TWA - Identificar as características relevantes entre os dois domínios e conectar (mapear) as similaridades entre o alvo e os análogos.

Na utilização de analogia, devemos nos concentrar na promoção da compreensão dos alunos sobre as propriedades do conceito de Energia. Neste

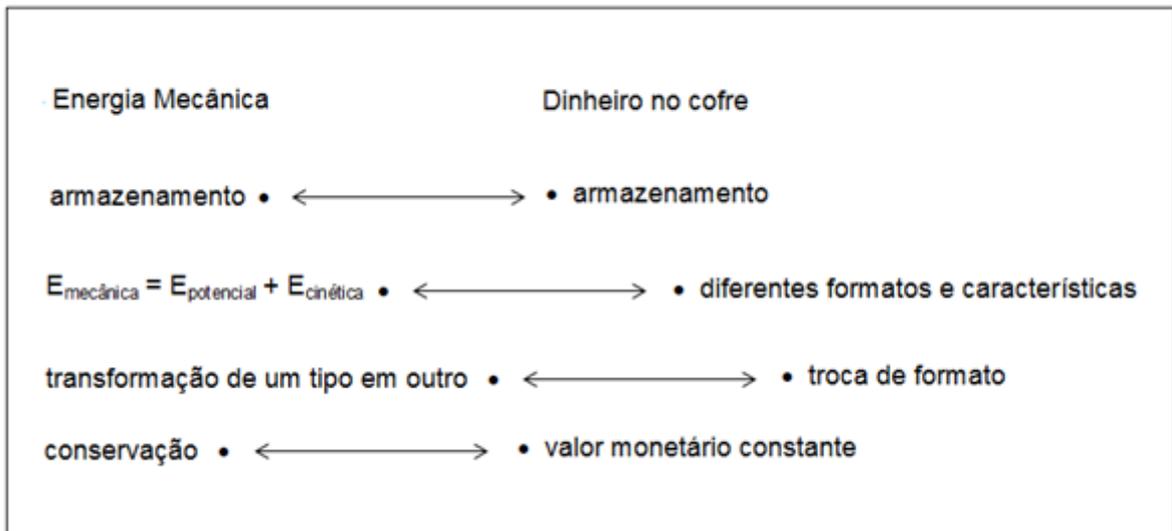
ponto é que a analogia conceitual de Energia, como uma substância que pode ser: i) armazenada, ii) transferida, iii) conservada deve ser percebida pelo aluno. Os quadros 5.3, 5.4, 5.5 apresentam algumas das conexões, entre o análogo e o conceito alvo, que esperamos que possam ser percebidas e compreendidas pelos alunos.



Quadro 5.4 – Conexões entre Energia Mecânica e a substância que flui



Quadro 5.5 – Conexões entre a Energia Mecânica e o baralho



Quadro 5.6 – Conexões entre a Energia Mecânica e o dinheiro em um cofre (conta)

5.6 - Passo 5 do Método TWA - Indicar onde a analogia falha

Uma característica dos modelos é que nenhum deles descreve perfeitamente a realidade, e não podemos afirmar, a priori, que um modelo é “correto”. De fato, os conceitos de “certo” e “errado” não se aplicam a modelos. Um modelo pode ser mais ou menos adequado, dependendo de como ele representa a funcionalidade do sistema que supostamente representa. Devemos determinar se um modelo em particular é bom o suficiente para os seus propósitos, ou se há necessidade de buscarmos um modelo melhor.

Uma preocupação comum sobre a introdução de uma analogia de Energia como substância é que isso pode introduzir uma física errada, uma vez que tal substância não existe [Beynon, 1990], [Chi, 2005]. No entanto, Gupta *et al.* (2010) contra argumentam que o raciocínio científico cotidiano é cheio de exemplos de ontologias flexíveis, como as exigidas pelo uso de analogias. Somos capazes de considerar a Energia como algo material, quando se é produtivo para a compreensão de um raciocínio, e reclassificá-la ontologicamente para outros fins. A análise dos conceitos de Energia de Amin (2009), concorda com Gupta *et al.* e afirma que a metáfora é uma ferramenta produtiva para o desenvolvimento da compreensão e é amplamente utilizado, não só em concepções científicas de Energia, mas também em utilizações leigas da Energia. Amin também realizou uma análise de metáforas conceituais de energia e sugeriu que o desenvolvimento da

compreensão de um conceito abstrato pode confiar extensivamente na projeção metafórica do conhecimento experiencial. Projeção metafórica é particularmente útil no desenvolvimento de uma compreensão de Energia, uma vez que é difícil categorizar Energia ontologicamente, uma vez que não é nem material, nem processo, nem acontecimento histórico [Brewer, 2011].

Dentre as falhas dos modelos análogos apresentados, podemos destacar:

- A Energia Mecânica não é material; não tem massa e nem peso, diferente do baralho, da substância e do dinheiro. De acordo com Arons (1965): “Energia não é uma substância, fluido, tinta, ou combustível que é borrifada sobre os corpos e raspada de um para outro. Nós utilizamos este termo (Energia) para simbolizar uma construção – números, calculados de um modo prescrito, que são encontrados pela teoria e experimento para preservar uma relação notavelmente simples em vários fenômenos físicos dispersos”.
- A Energia Mecânica não possui forma definida. A substância líquida que flui também não possui forma definida, entretanto, ao ocupar um recipiente, assume a forma deste. As cartas do baralho possuem um formato próprio, característico. O dinheiro em um cofre pode mudar de tipo (cédula, moeda, ações), porém, em qualquer um destes, terá uma forma definida.
- A Energia Mecânica pode, espontaneamente, ser transformada de um tipo em outro (potencial gravitacional em cinética, por exemplo), já o dinheiro, não pode mudar de tipo espontaneamente. As cartas do baralho também não podem ter seus naipes, valores ou forma modificada.
- O dinheiro guardado dentro de um cofre, não sofre alteração em seu conteúdo material, em sua quantidade, entretanto, seu valor econômico pode não se conservar. As cédulas e as moedas podem perder seu valor se a moeda do país for modificada; cheques dependem de data; ações e barras de ouro podem ganhar ou perder valor no mercado.
- Nem o baralho nem o dinheiro em um cofre podem ser considerados sistemas completamente isolados, pois necessitam de um auxílio externo para sofrerem transformações.

5.7 - Passo 6 do Método TWA - Traçar as conclusões sobre o conceito alvo

A Energia Mecânica não possui caráter material, pode ser do tipo cinética, potencial ou a soma dos dois; pode ser transformada de um tipo em outro e seu valor total em um sistema isolado se conserva.

5.8 – Análise

Aqui, nós analisamos e avaliamos a atividade proposta. O principal objetivo da atividade foi apresentar aos alunos as principais características da Energia Mecânica: o fato de não ser material, de não ter forma definida, os diferentes tipos, a possibilidade de transformação de um tipo em outro (espontaneamente ou não) e a sua conservação. Nossa principal preocupação foi que o aluno tivesse a percepção e um entendimento básico destes conceitos. Não tivemos a pretensão de fazer uma análise profunda e rigorosa do conceito de Energia Mecânica e sua Conservação.

Neste sentido, entendemos que as analogias propostas estão adequadas ao método apresentado, pois as características entre as analogias propostas se adequaram ao método e ajudaram a evidenciar as características do conceito alvo, auxiliando o aluno no processo de compreensão deste.

Um currículo amparado pelo ensino de Energia como análogo a uma substância fornece um modelo mental mais acessível aos estudantes, auxiliando-os a desenvolverem novos recursos conceituais para lidar com um conceito abstrato. Conseqüentemente, o uso de analogias amplia o conjunto de ferramentas que alunos têm à disposição para resolver os problemas de Física.

CAPÍTULO 6

Conclusões

Nos últimos anos há uma ênfase com um caráter crescente para o ensino de Física no sentido de dar aos alunos uma formação para o exercício da cidadania, implicando na possibilidade do aluno intervir e participar da realidade concreta da sociedade ([PCNEM 1999], [LDB 1996], [DCNEM 1998]). Dentro das competências que se esperam, podemos listar por exemplo: reconhecer os fenômenos naturais ou grandezas em dado domínio do conhecimento científico, estabelecendo relações e identificando regularidades; associar os fenômenos que ocorrem de forma similar, utilizando as leis que expressam suas regularidades em análise e previsões de situações do cotidiano; interpretar diferentes linguagens e representações técnicas; identificar as informações ou variáveis relevantes, bem como possíveis estratégias de solução quando confrontado com situações-problema, etc.

Deste modo, o ensino de conceitos associados à Energia desempenha um papel fundamental, uma vez que está presente em vários fenômenos da natureza, desde os movimentos mais simples, até grandes fenômenos em escala astronômica. Seguindo esta ideia, apresentamos um conjunto de atividades para o ensino da Energia Mecânica e sua Conservação com o uso de analogias, de acordo com o modelo TWA. A ideia é trabalhar o entendimento conceitual da Energia Mecânica e sua Conservação evidenciando aos alunos o processo de desenvolvimento do conceito, sua importância e generalidade, desmistificando o caráter extremamente quantitativo dado pela maioria dos livros didáticos à temática.

Uma grande vantagem da proposta apresentada é a simplicidade em sua implementação, uma vez que não possui complicações metodológicas e não requer tecnologias e materiais avançados. Pode ser aplicada em qualquer tipo de escola, pública ou privada, onde o professor, de acordo com sua criatividade e possibilidades fará as devidas adaptações.

