

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO

Simone Bonora Mazaro

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE
TERMODINÂMICA A PARTIR DA LEITURA DA
OBRA *A VOLTA AO MUNDO EM 80 DIAS* DE
JÚLIO VERNE

Passo Fundo

2019

Simone Bonora Mazaro

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE
TERMODINÂMICA A PARTIR DA LEITURA DA
OBRA *A VOLTA AO MUNDO EM 80 DIAS* DE
JÚLIO VERNE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, do Instituto de Ciências Exatas e Geociências, da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática, sob a orientação do Professor Doutor Luiz Marcelo Darroz.

Passo Fundo

2019

CIP – Catalogação na Publicação

M475a Mazaro, Simone Bonora
Aprendizagem significativa de termodinâmica a partir da leitura da obra *A volta ao mundo em 80 dias* de Júlio Verne / Simone Bonora Mazaro. – 2019.
141 f. : il., color. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Marcelo Darroz.
Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade de Passo Fundo, 2019.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Termodinâmica. 3. Aprendizagem.
4. Prática de ensino. I. Darroz, Luiz Marcelo, orientador. II. Título.

CDU: 372.853

Catalogação: Bibliotecária Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569

Simone Bonora Mazaro

APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE
TERMODINÂMICA A PARTIR DA LEITURA DA
OBRA *A VOLTA AO MUNDO EM 80 DIAS* DE
JÚLIO VERNE

A banca examinadora, em 19 de março de 2019, aprova a dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática – Mestrado Profissional da Universidade de Passo Fundo, como requisito parcial de exigência para obtenção de grau de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática, na linha de pesquisa Fundamentos teórico-metodológicos para o ensino de Ciências e Matemática.

Dr. Luiz Marcelo Darroz
Universidade de Passo Fundo

Dra. Ana Marli Bulegon
Universidade Franciscana

Dra. Cleci Teresinha Werner da Rosa
Universidade de Passo Fundo

Dr. Jucelino Cortez
Universidade de Passo Fundo

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao professor e orientador, Dr. Luiz Marcelo Darroz, pela dedicação, atenção e incentivo nos momentos difíceis e bons pelos quais passei, e por me ajudar a concretizar mais uma etapa da minha trajetória. Sou grata pelas vezes em que me motivou, apoiou e dedicou o seu tempo, contribuindo muito com o seu conhecimento. O senhor é uma pessoa simples, que gosta do que faz, um excelente profissional em Educação e que não mediu esforços para me auxiliar quando precisei.

Aos professores do mestrado profissional em Ensino de Ciências e Matemática da UPF, que dividiram suas experiências e transmitiram seus conhecimentos durante essa etapa.

À minha família, em especial ao meu esposo, Celso Antonio, com quem dividi as angústias, os medos, as dúvidas e as conquistas. Agradeço por me ajudar, apoiar, compreender, ouvir e contribuir com suas palavras de ânimo, dando-me força e coragem para prosseguir neste sonho e chegar até o final. Aos meus filhos, João Antonio e Camila, por compreenderem a falta de tempo, de atenção e a minha ausência nesta etapa.

Aos meus pais e familiares, pela preocupação, pelo apoio e pela compreensão nos momentos em que me ausentei.

Aos colegas de mestrado, pela amizade, pelo companheirismo, por momentos de alegria e descontração, pelas palavras de motivação e pelos conhecimentos compartilhados e adquiridos.

Aos queridos estudantes da turma do segundo ano do ensino médio da Escola Cláudio Antônio Benvegnú, do município de Água Santa, por terem feito parte do desenvolvimento desta dissertação, pelo interesse, pelo comprometimento e pela motivação em participar das atividades propostas.

À Escola Estadual Cláudio Antônio Benvegnú, na pessoa de sua diretora, Profa. Simone Estela Coser dos Reis, e aos colegas professores, pelo incentivo e por me fazerem acreditar no potencial transformador da educação.

Ao Badu, por ter contribuído com seu conhecimento e talento, dando um traço original e especial a esta dissertação.

Por fim, a Deus, por guiar meus caminhos e meus pensamentos com sua Luz e por me permitir alcançar a concretização desta fase.

A todos que contribuíram para esta concretização, meu carinho, minha gratidão e meu respeito.

“Porque aquilo que já sei é mera repetição, mas aquilo que eu não sei é o que me renova, o que me faz crescer. O conhecimento é algo que me reinventa, recria, renova. Por isso, é preciso ter humildade para que possamos aprender a fazer melhor aquilo que fazemos. Para que aquilo que realizamos sirva para a vida em abundância. Você não precisa deixar o lugar em que está para fazer melhor. É fazer melhor onde você está”.

(CORTELLA, 2014, p. 47).

RESUMO

O presente texto refere-se a um estudo investigativo sobre aprendizagem significativa de Termodinâmica a partir da leitura da obra *A volta ao mundo em 80 dias*, de Júlio Verne. A investigação insere-se na linha de pesquisa “Fundamentos teórico-metodológicos para o ensino de Ciências e Matemática”, do mestrado profissional em Ensino de Ciências e Matemática, do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM), da Universidade de Passo Fundo (UPF). Busca uma maior aproximação entre os conteúdos da Termodinâmica e situações vivenciais dos estudantes, visto que a maioria deles considera a Física de difícil compressão, vinculada a metodologias distantes da realidade onde estão inseridos. Unir a Literatura e o Ensino de Física poderia ser um caminho para despertar o interesse e a motivação do aprendiz, pois, segundo Zanitic (2006), juntar essas duas áreas proporciona uma aprendizagem mais completa e efetiva do mundo que o cerca. O principal objetivo do estudo consiste em investigar a eficácia de uma sequência didática de Termodinâmica para a promoção da aprendizagem significativa a partir da obra literária supracitada. A problemática situa-se em investigar as potencialidades dessa sequência didática para a promoção da aprendizagem significativa. A proposta, apoiada nos fundamentos básicos da TAS, é constituída de três etapas, que foram estruturadas em dez encontros e desenvolvidas numa turma do segundo ano do ensino médio em uma escola pública estadual do município de Água Santa, RS. Em cada encontro, foram aplicados instrumentos de pesquisa para identificar os subsunçores presentes na estrutura cognitiva dos estudantes, organizadores prévios para estabelecer a ligação entre os conhecimentos prévios e os assuntos abordados e estratégias didáticas favorecedoras da ocorrência da aprendizagem almejada. A pesquisa é de natureza qualitativa e participante, e a proposta foi avaliada com base na verificação de dois aspectos principais: **material potencialmente significativo**, através do diário de bordo e da entrevista semiestruturada, e **indícios de aprendizagem significativa**, analisando o material produzido pelos estudantes ao longo da sequência (textos, desenhos, mapas, relatório da atividade experimental). De acordo com os resultados obtidos, acredita-se que a proposta alcançou os objetivos, pois o material produzido pode ser considerado potencialmente significativo e favorece a ocorrência de indícios de aprendizagem significativa, uma vez que os estudantes demonstraram ser capazes de relacionar o conteúdo com os seus conhecimentos prévios, promovendo a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora de conceitos e transpondo o conteúdo em diferentes contextos. Como produto educacional, o trabalho apresentou um texto de apoio abrangendo conteúdos referentes à Termodinâmica e destinada a professores do Ensino Médio. Tal produto está disponível no *site* <<https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/431761>>.

Palavras-chave: Sequência didática. Ensino de Física. Aprendizagem significativa. Primeira Lei da Termodinâmica. Segunda Lei da Termodinâmica. Máquinas térmicas.

ABSTRACT

The present text refers to an investigative study about significant learning of Thermodynamics from the reading of Jules Verne's work *Around the World in 80 Days*. The investigation is part of the research line "Theoretical-methodological Foundations for the teaching of Sciences and Mathematics", from the professional master's degree in Science and Mathematics Teaching, the Postgraduate Program in Teaching Science and Mathematics (PPGECM), in the University of Passo Fundo (UPF). It seeks a greater approximation between the contents of thermodynamics and experiential situations of students, since most of them consider physics difficult to comprehend, linked to methodologies far from the reality they are inserted. Joining Literature and Physics Teaching could be a way to awaken the interest and motivation of the learner because, according to Zanitic (2006), joining these two areas provides a more complete and effective learning of the world around one. The main objective of the study is to investigate the effectiveness of a didactic sequence of Thermodynamics for the promotion of meaningful learning from the literary work mentioned above. The problem lies in investigating the potential of this didactic sequence to promote meaningful learning. The proposal, based on the basic foundations of TAS, consists of three stages, which were structured in ten meetings and developed in a second-year high school class in a state public school in the city of Água Santa, RS. At each meeting, research instruments were applied to identify the subsumptions present in the students' cognitive structure, previous organizers to establish the link between previous knowledge and the subjects addressed and didactic strategies favoring the occurrence of targeted learning. The research is qualitative and participatory, and the proposal was evaluated based on the verification of two main aspects: Potentially Significant Material, through the logbook and the semi-structured interview, and Signs of Significant Learning, analyzing the material produced by the students (texts, drawings, maps, report of experimental activity). According to the results obtained, it is believed that the proposal reached the objectives, since the material produced can be considered potentially significant and favors the occurrence of signs of significant learning, since the students demonstrated to be able to relate the content with their previous knowledge, promoting the progressive differentiation and the integrative reconciliation of concepts and transposing content into different contexts. As an educational product, the work presented a supporting text covering contents related to thermodynamics and intended for high school teachers. This product is available on the website <<https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/431761>>.

Keywords: Didactic sequence. Teaching Physics. Meaningful learning. First Law of Thermodynamics. Second Law of Thermodynamics. Thermal machines.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Estudos relacionados.....	36
Quadro 2 - Cronograma de aplicação da proposta	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Capa do Produto Educacional.....	44
Figura 2 - Locomotiva a vapor	52
Figura 3 - Navio a vapor.....	53
Figura 4 - O barco a vapor se movimenta	54
Figura 5 - Navio a vapor.....	54
Figura 6 - Capa da obra <i>A volta ao mundo em 80 dias</i>	55
Figura 7 - Instrumentos de coleta	63
Figura 8 - Fragmento do texto inicial do primeiro encontro.	85
Figura 9 - Trechos dos textos iniciais da primeira etapa.	85
Figura 10 - Texto da atividade experimental.....	87
Figura 11 - Texto da atividade experimental.....	87
Figura 12 - Texto elaborado a partir da atividade experimental.....	88
Figura 13 - Desenhos elaborados pelos estudantes após a atividade experimental.....	89
Figura 14 - Mapas conceituais construídos pelos estudantes no início da segunda etapa.....	91
Figura 15 - Transpor conceitos em diferentes contextos, através de questionários	92
Figura 16 - Resolução das questões.....	92
Figura 17 - Resolução das questões.....	93
Figura 18 - Resolução das questões.....	93
Figura 19 - Resolução das questões.....	94
Figura 20 - Transpor conceitos em diferentes contextos, através de questionário	95
Figura 21 - Resolução das questões.....	95
Figura 22 - Transpor conceitos em diferentes contextos, através de questionário	96
Figura 23 - Resolução de questões	96
Figura 24 - Questões iniciais	97
Figura 25 - Questões iniciais	98
Figura 26 - Questões iniciais	98
Figura 27 - Questões elaboradas pelos estudantes em grupos.....	99
Figura 28 - Resoluções elaboradas em grupos pelos estudantes	99
Figura 29 - Texto final elaborado pelo estudante	101
Figura 30 - Texto final elaborado pelo estudante	102
Figura 31 - Texto final elaborado pelo estudante	103

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- Capes – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
- DCNs – Diretrizes Curriculares Nacionais
- EJA – Educação de Jovens e Adultos
- FEE – Fundação de Economia e Estatística
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- Idese – Índice de Desenvolvimento Socioeconômico
- LDB – Lei de Diretrizes de Bases da Educação Nacional
- PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
- PPP – Projeto Político-Pedagógico
- TAS – Teoria da Aprendizagem Significativa
- TCLE – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido
- TIC – Tecnologia da Informação e Comunicação
- UEPS – Unidades de Ensino Potencialmente Significativas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OS APORTES TEÓRICOS.....	19
2.1	Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel.....	19
2.2	Ensino de Física	26
2.3	A ficção científica e a obra <i>A volta ao mundo em 80 dias</i> no ensino de Física	29
2.4	Estudos relacionados.....	35
2.5	Os conceitos de Termodinâmica	42
3	O PRODUTO EDUCACIONAL E A IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA	44
3.1	O produto educacional.....	44
3.2	A implementação da proposta.....	45
3.3	O local da aplicação.....	47
3.3.1	<i>Os estudantes participantes da sequência didática e sujeitos da pesquisa</i>	<i>48</i>
3.4	Os encontros.....	49
3.4.1	<i>Primeiro encontro: iniciando as atividades.....</i>	<i>49</i>
3.4.2	<i>Segundo encontro: trabalho em uma transformação gasosa.....</i>	<i>50</i>
3.4.3	<i>Terceiro encontro: Primeira Lei da Termodinâmica.....</i>	<i>51</i>
3.4.4	<i>Quarto encontro: atividade experimental e discussões sobre a sua realização.....</i>	<i>52</i>
3.4.5	<i>Quinto encontro: início da segunda etapa – Segunda Lei da Termodinâmica.....</i>	<i>54</i>
3.4.6	<i>Sexto encontro: trecho da história A volta ao mundo em 80 dias</i>	<i>55</i>
3.4.7	<i>Sétimo encontro: transpor conceitos em diferentes contextos</i>	<i>56</i>
3.4.8	<i>Oitavo encontro: terceira etapa – máquinas térmicas.....</i>	<i>56</i>
3.4.9	<i>Nono encontro: da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade</i>	<i>57</i>
3.4.10	<i>Décimo encontro: uma roda de conversa com um engenheiro mecânico</i>	<i>58</i>
4	A PESQUISA	60
4.1	Classificação.....	60
4.2	Instrumentos	61
4.3	Procedimentos de análise	63
4.3.1	<i>Material potencialmente significativo.....</i>	<i>64</i>
4.3.2	<i>Indícios da aprendizagem significativa.....</i>	<i>64</i>