Tratar de Energia com uma analogia de uma quantidade que flui (uma substância) que pode ser armazenada e transferida proporciona aos alunos e instrutores recursos conceituais que contribuem para o desenvolvimento útil das concepções sobre Energia. No entanto, simplesmente incluindo esta analogia para

energia, ou qualquer outra, não é suficiente para promover a Energia como uma forma viável de modelagem de sistemas físicos. O currículo deve ser reorganizado e reorientado para a Energia como um tema central e coerente. Isto pode ser, e tem sido, conseguido através da incorporação de várias ferramentas de representação que suportam o conceito de energia, aumentando a capacidade dos alunos de modelar fenômenos físico.

“A relação do cientista com os modelos que ele constrói é ambivalente. Por um lado, a invenção de um modelo engaja seu talento criativo e seu desejo de representar a operação do sistema que ele estudou. Por outro lado, uma vez que o modelo é criado, ele procura descobrir suas limitações e pontos fracos, porque é a partir das falhas dos modelos que ele ganha uma nova compreensão e o estímulo para construir modelos mais efetivos. Ambas as faculdades criativas e críticas estão envolvidas no trabalho do cientista com modelos”.[Karplus, 2003]

Para encerrar esta análise, apontamos para a possibilidade de futuros trabalhos na perspectiva de complementar e desenvolver as ideias apresentadas, como análise de relatos de professores que utilizem a proposta e obtenção de dados estatísticos a respeito da aprendizagem dos alunos.

APÊNDICE A

Produto

A1. UMA AULA SOBRE ENERGIA MECÂNICA E SUA CONSERVAÇÃO

A1.1 – Introdução

Este material é o produto instrucional de um trabalho de Mestrado Profissional em Ensino de Física. Esta aula está baseada na estratégia de ensino utilizando analogias e que consiste das seguintes etapas: 1) Introduzir o conceito alvo; 2) Lembrar do análogo; 3) Identificar as características relevantes de alvo e análogo; 4) Identificar e mapear semelhanças; 5) Indicar as limitações da analogia; 6) Esboçar conclusões.

Como pré-requisitos, o aluno deverá ter conhecimentos básicos de conceitos como massa, posição, velocidade e força.

A1.2 – A evolução do conceito de energia e sua conservação

Energia, do grego, *enérgeia*, significa trabalho. A palavra Energia apareceu pela primeira vez em 1807, sugerida por Thomas Young (1773-1829). Ao adotar este termo, Young fazia referência ao produto $m.v^2$ (“vis-viva”), que estava associado ao que ele acreditava ser a Energia: a capacidade para realizar um trabalho.

Podemos encontrar uma ideia de conversão e conservação entre o que hoje denominamos de Energia Cinética e Energia Potencial na obra de Galileu Galilei (1564-1642). Ao afirmar que a velocidade máxima adquirida por um corpo que cai, partindo do repouso, na ausência de atrito, é capaz apenas de elevá-lo à altura inicial, nunca ultrapassando esta, Galileu nos dá pistas para entender tais processos relacionados aos movimentos. Outro exemplo foi a longa controvérsia entre os seguidores de René Descartes (1596-1650) e de Gottfried Leibniz (1646-1716) em relação à tentativa de se medir o movimento de um corpo e à quantidade conservada no processo, que em termos modernos, seria o momento ($m.v$),

segundo Descartes e Energia Cinética (na verdade, o produto $m.v^2$, “vis-viva”) de acordo com Leibniz.

Apenas no início do século XIX, o termo energia se sobrepôs a termos como “calórico” e “vis-viva”. Em 1853, o termo foi adotado pelo físico escocês e engenheiro William Rankine (1820-1872), que utilizou o termo “energia potencial” como o diferente de “energia atual” (que posteriormente seria denominada “energia cinética”). Com o seu sentido moderno, o termo entrou em uso geral apenas a partir de 1870.

Na época, a concepção de energia foi o centro de uma revolução no pensamento científico europeu, pois estavam ligadas a ela as condições para uma nova visão da natureza, uma visão que se ancorava no Princípio da Conservação da Energia (Kuhn, 1977).

Entre 1842 e 1847, ocorre a descoberta simultânea do princípio de conservação:

Entre 1842 e 1847, a hipótese da conservação da energia foi publicamente anunciada por quatro cientistas europeus amplamente dispersos – Mayer, Joule, Colding e Helmholtz -, todos, exceto o último, trabalhando em completa ignorância dos outros (Kuhn, 1977).

Apesar das revelações destes cientistas terem sido feitas em tempo diferentes e de seus enunciados não serem iguais, elas são consideradas como uma descoberta simultânea (Kuhn, 1977). Se levarmos em consideração os resultados dos trabalhos destes pesquisadores percebemos que todos estavam relacionados a um mesmo aspecto da natureza, descoberto de forma independente, porém em um mesmo contexto histórico.

Assim, a grande contribuição destes pesquisadores foi uma visão unificada, da “...emergência rápida e, muitas vezes, desordenada dos elementos experimentais e conceituais a partir dos quais esta teoria em breve iria se constituir” (Kuhn, 1977).

Deste modo, podemos inferir que os conceitos de Energia e Conservação de Energia foram estruturados a partir da evolução da forma de entender o mundo e a natureza que se intensificou principalmente a partir do século XIX, proporcionados por avanços nas pesquisas em diversas áreas da ciência como a Engenharia, a

Química, a Biologia e a própria Física. Tais conceitos não são fruto do acaso ou de um lampejo de inspiração de uma mente genial e isto deve ficar evidente durante a atividade.

A1.3 – Introdução ao conceito

Energia é um conceito crítico em ciências, mas é frequentemente uma fonte de confusão para os alunos se a apresentação não é cuidadosamente realizada pelo professor ou livro-texto [Jewett, 2008]. Energia é um conceito que, de certa forma, conecta toda a Física. A transferência e a transformação de Energia são os pilares de todos os processos que ocorrem em física, química e biologia. Ao introduzirmos o conceito de energia e sua conservação é importante discutir a sua natureza global.

Ao contrário do que é dito em linguagem cotidiana, não vemos nem sentimos a Energia. Podemos sim medir e às vezes sentir certos parâmetros que são relacionados à quantidade conhecida como Energia: massa, carga, velocidade, etc. A Energia é determinada pela combinação destes parâmetros de acordo com conjunto específico de expressões. Inicialmente vamos definir alguns termos.

Sistema: O primeiro passo na resolução de problemas sobre energia é identificar o sistema em consideração. O sistema pode ser um único objeto, dois ou mais objetos que interagem entre si, uma região do espaço, etc. A palavra sistema, muito utilizada no nosso dia-a-dia, se refere a um todo composto por partes, exemplos: sistema ferroviário, sistema hidráulico, sistema solar, sistema de ensino, etc. O conceito de sistema se aplica sempre que um todo, suas partes e suas relações devem ser consideradas, como o sistema massa-mola, ou o sistema projétil + Terra. Uma vez que identificamos o sistema, algumas mudanças podem ocorrer no sistema. Por exemplo, um pote fechado contendo água é colocado no refrigerador e uma parte ou toda a água pode virar gelo. Utilizamos a conservação da massa para identificar o sistema e acompanhar as mudanças que nele ocorrem. Isso significa que nenhuma matéria é adicionada ou retirada do pote durante o processo de congelamento.

Estado do sistema: Fatores variáveis tais como temperatura, pressão, volume, velocidade, etc... são utilizados para descrever o estado do sistema.

Interação: O sistema pode interagir com a sua vizinhança bem como diferentes partes do sistema podem interagir entre si. Em sala de aula, o professor interage com os alunos e estes podem interagir entre si. No exemplo acima, o pote com água interage com a sua vizinhança (o refrigerador). Interagir significa atuar um sobre o outro. Interação é a ação sobre ou influência mútua. Dizer que um sistema interage é dizer que sobre ele um efeito é produzido, como resultado de suas ações mútuas. O que observamos geralmente não é a interação ou a influência que são conceitos abstratos, mas os efeitos ou resultados da interação. Por exemplo, o efeito da interação da radiação solar com o nosso corpo é o bronzeamento ou queimadura em casos extremos. A mudança da direção de um projétil nas vizinhanças da superfície da Terra é um efeito observável da interação projétil+Terra.

Para introduzir o conceito de Energia e sua conservação, adotamos o procedimento sugerido por Arons (1989). Energia é o poder inerente de um sistema material, de realizar mudanças no estado de sua vizinhança ou nele mesmo. Algumas fontes de Energia são: baterias, usinas hidrelétricas, combustíveis, etc.. A Energia pode ser transferida. No caso do sistema ser o corpo humano, a alimentação e o ar que respiramos contribuem para a transferência de Energia. A primeira lei da termodinâmica, que pode ser considerada como uma definição, no sentido que ela é a lei da natureza que afirma que existe uma quantidade chamada de energia que é função de estado do sistema, na sua forma mais conhecida é escrita como

$$\Delta E = Q \pm W \quad (A.1)$$

onde E é chamada a Energia interna do sistema, Q o calor e W o trabalho realizado sobre o sistema ($W > 0$) por uma força externa ou pelo sistema ($W < 0$) sobre o meio externo ao sistema. O instrutor deve identificar tanto o sistema sobre qual a força atua e a força que está realizando trabalho. O trabalho de uma força sobre um sistema deve ser introduzido não somente pelo produto $W = F \cdot d$, onde F é a força aplicada sobre o sistema e d o deslocamento, mas como um processo de transferência de Energia através dos limites do sistema pela aplicação de uma força ao longo de um deslocamento. Deve ser enfatizado que o trabalho é a quantidade de Energia transferida ao sistema, não uma mudança do estado.

O nosso objetivo é a compreensão de que a Energia é uma quantidade que pode ser transferida de, ou para, um sistema ou transformada dentro do sistema. É óbvio que esta compreensão não será alcançada de forma completa até o estudo da termodinâmica. Entendemos que o aprendizado acontece de forma “espiral”, onde um assunto é abordado em etapas sucessivas que vão se aprofundando de forma gradual e coerente. No modo convencional em que é apresentado o conteúdo, os estudantes veem conexão entre a primeira lei da termodinâmica e a Lei de Conservação da Energia que eles aprenderam em mecânica [Knight, 2004].

As mudanças na Energia interna do sistema podem aparecer de diversas formas: variação da Energia interna térmica ($\Delta E_{\text{térmica}}$), variação da Energia interna química ($\Delta E_{\text{química}}$), variação da Energia cinética (ΔE_{cin}), variação da Energia interna potencial (ΔE_{pot}), variação da Energia interna em outras formas (ΔE_{outras}). Assim, podemos escrever

$$\Delta E \equiv \Delta E_{\text{térmica}} + \Delta E_{\text{química}} + \Delta E_{\text{cin}} + \Delta E_{\text{pot}} + \Delta E_{\text{outras}} = Q \pm W \quad (\text{A.2})$$

Onde $Q \pm W$ representa a quantidade de Energia transferida através dos limites do sistema por um dado mecanismo (calor, trabalho). A base conceitual dessa equação é que o único modo de alterar a Energia interna de um sistema é pela transferência de Energia através dos limites do sistema.

A Energia cinética E_{cin} na equação A.2, é a soma da Energia cinética de translação do centro de massa e a energia cinética em relação ao centro de massa (rotação em torno do centro de massa, energia de translação radial). A Energia potencial E_{pot} inclui todos os tipos (gravitacional, elástica, elétrica, etc.). A Energia química está associada a Energia de combustíveis ou explosivos, Energia dos músculos (ATP), etc. A Energia térmica inclui o movimento não organizado dos átomos e moléculas.

O instrutor deve gastar algum tempo (uma aula de 50 minutos, por exemplo) discutindo esta equação e cada um dos termos que a compõem. Alguns exemplos podem ser trabalhados. Se uma força é aplicada sobre um bloco que se move com velocidade constante, em um plano horizontal, então $\Delta E_{\text{cin}} = \Delta E_{\text{pot}} = 0$, e $\Delta E_{\text{térmica}} > 0$. Se levamos um livro desde o solo até o topo de uma mesa, temos $\Delta E_{\text{cin}} = 0$, $\Delta E_{\text{pot}} > 0$, e $\Delta E_{\text{térmica}} = 0$. Em ambos os casos, as forças que empurram o bloco ou levantam

o livro são forças externas não conservativas que atuam sobre o sistema (bloco ou livro) e transferem Energia ao sistema.

O instrutor deve distinguir o sistema de sua vizinhança ou meio ambiente. Devemos lembrar a diferença entre sistema isolado quando o sistema não interage com a vizinhança, do sistema em equilíbrio, quando não ocorre transferência líquida de Energia sobre, ou pelo sistema.

Energia Mecânica (E_{mec}) é a energia relacionada ao movimento, ou à capacidade para realizar um movimento. A Energia Mecânica pode ser do tipo cinética ou potencial. A energia cinética (E_{cin}) é a energia dos objetos em movimento, quando estes possuem uma determinada velocidade. A Energia Cinética é mais facilmente aceita pelos estudantes como Energia de movimento, por ser mais tangível. Esta Energia de movimento, em um instante qualquer é dada pela quantidade:

$$E_{cin} = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

Onde:

E_{cin} = energia cinética
 m = massa
 v = velocidade

Quadro A.1 – Definição de energia cinética

Agora, como os estudantes podem compreender um conceito mais abstrato como Energia Potencial? A Energia Potencial pode ser entendida como Energia de interação. A Energia Potencial Gravitacional tem sua origem na interação gravitacional entre dois corpos. A energia potencial elástica tem sua origem na interação que ocorre devido à força de uma mola. Assim, a energia potencial (E_{pot}) é a energia que está relacionada à posição em que um objeto se encontra em relação a um referencial. A energia potencial, ou mais precisamente a mudança na energia potencial ΔE_{pot} , é uma medida da mudança configuracional (energia de posição) em

um sistema de partes interagentes. Existem vários tipos de energia potencial, cada um associado a um tipo diferente de força. A energia potencial é uma forma conveniente de descrever o trabalho realizado por forças conservativas internas, ou seja, forças entre partes do sistema, em oposição ao trabalho externo realizado por forças que têm sua origem nas vizinhanças do sistema. Em relação à mecânica tratada no nível médio, os tipos mais importantes são a energia potencial gravitacional (E_{potg}) para a “Terra plana”, e a energia potencial elástica (E_{pote}) para uma mola ideal.

$$E_{potg} = m \cdot g \cdot h$$

Onde:

E_{potg} = energia potencial gravitacional
m = massa
g = aceleração da gravidade
h = posição em relação a um referencial

Quadro A.2 – Energia potencial para um campo gravitacional uniforme.

$$E_{pote} = \frac{k \cdot x^2}{2}$$

Onde:

E_{pote} = energia potencial elástica
k = constante elástica
x = posição da mola ou elástico em relação a posição natural

Quadro A.3 – Energia potencial elástica de um sistema massa-mola.

A Energia Potencial é uma forma de Energia (ou variável de estado) do sistema e não a Energia de um objeto em particular. Por exemplo, é incorreto afirmar “que a Energia Potencial da bola é mgh ”. Ao invés, devemos dizer, “a Energia Potencial do sistema bola+Terra é mgh ”. Em um determinado sistema, de acordo com as suas particularidades, pode ocorrer transformação de Energia Cinética em Energia Potencial (gravitacional ou elástica, entre outras). A Energia Potencial não possui um valor absoluto, mas relativo. O “nível zero” da Energia Potencial é sempre uma fonte de confusão para os estudantes. Quando este sistema está isolado, atuando apenas forças conservativas, a Energia Mecânica total do sistema se conserva:

“Em um sistema conservativo, a Energia Mecânica total se conserva, havendo apenas transformação de Energia Potencial em Energia Cinética e vice-versa. Ou:

$$E_{\text{mec}} = \Delta E_{\text{cin}} + \Delta E_{\text{pot}} = \text{constante} \quad (\text{A.3})$$

Podemos agora fornecer uma definição operacional para Energia Mecânica:

Energia mecânica de um sistema é medida pela altura a qual o sistema pode levar uma massa padrão numa interação gravitacional com a Terra [Karplus, 2003].

Os estudantes podem ver que a Energia Mecânica $\Delta E_{\text{cin}} + \Delta E_{\text{pot}}$ é conservada somente para sistemas que estão isolados ou em equilíbrio com o meio ambiente (onde o trabalho líquido realizado pelas forças externas é nulo, ou seja, $W_{\text{ext}} = 0$) e quando o trabalho das forças não conservativas é nulo ($W_{\text{nc}} = 0$). Portanto, a Lei de Conservação de Energia pode ser facilmente conectada com a primeira lei da termodinâmica.

Devemos sempre deixar claro para o estudante que as fórmulas são invenções humanas. Mas, por quê as pessoas inventaram estas fórmulas? Cada uma destas fórmulas resultou do esforço de físicos no intuito de sintetizar, de formar uma ampla generalização que poderia unificar uma variedade de fenômenos sob a mesma rubrica. Muitos conceitos inicialmente distintos foram unificados para formar um cordão. O conceito de Energia propiciou amarrar estas cordas em uma única rede. A formulação matemática do Principio da Conservação da Energia resultou

das necessidades práticas durante a Revolução Industrial. Precisava-se de um modo de comparar a eficiência das máquinas a vapor, dos motores elétricos, dos animais de tração, etc. Tornou-se uma prática aceitável em engenharia comparar o resultado energético de uma máquina com o produto $W=F.d$, onde F é a força e d a distância ao longo da qual a força atua sobre o sistema. A quantidade W foi batizada como Trabalho.

É importante salientar que o Princípio da Conservação da Energia não é derivável das leis da dinâmica. É uma afirmação independente sobre ordem na natureza. A Lei geral da Conservação da Energia, incluindo transferência de calor, ou outras formas de Energia, é uma afirmação nova, que, na maioria dos casos, não tem nada a ver com o teorema do trabalho energia cinética.

A1.4 Lembrar do conceito análogo

Trabalhos na área da cognição têm demonstrado que a categorização ontológica (ontologia = estudo do ser) é a chave para o entendimento do conceito físico [Chi, 1993, 2005, 2006]. As representações são partes centrais do empreendimento científico. Uma parte fundamental de uma representação da energia é a articulação de que tipo de coisa a energia é, ou seja, sua ontologia.