5	RESULTADOS.....	66
5.1	Material potencialmente significativo	66
5.1.1	<i>Relação dos conteúdos estudados com os conhecimentos anteriores dos estudantes</i>	66
5.1.2	<i>Diferenciação progressiva e reconciliação integradora</i>	69
5.1.3	<i>Materiais utilizados.....</i>	73
5.1.4	<i>Participação e comprometimento dos estudantes nas atividades propostas</i>	76
5.1.5	<i>Estrutura e metodologia utilizada.....</i>	78
5.1.6	<i>Relação entre Literatura e o ensino de Termodinâmica.....</i>	82
5.2	Indícios de aprendizagem significativa.....	84
5.2.1	<i>Análise dos textos produzidos na primeira etapa</i>	84
5.2.2	<i>Análise dos mapas conceituais e das questões da segunda etapa</i>	90
5.2.3	<i>Análise de questões da terceira etapa e do texto final.....</i>	97
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	105
	REFERÊNCIAS	109
	ANEXO A - Termo de consentimento livre e esclarecido	114
	APÊNDICE A - Autorização fornecida pela escola.....	115
	APÊNDICE B - Questões para auxiliar na construção do texto que busca identificar os conceitos subsunçores	116
	APÊNDICE C - Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais?	117
	APÊNDICE D - Questões para promover a reconciliação integradora	119
	APÊNDICE E - Questões para direcionar a reflexão	120
	APÊNDICE F - Comportamento das diferentes transformações termodinâmicas.....	121
	APÊNDICE G - Questões.....	122
	APÊNDICE H - Indagações: diálogo entre estudantes	123
	APÊNDICE I - Questões referentes à imagem da figura 5.....	124
	APÊNDICE J - Trecho da história a volta ao mundo em 80 dias	125
	APÊNDICE K - Transpor conceitos em diferentes contextos, através de questionário.....	129
	APÊNDICE L - Indagações sobre máquinas térmicas	131
	APÊNDICE M - A locomotiva a vapor.....	132
	APÊNDICE N - Texto “da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade”	133
	APÊNDICE O - Questionamentos para auxiliar na reconciliação integradora	138

APÊNDICE P - Indagações referentes ao princípio do motor a vapor	140
APÊNDICE Q - Questões da Entrevista Semiestruturada	141

1 INTRODUÇÃO

Desde a Antiguidade, o ser humano demonstra curiosidade a respeito da natureza que o cerca. De fato, mesmo nos tempos mais remotos já existia o desejo de compreender fenômenos naturais, buscar respostas, solucionar problemas que interferiam de uma forma ou de outra na vida da sociedade. E à medida que os séculos passavam, diversos pensadores foram dando sua contribuição para o crescimento do conhecimento, de tal modo que este precisou ser dividido em áreas, para que pudesse se desenvolver ainda mais. Nesse processo, a Física constituiu-se como uma das ciências mais importantes para a compreensão das situações cotidianas.

Dentre os ramos da Física, encontra-se a Termodinâmica, área dedicada aos estudos de sistemas que trocam energia com outros sistemas vizinhos, observando, ainda, como um sistema, um corpo ou uma máquina transforma calor em energia mecânica. Isto é, a Termodinâmica examina as relações que envolvem calor, trabalho mecânico e outros aspectos de energia ou transformação entre as formas de energia. Essa área também passou por vários avanços, os quais possibilitaram a construção de máquinas a vapor e o desenvolvimento de máquinas com máxima eficiência, ocasionando, enfim, uma enorme evolução nas indústrias e nos automóveis.

No entanto, o que se percebe no campo educacional é que, normalmente, os estudantes consideram a Física uma área de difícil compreensão, com conceitos distantes do contexto em que estão inseridos. Segundo Michelena (2008), a Termodinâmica não foge a essa regra e também é considerada um tema complexo para a maioria dos alunos. Sobre isso, Faccin (2015) ressalta que é comum os estudantes não gostarem de Física por, geralmente, não entenderem os conceitos; então, preferem decorá-los, em vez de entendê-los. Por essa razão, o professor deve buscar alternativas metodológicas, a fim de lhes proporcionar aprendizagem significativa, levando-os a compreender, agir e reagir diante de sua realidade.

Gregio (2016) pondera que as dificuldades enfrentadas no processo de ensino de Física e, especialmente, na compreensão dos conceitos de Termodinâmica podem estar relacionadas à forma de abordagem dos conceitos. Se essa abordagem for muito superficial, acarretará desinteresse por parte dos estudantes, pois eles não conseguirão estabelecer relações entre os conceitos e o seu dia a dia.

De Carli (2014) acrescenta que outro problema enfrentado no processo de ensino e aprendizagem dos conceitos termodinâmicos diz respeito ao processo metodológico desenvolvido nos bancos escolares. Conforme o autor, as escolas e os estudantes não são mais

os mesmos, e o educador não pode ignorar os novos recursos tecnológicos e metodológicos disponíveis nas escolas. No entanto, muitos não os utilizam e continuam reproduzindo as mesmas formas por meio das quais aprenderam, em que o professor é o detentor do conhecimento e o estudante, um mero espectador (DE CARLI, 2014).

Assim, no que tange ao processo de ensino e aprendizagem da área, um dos desafios do professor é encontrar metodologias que despertem curiosidade, reflexão e interesse dos estudantes. É possível perceber em sala de aula que poucos estudantes estabelecem relações entre a teoria estudada na escola e problemas práticos de seu cotidiano. Nesse contexto, os educadores precisam questionar-se a respeito de sua prática docente e pensar estratégias para aproximar os conteúdos de Física do mundo dos alunos.

A busca por compreender a natureza e conduzir outras pessoas a também entenderem os fenômenos cotidianos sempre fez parte dos meus¹ anseios – prova disso é que decidi ser professora ainda quando frequentava as séries iniciais do ensino fundamental. Ao finalizar a quinta série dessa etapa, na Escola Municipal da Comunidade de Santa Rita, localizada no interior do município de Água Santa, RS, parei de estudar por cinco anos, pois não havia transporte até a escola que ficava na cidade. Isso me afastou durante algum tempo do meu sonho de ser professora, até que tive a oportunidade de retomar os estudos no ano de 1996. A partir daí, cursei a sexta série na Escola Estadual do Distrito de Engenho Grande, também situada no interior do município de Água Santa, e a sétima e a oitava séries, respectivamente, em 1997 e 1998, na Escola Estadual Cláudio Antônio Benvegnú, localizada na mesma cidade. Após, fui morar no município de Tapejara para cursar o ensino médio na Escola Particular de 1º Grau Medianeira de Todas as Graças, onde concluí o supletivo em 1999.

Retornei para Água Santa e, no ano de 2001, ingressei no curso de Matemática – Licenciatura Plena da Universidade de Passo Fundo (UPF), que também habilitava para lecionar Física na educação básica. Na condição de estudante de graduação, senti dificuldades em algumas disciplinas, pois, às vezes, faltava-me base em determinados conteúdos. Porém, com muito esforço, interesse e dedicação, foi possível superá-las. No decorrer do curso, que encerrei em 2005, tive excelentes professores, que me mostraram a importância de unir a teoria com a prática, de promover metodologias de ensino que favoreçam a motivação e o interesse dos estudantes e de desenvolver atividades que visem à interlocução dos diferentes componentes curriculares.