Modelos frequentemente fazem uso de imagens mentais simplificadas para os sistemas físicos. Essas imagens são chamadas de *modelos de trabalho* para o sistema [Karplus, 2003]. Um exemplo é o modelo de partícula para o Sol e para os planetas no sistema solar; neste modelo, o tamanho e a estrutura de cada um desses corpos ignorada e cada corpo é representado como um ponto massivo. Outro exemplo é o campo gravitacional nas vizinhanças da superfície terrestre que é considerado uniforme. Um *modelo de trabalho* é uma abstração da realidade. Jamais poderemos compreender completamente a complexidade de todos os detalhes do sistema real. Modelos de trabalho são sempre representações simplificadas ou idealizadas. Assim, os modelos de trabalho, juntamente com as teorias das quais fazem parte, possuem limitações.

Para o ensino de Energia Mecânica e sua Conservação utilizando analogias propomos três diferentes analogias.

A1.4.1: A substância (líquido) que flui

Argumentamos que um tratamento ontológico de Energia como substância é particularmente produtivo no desenvolvimento da compreensão das trocas de Energia e transformações. Tratar a Energia como uma substância utilizando analogias compara a Energia a um objeto físico real, como defendido por Duit (1987). Atribuir qualidades de um objeto à Energia fornece uma maneira de pensar sobre a sua conservação, armazenamento e transferência. Estabelecer uma concepção de Energia como substância proporciona aos alunos um conjunto rico e bem estabelecido de ferramentas para raciocinar sobre conservação de energia, armazenamento e transferência. Fornecer aos alunos uma concepção de energia mais concreta pode ajudá-los a superar uma suposta aversão a este conceito.

Uma determinada substância (líquido) está armazenada em um recipiente fechado, sem contato com o ambiente externo. Este recipiente contém duas câmaras de formatos diferentes, porém de mesma espessura e altura: câmara 1 e câmara 2 (figura A.1). Inicialmente o conteúdo total da substância (C_T) está armazenado na câmara 1, que se encontra isolada da câmara 2, onde é feito vácuo.

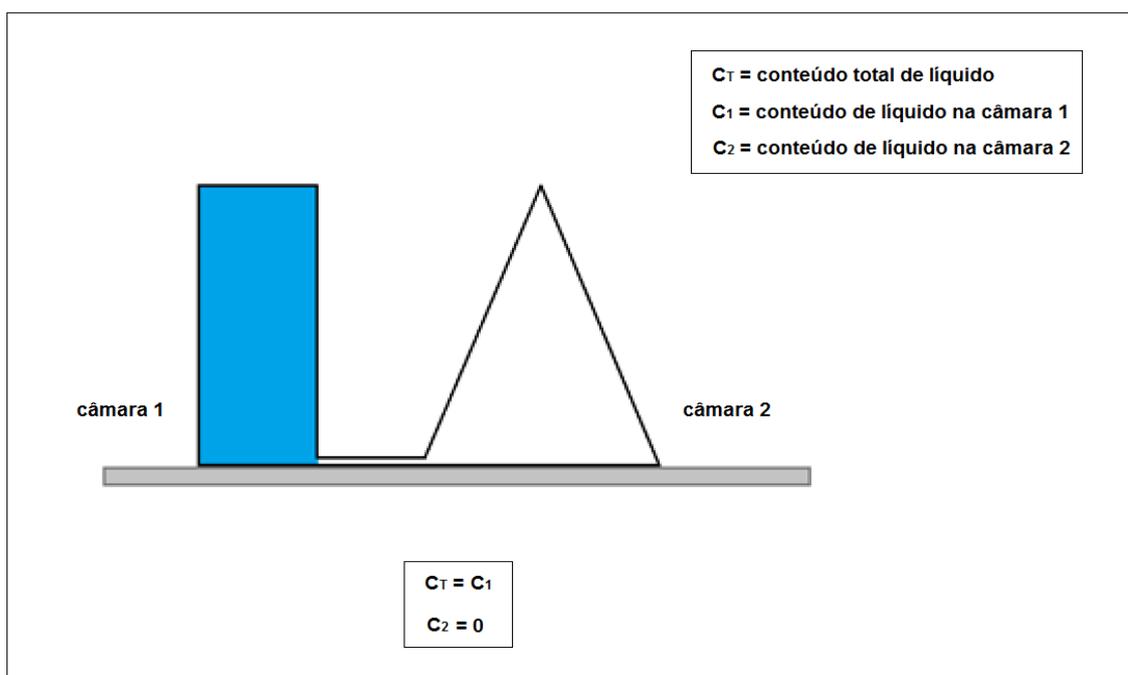


Figura A.1: recipiente contendo a substância que flui

Em um determinado momento, a ligação entre as duas câmaras é aberta e a substância pode fluir da câmara 1 para a câmara 2. Observamos que o conteúdo de líquido da câmara 1 (C_1), sofre uma diminuição enquanto o conteúdo da câmara 2 (C_2) aumenta gradativamente. O processo continua até a altura da coluna de líquido ser a mesma nos dois compartimentos. Neste momento há um equilíbrio e cessa a transferência de substância entre as câmaras. Este fenômeno pode ser explicado através da pressão exercida pelo líquido no fundo do recipiente e pela ação da gravidade. Em nossa análise, a principal constatação é que ao final do processo, o conteúdo total da substância no recipiente não sofre alteração. Temos portanto:

$$C_T = C_1 + C_2 \quad (A.4)$$

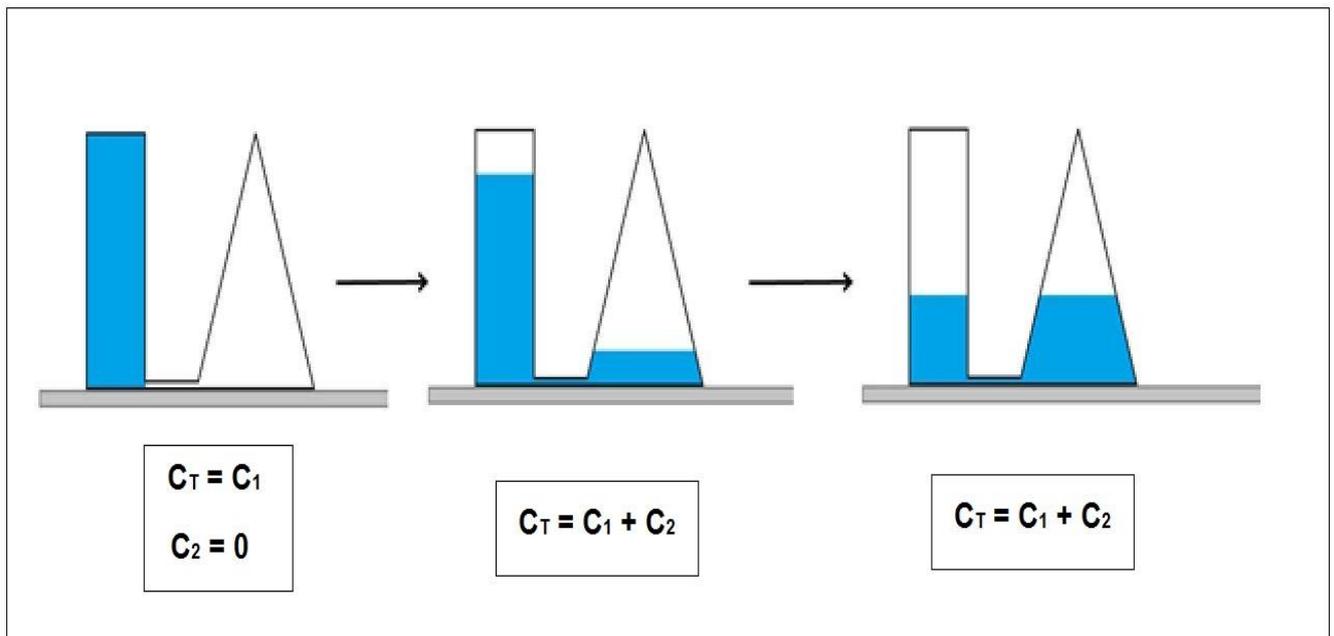


Figura A.2: Processo de transferência de líquido de uma câmara para outra. Há uma mudança na forma, uma divisão entre os recipientes, mas o conteúdo total do recipiente não se altera.

A1.4.2: O baralho

Tanto os especialistas como estudantes utilizam múltiplas e sobrepostas representações que se complementam para as quantidades físicas. Uma outra analogia que propomos é o baralho.

A analogia com o baralho possui uma semelhança com a analogia proposta na seção anterior (líquido que flui). Procuramos oferecer ao aluno uma representação física para Energia, algo que ele possa analisar, contar e manipular. O baralho é familiar aos alunos, é fácil de ser obtido e utilizado. O ponto central da analogia com o baralho, da forma como propomos, é a possibilidade de manuseá-lo de diferentes formas, porém, mantendo a sua quantidade, que é fixa. Feynman (1970), compara a Energia com blocos de brinquedo: não importa o que a criança faz (armazená-los em sua caixa de brinquedos, dá-los a um amigo, perdê-los atrás do sofá) o número de blocos não muda.

Utilizado em jogos de cartas, o baralho modelo francês é composto de 52 cartas, divididas em quatro naipes: paus (♣), ouros (♦), copas (♥) e espadas (♠). Cada naipe possui um ás, um rei, uma rainha, um valete e nove cartas numeradas de 2 a 10.

A1.4.3: Dinheiro em um cofre (conta bancária)

É instrutivo comparar a equação A.2 com valores em um cofre ou uma conta bancária. O balanço não se altera se não ocorrer transferências para a conta ou cofre. A definição simples, inadequada e incompleta de Energia como a “habilidade de realizar trabalho” é análoga a definição de dinheiro como a “habilidade de adquirir bens” [Knight, 2004]. Assim como a Energia, o dinheiro, ou a moeda, pode ser transformado e transferido de vários modos distintos. Como os estudantes estão familiarizados com dinheiro, esta analogia fornece uma imagem mental inicial.

Uma pessoa guarda uma determinada quantia em dinheiro dentro de um cofre, em forma de moedas. Um dia, essa pessoa retira uma certa quantidade de dinheiro em moedas, troca por cédulas no mesmo valor e guarda novamente no cofre. A pessoa repete esta operação por mais dois dias, trocando as moedas por um cheque em um dia e por barras de ouro em outro. Ao final dos três dias, há

moedas, joias, cédulas e um cheque no cofre. A energia cinética é análoga ao dinheiro em espécie (“dinheiro vivo”), a energia potencial é análoga a aplicações, e o trabalho é análogo ao contracheque ($W>0$) ou contas a pagar ($W<0$).

Através da analogia monetária, fica mais diretamente visualizável que há vários modos de transferir Energia de, ou para, um sistema. Os estudantes podem compreender melhor a convenção de sinais. O trabalho será positivo (negativo) quando transfere energia para o (do) sistema.

A1.5 - Identificar as características do conceito alvo e dos análogos

A1.5.1 Substância (líquido) que flui:

- pode ser armazenada, guardada em um recipiente;
- pode ser transferida de um lugar para outro espontaneamente;
- pode mudar sua forma;
- possui massa, é material; e,
- pode ocupar totalmente uma das câmaras, pode se dividir entre os dois recipientes, mas seu volume total não se altera.

A1.5.2 Baralho:

- pode ser guardado e manipulado;
- há diferentes tipos de cartas;
- as cartas possuem um valor numérico; podem ser contadas
- possui massa, é material; e,
- possui quantidade e forma definida.

A1.5.3 Dinheiro em um cofre:

- pode ser guardado, armazenado;
- possui massa, é material;
- pode possuir diferentes formatos, diferentes aspectos;
- pode ser trocado de formato; e,
- possui um valor numérico, monetário total que não se altera.

A1.5.4 Energia Mecânica:

- pode ser armazenada;
- pode ser de tipos diferentes (cinética ou potencial), com características diferentes, ou pode ser dos dois tipos ao mesmo tempo;
- pode se transformar de um tipo em outro;
- não possui forma definida;
- não possui massa (e nem peso); e,
- possui uma quantidade total que não se altera em um sistema conservativo.

Vamos agora discutir a distinção importante entre *transferência* e *transformação* de Energia. A Energia pode ser transformada de um tipo a outros (de potencial a cinética, por exemplo) e transferida de um sistema para outro. Alguns livros didáticos afirmam incorretamente que “*A Energia é transferida de Energia Cinética para Energia Gravitacional*”.

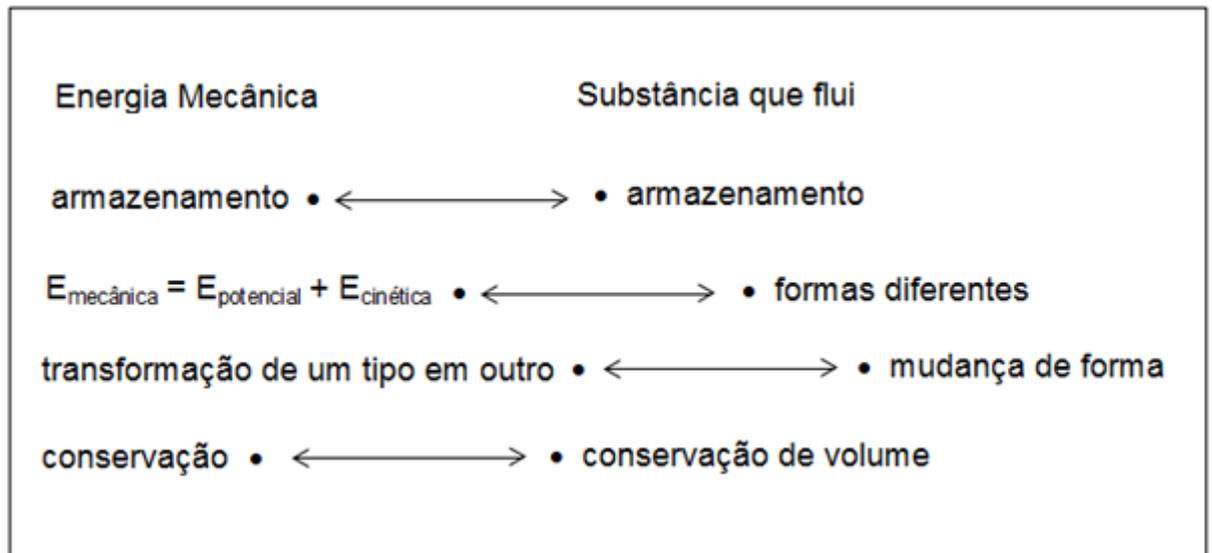
Devemos deixar claro para os alunos que a transformação de Energia ocorre dentro de um sistema (no caso da analogia com a conta bancária, a riqueza pode ser transformada em ações, embora é comum utilizar a palavra transferência “*vou transferir o dinheiro da poupança para a minha conta corrente*”). Por exemplo, a Energia Potencial de um sistema menino + Terra é transformada em Energia Cinética conforme ele desce num escorregador. Assim, a Energia Cinética não está associada unicamente com o movimento do menino, mas como parte da Energia total do sistema que está sendo transformada.

A transferência de Energia ocorre através dos limites do sistema e pode resultar numa mudança na Energia total do sistema. Os mecanismos de transferência incluem trabalho e calor.

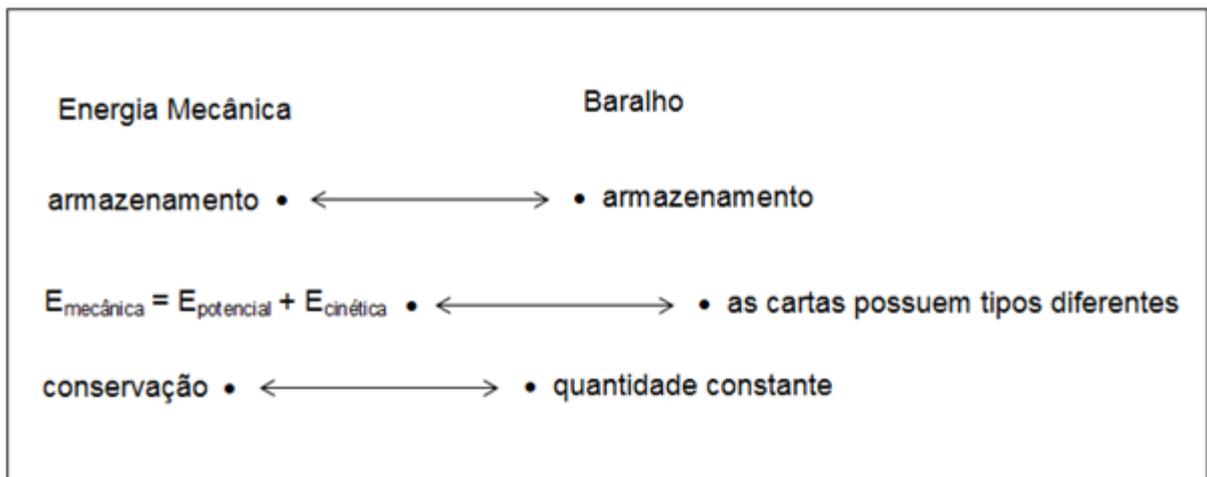
A1.6 Identificar as características relevantes entre os dois domínios e conectar (mapear) as similaridades entre o alvo e os análogos.

Na utilização de analogia, devemos nos concentrar na promoção da compreensão dos alunos sobre as propriedades do conceito de Energia. Neste ponto é que a analogia conceitual de Energia, como uma substância que pode ser: i) armazenada, ii) transferida, iii) conservada deve ser percebida pelo aluno. Os

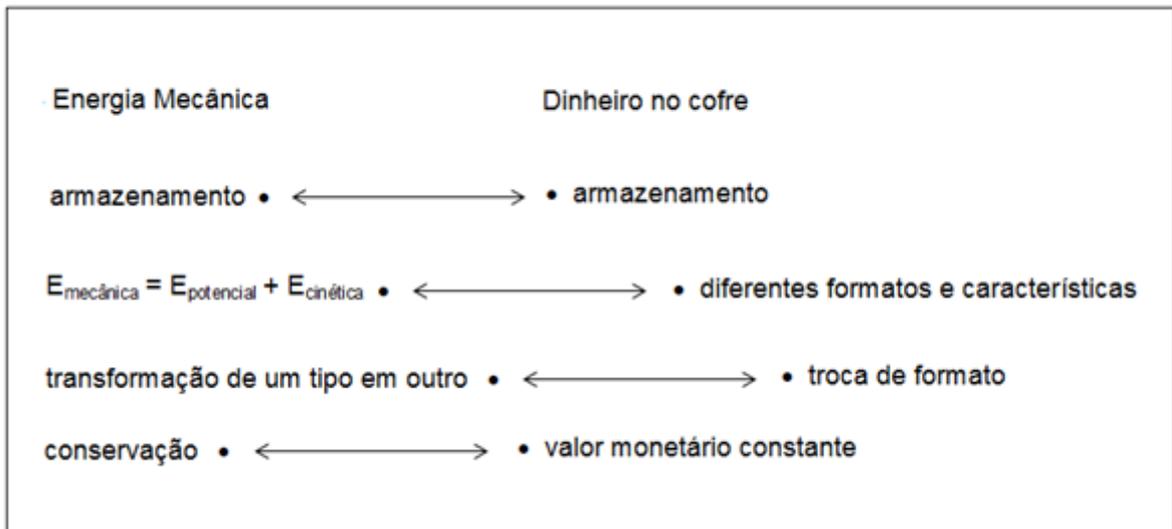
quadros A.4, A.5 e A.6 apresentam algumas das conexões, entre o análogo e o conceito alvo, que esperamos que possam ser percebidas e compreendidas pelos alunos.