¹ Nesta parte do texto, considerou-se mais apropriado fazer uso da primeira pessoa do singular, tendo em vista que são expostas as motivações pessoais para a escolha da profissão e a realização do curso de mestrado.

Mesmo antes de concluir a graduação, no ano 2003, comecei a trabalhar na rede municipal de ensino de Água Santa, onde atualmente ministro aulas de Matemática e de Xadrez para estudantes do ensino fundamental. A partir de 2009, passei a trabalhar, também, na rede estadual de ensino, na qual sou professora do ensino médio regular e da educação de jovens adultos. Essas duas experiências, somadas à oportunidade que tive de atuar na vice-direção de uma escola da rede municipal e na coordenação pedagógica da Secretaria Municipal de Educação, oportunizaram-me uma visão mais ampla e reflexiva sobre a educação básica, a partir da qual percebi que as dificuldades acima elencadas estão presentes, também, entre os meus alunos. Esse fato levou-me a questionar a minha prática docente e pensar formas de aproximar o conteúdo dessas duas disciplinas do mundo vivenciado pelos estudantes na atualidade. Tenho consciência de que o modo como ensino em sala de aula ainda não é suficiente para as exigências desses sujeitos.

Durante minha atuação como docente, sempre busquei alternativas de formação continuada, especialização, cursos, oficinas pedagógicas, para melhorar e qualificar a minha prática e proporcionar aos estudantes uma visão diferente do mundo que os cerca, através de um “olhar físico”. Quando tive conhecimento do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, vi nele a oportunidade de buscar novos conhecimentos e de qualificar a forma de ensinar, tendo em vista que se trata de um mestrado profissional, portanto, com foco na ação em sala de aula.

Nesse curso, ao estudar disciplinas como Construção de Objetos Digitais de Aprendizagem, Didática das Ciências e Matemática, Pesquisa em Educação em Ciências e Matemática e Teoria de Aprendizagem e Ensino, identifiquei a possibilidade de potencializar os estudos de Física e, em especial, de Termodinâmica, a partir da ligação de textos literários de ficção científica com os conteúdos escolares. Essa concepção vai ao encontro das ideias de Zanitic (2006), que afirma que áreas distintas do conhecimento, como a ciência e a literatura, podem se relacionar harmoniosamente tanto no ambiente escolar como fora dele, proporcionado aos estudantes uma aprendizagem significativa dos conceitos, um entendimento mais completo e efetivo do mundo.

Na mesma direção, Ferreira (2011) considera que é através de uma aproximação entre duas áreas distintas do conhecimento e entre diferentes gêneros de linguagem que se pode buscar elementos e características associadas à contextualização dos conteúdos presentes nos livros didáticos de Física do ensino médio. Segundo o autor, textos de ficção científica podem incorporar elementos científicos, como os encontrados nas obras de Júlio Verne, permitindo

que o estudante perpassasse ou preencha lacunas existentes entre o conhecimento científico e o imaginário e, até mesmo, o relacione com seu cotidiano (FERREIRA, 2011, p. 28).

As obras de Verne apresentam-se como um potencial contraponto entre essas duas áreas do conhecimento, interligando-as através de um vasto campo de possibilidades, no qual a ciência se mostra útil em várias circunstâncias, na medida em que os personagens do escritor usam conhecimentos científicos, teóricos e práticos para se livrar de situações perigosas. Dessa forma, ressalta-se, também, a importância da conexão entre a literatura e o ensino de Física, pois muitos estudantes têm a possibilidade de aprender a partir de leituras relacionadas especificamente a conceitos físicos como, por exemplo, a Termodinâmica.

Nas obras de Júlio Verne, o homem e o seu futuro são citados com grande entusiasmo e expectativa, antecipando muitos avanços tecnológicos. No livro *A volta ao mundo em 80 dias*, pode-se observar, em vários trechos, relações com o ensino de Termodinâmica e os avanços relativos à evolução dos meios de transporte, associados ao surgimento das máquinas a vapor, mais eficazes e responsáveis pelo feito do personagem principal.

Com base na reflexão acerca dos contextos citados, definiu-se o problema que deu origem à pesquisa aqui apresentada: quais as potencialidades de uma sequência didática de Termodinâmica para a promoção da aprendizagem significativa a partir de uma obra literária? De modo mais específico, busca-se desenvolver uma forma metodológica para relacionar Termodinâmica com o contexto histórico e atual através de uma sequência didática baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), de Ausubel, a partir da obra *A volta ao mundo em 80 dias*, de Júlio Verne.

Diante disso, despontam mais alguns questionamentos: quais os conceitos fundamentais de Termodinâmica para a educação básica? A literatura pode auxiliar no processo de ensino e aprendizagem de Termodinâmica? Quais são os fundamentos da Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel? Uma sequência didática fundamentada na TAS favorece a aprendizagem de estudantes de nível médio sobre os conceitos básicos de Termodinâmica?

Em linhas gerais, essa problemática está vinculada à intenção de potencializar uma sequência didática que busque promover o ensino de Termodinâmica por meio da TAS de Ausubel e da obra de Júlio Verne, como alternativa à falta de interesse dos estudantes diante de uma metodologia distante da realidade. Partindo do pressuposto de que o professor precisa identificar o que o aprendiz já sabe e sua predisposição para aprender, é necessário ter atenção às dificuldades encontradas no ensino de Termodinâmica, um tema importante que gerou a evolução das novas tecnologias e da indústria, mas que costuma ser tratado de forma

superficial na escola. Ainda, é de grande relevância a compreensão de conceitos básicos de Termodinâmica na sociedade moderna, pois eles estão presentes no dia a dia dos estudantes. Equipamentos como máquinas frigoríferas (geladeiras, freezers e aparelhos de ar-condicionado) e motores de automóveis são alguns exemplos de conceitos que fazem parte do cotidiano e precisam ser compreendidos.

A Teoria da Aprendizagem Significativa, à qual a sequência didática estará vinculada, tem como premissa central identificar aquilo que o aprendiz já possui em sua estrutura cognitiva, compreendida como um conjunto de conteúdos e ideias organizadas de um indivíduo, ou como grupos organizados de ideias em áreas específicas de conhecimento. Proporcionar a aprendizagem a partir dos conhecimentos prévios dos aprendizes é uma proposta relacionada ao entendimento de Ausubel, no sentido de que aprendizagem significa organização e interação entre os conceitos presentes na estrutura de pensamento do estudante e o novo conhecimento. Conforme Moreira (2011), aprendizagem significativa é um processo pelo qual uma informação se relaciona, de forma não arbitrária e não literal, com um ponto de vista relevante da estrutura cognitiva do aprendiz.

A partir desse pressuposto, o objetivo principal do estudo consiste em investigar a eficácia de uma sequência didática de Termodinâmica para a promoção da aprendizagem significativa a partir da obra *A volta ao mundo em 80 dias*. De modo mais específico, objetiva-se compreender os conceitos fundamentais da teoria preconizada por Ausubel; identificar as contribuições da inserção de textos de ficção científica no ensino de Termodinâmica; elaborar e implementar uma sequência didática fundamentada na TAS que aborde Termodinâmica a partir da obra mencionada e estruturar o produto educacional.

Tendo em vista a importância de que o ensino seja significativo para o estudante e capaz de promover uma aprendizagem igualmente significativa, a presente investigação justifica-se como relevante por possibilitar uma metodologia envolvendo Literatura e Física, propondo-a como um caminho na busca pela compreensão significativa de conceitos básicos de Termodinâmica. Nessa perspectiva, segundo Ausubel (1980), duas condições são necessárias para a ocorrência da aprendizagem significativa: o aprendiz tem de querer aprender, e o material tem de ser significativo. Da mesma forma, o autor considera indispensável identificar o que o aprendiz já traz em sua estrutura cognitiva. Por fim, salienta-se que estudos como este, unindo Física e Literatura, podem auxiliar no desenvolvimento de propostas para outros conceitos físicos, na medida em que se colocam como um meio de despertar o interesse por ambas as áreas e, também, por outros campos do conhecimento.

Na intenção de alcançar os objetivos propostos, em termos metodológicos, a pesquisa caracteriza-se como de natureza qualitativa e do tipo pesquisa participante. A pesquisa participante, segundo Gil (2008), caracteriza-se pela interação entre pesquisador e os integrantes do contexto analisado. Para isso, dispõe-se de uma sequência didática embasada na TAS, tendo como instrumento para a coleta de dados o diário de bordo, que, conforme Zabalza (2004), constitui uma reflexão posterior do próprio professor, servindo como um *feedback* constante sobre sua prática em sala de aula. Outro instrumento empregado é a entrevista semiestruturada, definida por Triviños (1987) como um processo de coleta de informações norteado por um roteiro previamente elaborado, mantendo a presença consciente e atuante do pesquisador. O detalhamento referente à metodologia de pesquisa e aos instrumentos será objeto de discussão em capítulo específico.

Os demais capítulos que sucedem a Introdução foram organizados de forma a, primeiramente, apresentar os aportes teóricos sobre a TAS, visando situar o leitor a esse respeito. A mesma sessão abordou o Ensino de Física, destacando a promoção de um conhecimento contextualizado, ligado ao dia a dia do estudante, bem como a ficção científica e a obra *A volta ao mundo em 80 dias*, com ênfase na importância de relacionar a Literatura e a Ciência para motivar e despertar o interesse dos estudantes. Ainda no segundo capítulo, relatam-se os estudos e os conceitos relacionados à Termodinâmica. No terceiro capítulo, apresentam-se a proposta e o produto educacional, a fim de contemplar elementos que possibilitem a aprendizagem significativa de Termodinâmica. A sessão seguinte destina-se à pesquisa, abrangendo seus aspectos metodológicos. No quinto e último capítulo, apresentam-se os resultados provenientes da análise posterior à aplicação da sequência didática, a partir de duas categorias: **material potencialmente significativo**, analisando o diário de bordo e as respostas à entrevista semiestruturada, e **indícios da aprendizagem significativa**, examinando os materiais produzidos pelos estudantes (textos, desenhos, mapas conceituais, relatório de experimento). A dissertação encerra-se com as considerações finais, em que são apresentadas, em síntese, as conclusões a respeito das potencialidades da presente proposta e sua efetivação no ambiente da sala de aula.

2 OS APORTES TEÓRICOS

A proposta apresentada fundamenta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Paul Ausubel, pois busca estabelecer a interação dos conhecimentos já estabelecidos na estrutura cognitiva do aprendiz com a matéria de ensino. Assim, considera-se que ela apresenta pressupostos teóricos capazes de estruturar a sequência didática voltada a relacionar os conceitos de Termodinâmica com a obra de ficção científica *A volta ao mundo em 80 dias*, de Júlio Verne.

Nesse sentido, o capítulo apresenta as ideias gerais da TAS, que subsidiam teoricamente o trabalho; uma breve discussão sobre o ensino de Física e a obra de Júlio Verne; e, ao final, a descrição de estudos realizados que se relacionam com esta proposta.

2.1 Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel

A Teoria da Aprendizagem Significativa foi proposta pelo norte-americano David Paul Ausubel, estudioso da psicologia educacional que sempre defendeu o cognitivismo. Em sua obra intitulada *Aquisição e retenção de conhecimento: uma perspectiva cognitiva*, publicada em 1963, ele apresenta uma oposição ao behaviorismo, defendendo que a aprendizagem ocorre quando o aprendiz consegue ampliar e reconfigurar aquilo que recebe, relacionando-o aos conhecimentos preexistentes em sua estrutura cognitiva. Nessa perspectiva, o teórico considera que “o fator isolado mais importante que influencia a aprendizagem é aquilo que o estudante já sabe” (AUSUBEL, 1968 apud MOREIRA, 1999, p. 163).

Partindo desse pressuposto, a ideia central da TAS é identificar aquilo que o aprendiz já possui em sua estrutura cognitiva, compreendida como um conjunto de conteúdo total das ideias organizadas de um indivíduo, ou grupos organizados de ideias em áreas específicas de conhecimento. A idealização de proporcionar a aprendizagem a partir dos conhecimentos prévios dos aprendizes deve-se ao fato de que, para Ausubel, a aprendizagem significa organização e interação entre os conceitos presentes na estrutura de pensamento do estudante e o novo conhecimento. Nesse sentido, Moreira (2003) evidencia que a aprendizagem, na visão ausubeliana, é um processo pelo qual uma informação relaciona-se, de forma não arbitrária e não literal, com um ponto de vista relevante da estrutura cognitiva do estudante, denominado por Ausubel como conceito subsunçor.

Nas palavras do autor, compreende-se que:

[...] a aprendizagem significativa se caracteriza por uma interação entre aspectos específicos e relevantes da estrutura cognitiva e as novas informações, através da qual essas adquirem significados e são integradas à estrutura cognitiva de maneira não arbitrária e não literal, contribuindo para a diferenciação, elaboração e estabilidade dos subsunçores existentes (MOREIRA, 2003, p. 5).

Para Ausubel, o subsunçor constitui-se de um conhecimento específico, existente na estrutura cognitiva do estudante, que permite dar significado a um novo conhecimento quando lhe é apresentado ou por ele é descoberto. Conforme Moreira (2011), um subsunçor pode ter significados ou não para o estudante, dependendo de como for elaborado, e a sua relação com o novo conhecimento irá modificá-lo, adquirindo novos significados, que se tornarão subsunçores amplos e mais ricos. O autor salienta, ainda, que, no decorrer da ocorrência da aprendizagem significativa, a evolução de um subsunçor parte da frequência com que um novo significado se une com uma ideia-âncora, dando significado a outros conhecimentos.

A aprendizagem na qual um novo conceito aprendido não apresenta ou apresenta pouca relação com os conceitos subsunçores presentes na estrutura cognitiva do estudante é classificada por Ausubel como aprendizagem mecânica. No entanto, embora esse tipo de aprendizagem seja considerado oposto à aprendizagem significativa, o próprio teórico argumenta que, algumas vezes, ela se faz necessária para formar os primeiros conceitos em uma área completamente nova. Para ele, se o estudante não teve contato com esse novo conhecimento, não terá conceitos subsunçores para interagir, mas à medida que a aprendizagem estabelece ligações passa a ser significativa, e esses subsunçores vão se interligando e fazendo sentido ao estudante. Nessa perspectiva, as duas formas de aprendizagem formam um contínuo, onde uma pode levar à outra, na medida em que o aprendiz, quando não possui em sua estrutura cognitiva determinado conhecimento, primeiramente aprende de forma mecânica, cria conceitos subsunçores e estabelece significado para o novo conhecimento (MOREIRA; MASINI, 2001).