Quadro A.4 – Conexões entre Energia Mecânica e a substância que flui



Quadro A.5 – Conexões entre a Energia Mecânica e o baralho



Quadro A.6 – Conexões entre a Energia Mecânica e o dinheiro em um cofre (conta)

A1.7 Indicar onde a analogia falha

Uma característica dos modelos é que nenhum deles descreve perfeitamente a realidade, e não podemos afirmar, a priori, que um modelo é “correto”. De fato, os conceitos de “certo” e “errado” não se aplicam a modelos. Um modelo pode ser mais ou menos adequado, dependendo de como ele representa a funcionalidade do sistema que supostamente representa. Devemos determinar se um modelo em particular é bom o suficiente para os seus propósitos, ou se há necessidade de buscarmos um modelo melhor.

Uma preocupação comum sobre a introdução de uma analogia de Energia como substância é que isso pode introduzir uma física errada, uma vez que tal substância não existe [Beynon, 1990], [Chi, 2005]. No entanto, Gupta *et al.* (2010) contra argumentam que o raciocínio científico cotidiano é cheio de exemplos de ontologias flexíveis, como as exigidas pelo uso de analogias. Somos capazes de considerar a Energia como algo material, quando se é produtivo para a compreensão de um raciocínio, e reclassificá-la ontologicamente para outros fins. A análise dos conceitos de Energia de Amin (2009), concorda com Gupta *et al.* e afirma que a metáfora é uma ferramenta produtiva para o desenvolvimento da compreensão e é amplamente utilizado, não só em concepções científicas de Energia, mas também em utilizações leigas da Energia. Amin também realizou uma análise de metáforas conceituais de energia e sugeriu que o desenvolvimento da

compreensão de um conceito abstrato pode confiar extensivamente na projeção metafórica do conhecimento experiencial. Projeção metafórica é particularmente útil no desenvolvimento de uma compreensão de Energia, uma vez que é difícil categorizar Energia ontologicamente, uma vez que não é nem material, nem processo, nem acontecimento histórico [Brewer, 2011].

Dentre as falhas dos modelos análogos apresentados, podemos destacar:

- A Energia Mecânica não é material; não tem massa e nem peso, diferente do baralho, da substância e do dinheiro. De acordo com Arons (1965): “Energia não é uma substância, fluido, tinta, ou combustível que é borrifada sobre os corpos e raspada de um para outro. Nós utilizamos este termo (Energia) para simbolizar uma construção – números, calculados de um modo prescrito, que são encontrados pela teoria e experimento para preservar uma relação notavelmente simples em vários fenômenos físicos dispersos”.
- A Energia Mecânica não possui forma definida. A substância líquida que flui também não possui forma definida, entretanto, ao ocupar um recipiente, assume a forma deste. As cartas do baralho possuem um formato próprio, característico. O dinheiro em um cofre pode mudar de tipo (cédula, moeda, ações), porém, em qualquer um destes, terá uma forma definida.
- A Energia Mecânica pode, espontaneamente, ser transformada de um tipo em outro (potencial gravitacional em cinética, por exemplo), já o dinheiro, não pode mudar de tipo espontaneamente. As cartas do baralho também não podem ter seus naipes, valores ou forma modificada.
- O dinheiro guardado dentro de um cofre, não sofre alteração em seu conteúdo material, em sua quantidade, entretanto, seu valor econômico pode não se conservar. As cédulas e as moedas podem perder seu valor se a moeda do país for modificada; cheques dependem de data; ações e barras de ouro podem ganhar ou perder valor no mercado.
- Nem o baralho nem o dinheiro em um cofre podem ser considerados sistemas completamente isolados, pois necessitam de um auxílio externo para sofrerem transformações.

A1.8 Traçar as conclusões sobre o conceito alvo

A Energia Mecânica não possui caráter material, pode ser do tipo cinética, potencial ou a soma dos dois; pode ser transformada de um tipo em outro e seu valor total, em um sistema isolado, se conserva.

A2. CONSIDERAÇÕES

O objetivo deste material foi ser um subsídio para uma aula sobre Energia Mecânica e Conservação de Energia utilizando uma abordagem conceitual e uma metodologia de ensino ancorado no uso de analogias (TWA). De acordo com determinadas especificidades das turmas, da disponibilidade de tempo ou de recursos, esta aula pode sofrer adaptações. Entendemos que as possibilidades de utilização do material proposto são muitas, e acreditamos que este é um dos aspectos positivos do mesmo. Portanto, fica a cargo da criatividade e das necessidades do professor buscar a melhor forma de utilização do material proposto, a forma que seja mais adequada à sua prática docente.

APÊNDICE B

Sugestão de um guia atividades para uma aula sobre Energia Mecânica e sua Conservação utilizando analogias

B1. INTRODUÇÃO

Apresentamos a seguir um guia de atividades para uma aula sobre Energia Mecânica e sua Conservação utilizando analogias. O guia é uma sugestão de como utilizar as ideias propostas no Apêndice A. A metodologia proposta (TWA) está firmemente ancorada na ideia de interação e diálogo frequente entre professor e alunos. A estrutura e organização da maioria das escolas em nosso país, entretanto, não está adaptada a esta necessidade: as salas são lotadas, os alunos ficam em fileiras, com o professor à frente, em uma posição de destaque, em um esquema onde só o professor fala e os alunos escutam. Diante desta problemática, propomos uma atividade para ser realizada em grupos, onde os alunos são levados a seguir os passos da metodologia TWA de maneira sequencial e auto instrucional ao realizarem as tarefas e responderem as perguntas propostas pelo guia. Acreditamos que desta forma a utilização do método ganha em eficiência e ainda permite uma maior liberdade ao professor para percorrer os grupos e atender os alunos. O guia apresentado traz uma proposta de trabalho para uma analogia entre a Energia Mecânica e um baralho. Sugerimos que a turma seja dividida em grupos de quatro alunos, onde cada grupo receberá uma cópia do guia e uma embalagem contendo um baralho completo como materiais. O guia deve ser utilizado após a exposição oral do conceito alvo, que configura o primeiro passo da metodologia utilizada.

B2. O GUIA

Instituição de ensino: _____

Componentes do grupo:

Turma: _____

Data: _____

Guia de atividade complementar à aula de Física sobre Energia Mecânica e Conservação de Energia

ATIVIDADES INICIAIS

Tarefa (1): Cite 3 características ou ideias sobre Energia Mecânica que os componentes do grupo recordem a partir da explicação do professor(a)

Vocês receberam uma embalagem contendo um baralho com 52 cartas divididas em 4 grupos correspondentes a quatro naipes: copas, ouro, paus e espadas, de acordo com a tabela a seguir:

Copas ♥	Espadas ♠	Ouros ♦	Paus ♣
(K) Rei	(K) Rei	(K) Rei	(K) Rei
(Q) Dama	(Q) Dama	(Q) Dama	(Q) Dama
(J) Valete	(J) Valete	(J) Valete	(J) Valete
10	10	10	10
9	9	9	9
8	8	8	8
7	7	7	7
6	6	6	6
5	5	5	5
4	4	4	4
3	3	3	3
2	2	2	2
Âs de Copas	Âs de Espadas	Âs de Ouros	Âs de Paus

Tarefa (2): Separar e ordenar as cartas do baralho por naipe, de acordo com a tabela.

Tarefa (3): Cada componente do grupo deverá tomar para si todas as cartas referentes a um mesmo naipe (um componente fica todas as cartas de espadas, outro com todas as cartas de copas e assim sucessivamente).

Tarefa (4): Respondam as perguntas:

a) Qual o formato geométrico das cartas?

b) Quantas e quais são as cores principais das cartas?

c) Qual a quantidade total de cartas numéricas contidas no baralho?

d) Qual a quantidade total de cartas com letras contidas no baralho?

ATIVIDADE CENTRAL

Tarefa (1): Os componentes do grupo deverão se dispor ao redor da mesa, cada um em um lado da mesma para iniciar as atividades propostas.

1ª Rodada: cada um dos componentes do grupo deverá selecionar, entre suas cartas, sem que os outros vejam, duas cartas com letras e dispor sobre a mesa com a face virada para baixo. Colocar umas sobre as outras e montar uma pilha de cartas. Esta será a *pilha 1*.

2ª Rodada: Considere que cada carta numérica possua uma pontuação associada ao número impresso na carta. Exemplo: a carta 3 de ouros vale 3 pontos; a carta 7 de paus vale 7 pontos. Cada um dos componentes do grupo deverá selecionar, entre suas cartas, sem que os outros vejam, uma quantidade qualquer de cartas numéricas que totalize 20 pontos e dispor sobre a mesa com a face virada para baixo. Colocar umas sobre as outras e montar uma pilha com as cartas. Esta será a *pilha 2*.