Para facilitar a ocorrência da aprendizagem significativa, depois de identificados os conceitos subsunçores presentes na estrutura cognitiva do estudante, Ausubel indica a utilização de organizadores prévios, para que o aprendiz estabeleça relações entre conceitos prévios e o objeto de ensino. Esses organizadores prévios constituem-se de materiais apresentados antes do material potencialmente significativo, para que sirva de âncora e facilite a aprendizagem, estabelecendo uma ponte entre o que o estudante já sabe e o que ele vai aprender. De acordo com Moreira e Mansini (2001), esses organizadores prévios precisam ser familiares aos estudantes, estar organizados pedagogicamente e ter objetivos. Os

pesquisadores recomendam, também, que esses materiais, por se caracterizarem como introdutórios, sejam apresentados antes do próprio material a ser aprendido:

Contrários a sumários, [...] são apresentados num nível mais alto. A principal função do organizador prévio é a de servir de ponte entre o que o aprendiz já sabe e o que ele deve saber, a fim de que o material possa ser aprendido de forma significativa. Ou seja, são úteis para facilitar a aprendizagem na medida em que funcionam como “pontes cognitivas” (MOREIRA; MANSINI, 2001, p. 21).

Destaca-se, ainda, que um organizador prévio, por ser uma estratégia didática que gera ligações entre os conhecimentos prévios e as novas informações, tem como função proporcionar condições para que os aprendizes organizem essas informações em sua estrutura cognitiva. Assim, eles são classificados por Ausubel em duas classes: expositivos e comparativos. De acordo com Moreira e Mansini (2001), são chamados de “organizadores expositivos” os materiais que visam fornecer noções básicas do conhecimento a ser aprendido, isto é, são os materiais que buscam estabelecer conceitos subsunçores de um novo conhecimento não familiar ao estudante. Para os mesmos autores, materiais que abordem conceitos com os quais o estudante já teve contato, mas de forma sucinta e não suficiente para se tornar um subsunçor, são classificados como “organizadores comparativos”.

De acordo com Ausubel (apud MOREIRA, 1999), para que ocorra a aprendizagem significativa, duas condições devem ser satisfeitas. A primeira diz respeito à predisposição do aprendiz em aprender de forma significativa. De acordo com o teórico, cabe ao estudante o estabelecimento da relação entre os novos conhecimentos e os já presentes em sua estrutura cognitiva (MOREIRA, 1999). Na visão de Ausubel, é preciso que exista uma intencionalidade por parte do estudante em querer aprender significativamente, pois se ele não tiver essa motivação pode simplesmente memorizar os conceitos de forma literal.

A segunda condição está relacionada ao material de ensino. Para Ausubel (apud MOREIRA, 1999), o material a ser utilizado para a ocorrência da aprendizagem significativa deve ser potencialmente significativo. Segundo Moreira e Mansini (2001), o material será potencialmente significativo quando for compatível com os conhecimentos prévios do estudante e possibilitar que o novo conhecimento interaja e reestruture os conceitos subsunçores existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. A eficácia desse material dependerá da estruturação das atividades programadas. Estas devem identificar conceitos previamente conhecidos, relacionando-os e incorporando-os com a nova informação na estrutura cognitiva, de forma não arbitrária.

Quando uma dessas condições não é satisfeita, a aprendizagem caracteriza-se como mecânica. Assim, é preciso que professor e estudante estejam realmente envolvidos no processo de aprendizagem, explorando situações que fazem parte do mundo vivencial do aprendiz, levando-o a querer estabelecer essas conexões entre conceitos, implicando em aprendizagem significativa.

No decorrer do processo de estabelecimento da aprendizagem significativa, em que ocorre a relação da nova informação com conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, opera-se, segundo Ausubel (1980), um processo denominado “assimilação do conhecimento”. Nesse processo, vão se ampliando gradativamente significados dos conceitos de forma organizada e diferenciada, em que o aprendiz consegue assimilar a relação entre as ideias-âncoras. Dessa forma, para o autor, o processo de assimilação na fase de aprendizagem engloba:

ancoragem seletiva do material de aprendizagem as ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva; (2) interação entre as ideias acabadas de introduzir e as ideias relevantes existentes (ancoradas), sendo que o significado das primeiras surge como produto desta interação; e (3) a ligação dos novos significados emergentes com as ideias ancoradas correspondentes no intervalo de memória (retenção) (AUSUBEL, 1980, p. 24).

No decorrer desse processo de assimilação, um novo conhecimento ou proposição a' , potencialmente significativo, é assimilado com uma ideia ou conceito mais inclusivo já existente na estrutura cognitiva A' , resultando em $A'a'$, que representa o subsunçor modificado (MOREIRA; MANSINI, 2001, p. 25). Nesse sentido, Ausubel (apud MOREIRA, 1999) sugere que a assimilação tem um efeito facilitador da retenção do conhecimento. Para o teórico, as novas informações recentemente assimiladas ficam disponíveis durante um período de retenção e, por um intervalo de tempo, permanecem dissociáveis como entidades individuais. Nas palavras de Ausubel (apud MOREIRA, 1999, p. 158):

[...] o produto interacional $A'a'$, durante um certo período de tempo, é dissociável em A' e a' , favorecendo assim a retenção de a' . No entanto, apesar de que a retenção é favorecida pelo processo de assimilação, o conhecimento assim adquirido está ainda sujeito à influência erosiva de uma tendência reducionista da organização cognitiva: é mais simples e econômico reter apenas as ideias, conceitos e proposições mais gerais e estáveis do que as novas ideias assimiladas. Imediatamente após a aprendizagem significativa, começa um segundo estágio da assimilação: a assimilação obliteradora. As novas informações tornam-se espontânea e progressivamente menos dissociáveis de suas ideias-âncora (subsunçores), até que não mais estejam disponíveis, i.e., não mais reproduzíveis como entidade individuais. Atinge-se, então, um grau de dissociabilidade nulo e $A'a'$ reduz-se simplesmente a A' .

Nesse contexto, Moreira e Mansini (2001) destacam que a assimilação é um processo interno do estudante que acaba na produção de significados, porém o processo continua após a finalização da aprendizagem, levando ao esquecimento. Na aprendizagem, o esquecimento é uma continuação desse processo de assimilação, facilitando a aquisição e a retenção de novos conceitos.

Conforme Ausubel, a aprendizagem precisa ser acompanhada de uma retenção-esquecimento, de modo que as informações são retidas por certo período de tempo, e essas informações assimiladas e organizadas interagem com os conceitos previamente estabelecidos. A percepção da assimilação ocorre com a interação e a modificação entre os novos conceitos e os já existentes na estrutura cognitiva do estudante, ou o esquecimento depende da ligação entre o material potencialmente significativo e os conhecimentos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Na ausência dessa ligação entre conceitos, ocorre a perda parcial e espontânea desses novos significados, não podendo mais ser ancorados, e nesse caso se diz que ocorreu uma assimilação obliteradora ou um esquecimento significativo.