3ª Rodada: Cada um dos componentes do grupo deverá escolher, entre suas cartas, sem que os outros vejam, duas cartas quaisquer e dispor sobre a mesa com a face voltada para baixo. Colocar umas sobre as outras e montar uma pilha com as cartas. Esta será a *pilha 3*.

Após as três rodadas, cada componente do grupo deverá revelar aos outros as cartas que ainda tem nas mãos.

Tarefa (2): Sem revelar as cartas presentes nas pilhas 1, 2 e 3, respondam:

a) Qual a quantidade de cartas com letras presentes na pilha 3? Quais são essas cartas?

b) Qual o total de pontos das cartas numéricas presentes na pilha 3?

c) Explique como o grupo conseguiu chegar às respostas dos itens a) e b).

ATIVIDADES FINAIS

Tarefa (1): Responder

a) Que semelhanças podemos perceber entre a atividade com as cartas do baralho e o comportamento da Energia Mecânica em um sistema isolado?

b) Que diferenças podemos apontar entre as cartas do baralho e a Energia Mecânica em um sistema isolado?

Tarefa (2): Após a aula ministrada pelo professor e a atividade realizada com o baralho, o que podemos concluir a respeito do comportamento da Energia Mecânica em um sistema isolado?

APÊNDICE C

Análise de Livros Didáticos de Física

C1. INTRODUÇÃO

Foi realizada uma análise em sete livros didáticos de Física amplamente utilizados por professores de escolas públicas e particulares no trabalho direto com os alunos. Alguns livros fazem parte do Programa Nacional do Livro Didático para o Ensino Médio (PNLEM), que objetiva a universalização da distribuição do livro didático a alunos de escolas públicas de todas as séries do Ensino Médio no Brasil. O objetivo principal desta análise é verificar a forma como o tema Conservação da Energia Mecânica é trabalhado por estes livros. Esta análise se faz necessária para apontar as principais características do texto apresentado pelos livros e, assim, fundamentar e nortear a nossa pesquisa. Pois, entendemos que atualmente o livro didático é o principal instrumento utilizado pelos professores e, por isso mesmo, acaba se tornando um reflexo da prática docente dos mesmos.

Os livros escolhidos foram: 1) [*Bonjorno, 1997*]- Temas de Física, 2) [*Filho, 2013*]- Física: Interação e Tecnologia, 3) [*Gaspar, 2008*]- Física, 4) [*Guimarães, 2014*]- Física, 5) [*Kazuhito, 2013*]- Física para o Ensino Médio, 6) [*Luz, 2014*]- Física: Contexto & Aplicações, 7) [*Sant' Anna, 2010*]- Conexões com a Física

C2. ANÁLISE DOS LIVROS

C2.1 Livro 1

No livro 1, Temas de Física, de Jose Roberto Bonjorno *et al*, há um capítulo inteiro dedicado à temática da Energia. No começo do capítulo, os autores apresentam uma definição de Energia como a capacidade de realizar Trabalho. O estudo do tema tem início com Trabalho de uma força, dá sequência introduzindo os conceitos de Energia Cinética e Potencial para em seguida relacionar estes conceitos com o de Trabalho, através de teoremas. Apenas no final do capítulo o autor aborda a Conservação da Energia Mecânica. São expostos alguns exemplos e em seguida é

enunciado o Princípio da Conservação da Energia. Em todo o capítulo são 162 exercícios, destes, apenas 12 são conceituais. O livro não traz qualquer proposta de atividade prática e não apresenta contextualização histórica

C2.2 Livro 2

O livro Física - Interação e Tecnologia, de Aurélio Gonçalves Filho e Carlos Toscano apresenta o conteúdo de Energia Mecânica em um capítulo específico, que se inicia a partir da abordagem da Conservação da mesma. Os conceitos de Energia Cinética e Potencial são apresentados através de uma análise conceitual do balanço energético em uma determinada situação (lançamento vertical e queda livre). O conceito de Trabalho de uma força e a sua relação com a Energia são estudados em um capítulo à parte. Não há a apresentação formal de um enunciado do Princípio da Conservação da Energia Mecânica. Há ainda um estudo da dissipação de Energia a partir análise da Energia Potencial Elástica. Apesar de utilizar um enfoque mais conceitual, o livro não apresenta propostas de atividades experimentais ou práticas e também não traz qualquer tipo de abordagem histórica. O destaque é a quantidade de exercícios qualitativos/conceituais: 18 de um total de 46.

C2.3 Livro 3

O livro Física – Volume Único, de Alberto Gaspar traz os conteúdos relacionados à Energia separados em dois capítulos. O primeiro trata da Energia de modo geral, com os conceitos de Energia cinética e Potencial sendo apresentados a partir da sua relação com o Trabalho e a variação deste. Tudo isto ilustrado por equações e exemplos numéricos. O segundo capítulo trata especificamente da Conservação da Energia Mecânica, que é apresentada através de alguns poucos exemplos conceituais, uma série de equações e resolução de exemplos numéricos. Não é trabalhada a questão histórica e nem discutida a importância da Energia para a sociedade. Nos dois capítulos são sugeridas atividades práticas de investigação relacionadas ao tema. Ao somarmos os dois capítulos, encontramos 42 exercícios, com apenas cinco deles de caráter conceitual.

C2.4 Livro 4

No livro Física, de Osvaldo Guimarães, José Roberto Piqueira e Wilson Carron, encontramos uma sequência didática diferenciada. Em um capítulo inteiramente dedicado ao estudo da Energia, o autor inicia com a análise das principais formas de Energia encontradas na natureza, da sua importância para a sociedade e apresenta a sua principal característica, a Conservação, sob a forma de um enunciado geral. Em seguida os autores abordam em sessões separadas, porém sequenciais, o Trabalho de uma força, a Potência e a Energia Mecânica. Nesta última, são abordadas as Energias Cinética, Potencial Gravitacional e Elástica e a relação entre estas Energias e o Trabalho. Em uma sessão posterior, os autores retornam ao Princípio da Conservação da Energia em um enunciado mais detalhado e com uma discussão conceitual. O livro apresenta ainda, ao final do capítulo, uma proposta de pesquisa histórica e de uma atividade prática. São apresentados 28 exercícios, dos quais 12 são conceituais.

C2.5 Livro 5

Em Física para o Ensino Médio, de Yamamoto Kazuhito e Luiz Felipe Fuke, há um capítulo específico para o estudo da Energia Mecânica, que aparece em sequência a um capítulo sobre Trabalho de uma força. No início há uma discussão sobre a importância da Energia para o ser humano e a sociedade de forma geral. Ainda no início do capítulo é inserido um texto sobre a história da construção do conceito de Energia, apenas a título de ilustração, sem conexão com o texto principal. Na sequência, os conceitos de Energia Cinética, Potencial Gravitacional e Elástica são apresentados a partir de deduções matemáticas das equações do Trabalho, de Torricelli e da Segunda Lei de Newton. O Princípio da Conservação da Energia é estudado no final do capítulo, onde não é enunciado de modo formal. No final do capítulo, os autores apresentam a sugestão de uma atividade prática relacionada à análise da Energia em um pêndulo. Há vários exemplos resolvidos (todos numéricos) e 20 exercícios propostos, dos quais apenas cinco são qualitativos.

C2.6 Livro 6

O livro *Física: Contexto & Aplicações*, de Antônio Máximo Ribeiro da Luz e Beatriz Alvarenga desenvolve o conceito de Energia Mecânica e sua Conservação em um capítulo único. Inicia com o estudo do Trabalho e da Potência e continua com a apresentação da Energia Cinética e Potencial através da sua relação com o Trabalho por meio de deduções matemáticas. Não há uma análise da questão social e econômica do tema e nem uma contextualização histórica do conceito. No final do capítulo, a Conservação da Energia Mecânica é apresentada através da análise da relação entre Trabalho das forças dissipativas e conservativas em um sistema e com um enunciado formal do princípio da Conservação da Energia de forma geral. Um dos destaques são as proposta de atividades investigativas, uma delas de caráter interdisciplinar (com a disciplina de Biologia). São apresentados vários exemplos numéricos e 57 exercícios no total, com apenas oito deles conceituais.

C2.7 Livro 7

Blaidi Sant'Anna *et al* apresentam os conteúdos relacionados à temática da Energia Mecânica divididos em três capítulos. O primeiro trata de Trabalho, Potência e Energia Cinética, mostrando a relação entre estes por meio de equações e exemplos numéricos. O segundo capítulo é inteiramente dedicado ao estudo da Energia Potencial (gravitacional e elástica), também com equações e exemplos numéricos. Por último, há um capítulo sobre as transformações da Energia Mecânica, onde a Conservação é analisada de modo mais conceitual. Ao longo dos três capítulos, de modo segmentado, a importância da temática da Energia para a sociedade humana é apresentada, porém não há uma proposta de construção histórica do conceito. No final do último capítulo a tratar sobre o tema, os autores sugerem uma atividade investigativa para ser realizada em grupo. Há um enunciado formal da lei de Conservação de Energia na forma geral. A grande maioria dos exercícios propostos nos três capítulos é quantitativa, explorando o uso de equações.