Segundo Moreira e Mansini (2001), existem três categorias de aprendizagem significativa: a representacional, entendida como aquela em que o indivíduo consegue atribuir significado a símbolos particulares e eventos aos quais estes se referem; a conceitual, entendida como sendo mais genérica e associada a regularidades de objetos e eventos; e a proposicional, em que a aprendizagem se estabelece a partir de significados atribuídos a novos conceitos de uma proposição.

No que diz respeito à ocorrência da relação entre a nova informação e a já existente na estrutura cognitiva do aprendiz, Ausubel (apud MOREIRA; MANSINI, 2001) considera que ela pode se dar de três maneiras distintas: por subordinação, quando as novas informações adquirem significado pela interação entre conhecimentos mais gerais; por superordenação, quando a nova informação é mais abrangente que os subsunçores e os estudantes passam a assimilá-los; e por combinação, quando a nova informação não é ampla o suficiente para reter os subsunçores, portanto é muito ampla para ser absorvida pelos estudantes.

À medida que a aprendizagem significativa ocorre, conceitos são desenvolvidos, elaborados e diferenciados em decorrência de sucessivas interações. Essas interações são denominadas por Ausubel como “diferenciação progressiva” e “reconciliação integrativa”. A diferenciação progressiva acontece quando um novo conceito é aprendido pelo processo de subordinação, mas também modifica seu subsunçor. Esse processo é importante para programar o ensino, pois permite que ideias e conceitos mais gerais sejam apresentados no

início e aprofundados aos poucos. O sujeito tem primeiro uma visão mais geral do assunto, para depois conhecê-lo mais especificamente. A reconciliação integrativa, por sua vez, acontece durante a aprendizagem superordenada ou combinatória. É quando ideias de estrutura cognitiva são relacionáveis, possibilitando que essa estrutura se reorganize, promovendo novos significados para os conteúdos.

Sobre esses dois processos, relacionados a contextos escolares, Moreira (2011, p. 21-22) esclarece que:

a) diferenciação progressiva é o princípio pelo qual o assunto deve ser programado de forma que as ideias mais gerais e inclusivas da disciplina sejam apresentadas antes e, progressivamente diferenciadas, introduzindo os detalhes específicos necessários. Essa ordem de apresentação corresponde à sequência natural da consciência, quando um ser humano é espontaneamente exposto a um campo inteiramente novo de conhecimento; b) reconciliação integrativa é o princípio pelo qual a programação do material instrucional deve ser feita para explorar relações entre ideias, apontar similaridades e diferenças significativas, reconciliando discrepâncias reais e aparentes.

Assim, para promover a diferenciação progressiva, os conceitos mais gerais devem ser apresentados no início da aula e progressivamente diferenciados em termos de detalhes e especificações. Nessa abordagem, conceitos mais relevantes devem ser introduzidos através de exemplos, situações e exercícios, porém a matéria de ensino não pode apenas proporcionar a diferenciação progressiva, devendo, igualmente, explorar as relações entre conceitos, diferenças e semelhanças, pois, à medida que o conhecimento prévio serve de base para atribuir significados a nova informação, ele também passa por modificações e adquire novos significados, tornando-se diferenciado. Deve-se considerar na diferenciação progressiva a construção hierárquica, diferenciando conceitos, os quais podem ser ampliados e aprofundados por meio de interações. Ao ser humano torna-se mais fácil compreender aspectos diferenciados mais gerais previamente aprendidos do que chegar ao todo a partir de partes específicas. Ao longo da vida, o aprendiz adquire conhecimento e o armazena em sua estrutura cognitiva, e o acesso a essas informações para empregá-las em novas situações demonstra a ocorrência de relações entre conhecimentos.

De acordo com Moreira (2000), Ausubel considera que na reconciliação integradora cada estudante estabelece relações entre conceitos, reestruturando-os de outra forma e dominando conceitos, a partir de seu próprio ritmo. Outro aspecto considerado por Ausubel é a construção do material e a relação entre conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz, sendo que os conceitos e as proposições presentes em sua estrutura passam por modificações, tendo um maior significado e uma melhor retenção por parte do estudante.

Assim, o estudante precisa ser levado a expor seus conhecimentos prévios e interagir com os conhecimentos específicos trabalhados em sala. Segundo Moreira (2000), a reconciliação integradora é um conceito próprio da matéria de ensino e implica a necessidade de explorar a relação entre conceitos, ideias e proposições, apontando diferenças e semelhanças, reconciliando as divergências reais ou aparentes. Cognitivamente, esses conceitos, ao sofrerem modificações, adquirem novos significados e reorganizam os previamente estabelecidos em sua estrutura cognitiva, ampliando-os e modificando-os.

Para Moreira e Masini (2001), quando um novo conceito é introduzido, de modo hierárquico, ele vai sendo progressivamente diferenciado de forma detalhada e especificada, na medida em que novas informações vão sendo apresentadas. Segundo Ausubel (1980), a assimilação e a compreensão se tornam mais fáceis quando se parte de conceitos amplos para conceitos específicos, progredindo de forma diferenciada. Nesse sentido, Novak (1977) afirma que, para atingir a reconciliação integradora, deve-se organizar os conceitos numa constante ida e volta, a fim de que o aprendiz consiga relacioná-los de forma hierárquica e significativa.

Na aprendizagem significativa, os novos conhecimentos vão se tornando significativos para o sujeito de modo progressivo e de forma diferenciada. Por isso, a avaliação da aprendizagem significativa deve buscar evidências dessa aprendizagem, implicando assimilação e compreensão. Portanto, deve identificar evidências de compreensão, não de forma mecânica, pois esta, muitas vezes, pode ser resultante dessa aprendizagem, mas sim de forma reflexiva e dialogada, onde se percebe a diferenciação progressiva desses conceitos adquiridos pelo estudante significativamente.

Ausubel (1980) destaca que, se o estudante for capaz de ampliar o novo conhecimento em um contexto diferente daquele estudado anteriormente, revelará indícios dessa aprendizagem. Por isso, ele necessita tomar posse de significados claros e precisos, diferenciados e transferíveis a outros contextos, através de testes, textos, resolução de problemas, pois esse processo requer alguma atividade sequencial dependente de outra, que possibilite demonstrar domínio de conceitos prévios. Moreira (1999, p. 56) revela que, para verificar essa ocorrência, cabe ao professor:

formular questões e problemas de uma maneira nova e não familiar, que requeira máxima transformação do conhecimento adquirido. Testes de compreensão, por exemplo, devem, no mínimo, ser fraseados de maneira diferente e apresentados em um contexto de alguma forma diferente daquele originalmente encontrado no material instrucional.