C3. RESUMO DA ANÁLISE DOS LIVROS

De acordo com o exposto nesta breve análise de livros didáticos do Ensino Médio sobre a temática da Energia e sua Conservação, podemos resumir tais dados em uma tabela de modo a tornar o presente capítulo mais inteligível ao leitor. Os livros serão organizados na primeira linha da tabela conforme numeração já exposta anteriormente:

Livro 1) [*Bonjorno, 1997*]- Temas de Física;

Livro 2) [*Filho, 2013*]- Física: Interação e Tecnologia;

Livro 3) [*Gaspar, 2008*]- Física;

Livro 4) [*Guimarães, 2014*]- Física;

Livro 5) [*Kazuhito, 2013*]- Física para o Ensino Médio;

Livro 6) [*Luz, 2014*]- Física: Contexto & Aplicações;

Livro 7) [*Sant'Anna, 2010*] Conexões com a física;

CARACTERÍSTICA	LIVRO						
	1	2	3	4	5	6	7
Construção histórica do conceito de Energia e Conservação	não	não	não	não	não	não	não
Importância e/ou contexto social e econômico do tema	não	não	não	sim	sim	não	sim
Ênfase na construção de ideias através de abordagem conceitual	não	sim	não	não	não	não	não
A quantidade de exemplos e exercícios conceituais é satisfatória	não	sim	não	sim	não	não	não
Enunciado formal do Princípio da Conservação da Energia	sim	não	não	sim	não	sim	sim
Sugere atividades práticas e de pesquisa	não	não	sim	sim	sim	sim	sim

Tabela C1: Resumo da análise dos livros

Apesar de não ter sido realizada com uma grande quantidade de obras, a análise dos livros didáticos nos oferece um panorama satisfatório da realidade do ensino da temática da Energia Mecânica e sua Conservação. Um dos aspectos que logo nos salta aos olhos é a não utilização do enfoque histórico na construção dos conceitos. Em nenhuma das obras tal característica foi percebida. A questão da abordagem quantitativa em detrimento da análise conceitual também pode ser percebida na maioria das obras, inclusive pela quantidade de exercícios apresentadas nesta linha. Um fato interessante e animador foi o número de livros que propõem atividades de investigação e práticas, a maioria, talvez por exigência do PNLEM.

BIBLIOGRAFIA

[Amin, 2009] AMIN, T. G. **Conceptual metaphor meets conceptual change.** Human Development, 52, 165-197, 2009.

[Arons, 1965] ARONS, Arnold B. **Development of Concepts of Physics: From the Rationalization of Mechanics to the First Theory of Atomic Structure.** Addison-Wesley, Reading, MA, 1965.

[Arons, 1989] ARONS, Arnold B. **Developing the Energy Concepts in Introductory Physics** The Physics Teacher, 27, 506, 1989.

[Arons, 1999] ARONS, Arnold B. **Development of energy concepts in introductory physics courses.** American Journal of Physics, 67, 12, December, 1999.

[Beynon, 1990] BEYNON, J. **Some Myths Surrounding Energy.** Phys. Educ., v. 25, n. 6, 314 - 316, 1990.

[Bonjorno, 1997] BONJORNIO, José Roberto. *et al.* **Temas de Física – v. 1 – São Paulo: FTD, 1997.**

[Bozelli, 2010] BOZELLI, F. C. **Saberes docentes mobilizados em contextos interativos discursivos de ensino de física envolvendo analogias** [tese]. Bauru, 2010.

[Brewer, 2011] BREWER, E. **Energy as a substancelike quantity that flows: Theoretical considerations and pedagogical consequences.** Physical review special topics - Physics education research, 7, 2011.

[Chi, 1993] CHI, M. T. H.; SLOTTA, J. D. **The ontological coherence of intuitive physics**, Cogn. Instr. 10, 249,1993.

[Chi, 2005] CHI, M. T. H. **Common sense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust**. Journal of the Learning Sciences, 14,161-199, 2005.

[Chi, 2006] . CHI, M. T. H.; SLOTTA, J. D. **Helping students understand challenging topics in science through ontology training**, Cogn. Instr. 24, 261, 2006.

[DCNEM 1998] **Conselho Nacional de Educação. Diretrizes Curriculares Nacionais para o Ensino Médio** (parecer CEB no 15/98, aprovado em 01/06/98. <http://www.inep.gov.br>

[Driver, 1985] DRIVER, R.; WARRINGTON, L. **Students' use of the principle of energy conservation in problem situations**, Phys. Educ. 20, 171,1985..

[Duarte, 2005] DUARTE, M. C. **Analogias na educação em ciências: contributos e desafios**. Investigações em Ensino de Ciências – v.10(1), pp. 7-29, 2005.

[Duit, 1987] DUIT, R. **Should energy be illustrated as something quasimaterial?** International Journal of Science Education, 9, 139–145, 1987.

[Feynman, 1970] FEYNMAN, R. P.; LEIGHTON, R. B.; SANDS M. **The Feynman Lectures on Physics** Addison-Wesley, Reading, MA, 1970.

[Filho, 2013] FILHO, Aurélio Gonçalves; TOSCANO Carlos. **Física: Interação e Tecnologia** – v.1 – 1ª ed. – São Paulo: Leya, 2013.

[Florczak, 2012] FLORCZAK, Marcos Antônio; LENZ, Jorge Alberto **Atividades Experimentais sobre conservação da Energia Mecânica**. Física na Escola, v. 13, n. 1, 2012.

[Gaspar, 2008] GASPAR, Alberto . **Física** – volume único – 1ª ed. – São Paulo: Ática, 2008.

[Glynn, 2007] GLYNN, S. M. **The Teaching-With-Analogies Model: Build conceptual bridges with mental models**. Science and children. 52-55, 2007.

[Guimarães, 2014] GUIMARÃES, Osvaldo; PIQUEIRA, José Roberto; CARRON, Wilson. **Física** – v. 1 – 1ª ed. – São Paulo: Ática, 2014.

[Gupta, 2010] GUPTA, A. *et al.* **The case for dynamic models of learners' ontologies in physics**. Journal of the Learning Sciences, 19, 285, 2010.

[Halloun, 2004] HALLOUN, I. A. **Modeling Theory in Science Education**, Kluwer Academic, Dordrecht, 2004.

[Hecht, 2008] HECHT, E. **Energy Conservation Simplified**. The Physics Teacher 46, 77, 2008.

[Hewitt, 2011] HEWITT, Paul G. ; tradução: Trieste Freire Ricci; revisão técnica: Maria Helena Gravina. **Física Conceitual** – volume único – 11ª ed. – Porto Alegre: Bookman, 2011.

[Huevelen, 2001] HEUVELEN, Alan van; ZOU, Xueli **Multiple representations of work-energy processes**, Am. J. Phys. 69, 184-194, 2001.

[Jewett, 2008] JEWETT, J. W., Jr. **Energy and the Confused Student IV: A Global Approach to Energy**. The Physics Teacher, 46, 210, 2008.

[Karplus, 2003] KARPLUS, Robert **Introductory Physics: A Model Approach**, Second Edition, Captain's Engineering Services, Buzzards Bay, 2003.

[Kazuhiro, 2013] KAZUHITO, Yamamoto; FUKU, Luiz Felipe. **Física para o Ensino Médio – v.1 – 3ª ed.** – São Paulo: Saraiva, 2013.

[Knight, 2004] KNIGHT, R. D. **Five Easy Lessons: Strategies for Successful Physics Teaching**. San Francisco, Calif: Addison Wesley, 2004.

[Kuhn, 1977] KUHN, T.S. **A tensão essencial**. Lisboa: Edições 70, 1977.

[Kuhn, 1987] KUHN, T.S. **A estrutura das revoluções científicas**. 2ed. São Paulo: Perspectiva, 1987.

[LDB 1996] **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional** (Lei 9394/96), de 20 de dezembro de 1996, Brasília: MEC, 1996.

[Lehrman, 1973] LEHRMAN, Robert L. **Energy is not the ability to do work**. The Physics Teacher, 11 (1), 15-18, 1973.

[Luz, 2014] LUZ, Antônio Máximo Ribeiro da; ALVARENGA, Beatriz. **Física: Contexto & Aplicações – v. 1 – 1ª ed.** - São Paulo: Scipione, 2014.

[PCNEM 1999] **Parâmetros Curriculares Nacionais/Ensino Médio**. Ministério da Educação e Secretaria da Educação Média e Tecnologia. Brasília: MEC, 1999.

[PCN+ 2002] **Orientações Educacionais Complementares aos parâmetros Curriculares Nacionais/Ensino Médio.** Ministério da Educação e Secretaria da Educação Média e Tecnologia. Brasília: MEC, 2002.

[Sant'anna, 2010] SANT' ANNA, Blaidi. *et al.* **Conexões com a Física – v. 1 – 1ª ed.** – São Paulo: Moderna, 2010.

[Scherr, 2012] SCHERR, R. E. *et al.*

-Representing energy. I. Representing a substance ontology for energy. Physical review special topics - Physics education research, v. 8, 2012

- Representing energy. II. Energy tracking representations. Physical review special topics - Physics education research, 8, 2012.

[Schroeder, 2000] SCHROEDER, D.V. **An Introduction to Thermal Physics,** Addison Wesley, San Francisco, 2000.

[Solbes, 1998] SOLBES, J, TARÍN, F. **Algunas dificultades en torno a la conservación de la energía.** Enseñanza de las Ciencias, v.16, n.3, p.387-397, 1998.