De acordo com a TAS, o papel do professor é muito importante na promoção da aprendizagem significativa. É dele a responsabilidade de desenvolver tarefas como identificar a estrutura conceitual e proposicional da matéria de ensino; identificar os conceitos subsunçores pertinentes à aprendizagem, diagnosticando aquilo que o estudante já sabe; ensinar utilizando recursos que facilitem a aquisição da estrutura conceitual de conhecimentos específicos de forma significativa; e proporcionar a interação entre conhecimentos. E isso envolve a necessidade de desenvolver nos estudantes o espírito crítico para que saibam tomar decisões e se apropriem do conhecimento, por meio de debates e reflexões, tornando-se atuantes no mundo vivencial de que fazem parte.

Nesse sentido, destaca-se a importância de potencializar um ensino significativo, capaz de abordar os conceitos de forma que o estudante se sinta motivado a aprender e predisposto a relacionar a matéria de ensino com conhecimentos já presentes em sua estrutura cognitiva. Acredita-se que uma forma de alcançar essa condição passa pela promoção de uma metodologia escolar capaz de ligar as histórias de ficção científica aos conceitos físicos abordados no ensino médio. Assim, discute-se no próximo item o ensino de Física na atualidade e a possibilidade de inserção de histórias literárias de ficção científica nesse contexto.

2.2 Ensino de Física

De forma constante, diversas tecnologias são inseridas no cotidiano da sociedade contemporânea. Entre outras contribuições, esse avanço tecnológico proporcionou o aperfeiçoamento de muitas máquinas térmicas fundamentais para o desenvolvimento do mundo moderno. Nesse contexto, e considerando a Física como a ciência que estuda os fenômenos presentes nas diferentes situações do dia a dia, é fundamental que o ensino da disciplina seja pautado na interpretação das situações conhecidas pelos estudantes, a fim de que eles consigam compreender todo o avanço ocorrido até a atualidade. Nessa perspectiva, o grande desafio da escola consiste em encontrar metodologias que despertem curiosidade e interesse dos estudantes.

Na tentativa de alcançar um ensino voltado à investigação, reflexão, autonomia e criatividade, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM) recomendam “rediscutir qual Física ensinar, para que possibilite uma compreensão do mundo e uma formação para a cidadania” (BRASIL, 1999, p. 230). Para tal, o documento aponta que o conhecimento de Física no ensino médio deve ganhar um novo sentido, voltado à formação

de um cidadão contemporâneo ativo e responsável, capaz de perceber, opinar e envolver-se na realidade que o cerca, com uma formação que possa ser adquirida e utilizada em situações vivenciais (BRASIL, 1999).

Dessa forma, o processo de ensino de Física visa, sobretudo, promover um conhecimento contextualizado e integrado ao cotidiano do estudante. Isto é, ele precisa ser entendido como meio e um instrumento para a compreensão do mundo, desenvolvendo a autonomia nos estudantes, proporcionando um conjunto de competências específicas, para que sejam capazes de lidar com os fenômenos naturais e tecnológicos, dos mais simples aos complexos, e para que percebam que esse conhecimento foi sendo adquirido ao longo da história da humanidade. Conforme Schivani (2014), é preciso adotar uma forma de contextualização não somente ligada à realidade do estudante, mas que esclareça os conteúdos conceituais, explorando questões de ordem social, histórica, cultural e científica, voltadas à realidade do conhecimento humano.

De longa data, a inserção de situações vivenciais dos estudantes nas aulas de Física vem sendo recomendada pela legislação. Desde a promulgação, em 1996, da Lei nº 9.394 – Lei de Diretrizes de Bases da Educação Nacional (LDB) –, o ensino da disciplina deve deixar de focar o processo de ensino-aprendizagem em situações mecânicas ou provas de vestibular. De acordo com essa lei, o ensino médio e, conseqüentemente, a disciplina de Física devem promover:

I – a consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental, possibilitando o prosseguimento de estudos; II – a preparação básica para o trabalho e a cidadania do educando, para continuar aprendendo, de modo a ser capaz de se adaptar com flexibilidade a novas condições de ocupação ou aperfeiçoamento posteriores; III – o aprimoramento do educando como pessoa humana, incluindo a formação ética e o desenvolvimento da autonomia intelectual e do pensamento crítico; IV – a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada disciplina (BRASIL, 1996).

Na mesma direção, as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNS), salientam que a escola necessita ser reinventada, ser capaz de tornar seus estudantes participativos, inventivos, cooperativos, para que possam intervir, agir e problematizar situações vivenciadas em seu dia a dia. Ou seja, para esse documento, educar consiste em cuidar de todos os envolvidos no processo de aprender, a fim de que o ensino médio consiga assegurar ao estudante formação humana plena, para o trabalho, a ciência, a tecnologia e a cultura (BRASIL, 2013).

Um meio de atingir os objetivos almejados, segundo os PCNEM, consiste em desenvolver no ambiente escolar metodologias que busquem a contextualização dos assuntos

estudados de forma interdisciplinar. Sobre esse tema, o documento salienta que atividades interdisciplinares devem “[...] surgir a partir da necessidade sentida pelas escolas, professores e alunos de explicar, compreender, intervir, mudar, prever, algo que desafia uma disciplina isolada e atrai a atenção de mais de um olhar, talvez vários” (BRASIL,1999, p. 88-89).

Pelo exposto, percebe-se que a interdisciplinaridade pode apresentar uma importante função no processo de ensinar e aprender Física. Isto é, ela pode facilitar a compreensão de fenômenos, conceitos e problemas presentes no cotidiano, além de proporcionar o estabelecimento de interconexões entre os conhecimentos, oportunizando uma aprendizagem motivadora, na qual os estudantes sejam capazes de utilizar os conceitos das disciplinas em problemas concretos ou entender fenômenos sob mais de um ponto de vista (BRASIL,1999).

Tal concepção vai ao encontro da compreensão de interdisciplinaridade de Fazenda (1994). Para ela, a interdisciplinaridade surgiu da necessidade de proporcionar aos estudantes uma visão ampla do mundo que os cerca e a capacidade de resolver e atuar em situações problemas presentes na sociedade. A isso se acrescenta a intenção de desenvolver e potencializar uma disciplina com a outra, eliminando as barreiras que as separam, a fim de trocar experiências entre si, comprometendo-se em estabelecer relações na busca do conhecimento.

Segundo Lisboa (2017), a ciência desenvolve métodos, instrumentos e recorre a conhecimentos já estabelecidos para incorporar novos, pois toda atividade científica tem o objetivo de atender às prioridades cotidianas. Nesse sentido, acredita-se que na disciplina de Física a interdisciplinaridade objetivada por Fazenda (1994) busca integrar os conceitos da área com as diferentes disciplinas curriculares, dessa forma, dando espaço para que alguns temas sejam abordados de uma maneira mais completa e possibilitem a contextualização dos assuntos estudados.

Para Araújo e Abid (2003), esse tipo de metodologia cria um sistema de ensino mais dinâmico, além de despertar o interesse dos estudantes e de incentivá-los a pensar cientificamente. Nesse cenário, uma forma de promover a contextualização, a interdisciplinaridade e motivar os estudantes para a aprendizagem pode se dar a partir da ligação dos conceitos estudados na disciplina de Física com os textos de literatura de ficção científica.

Na concepção de Piassi (2007), essa união, além de despertar o interesse dos estudantes, é capaz de proporcionar momentos de observação, leitura, interpretação, discussão, reflexão, construção e reconstrução de conceitos, tornando-os capazes de entender, avaliar e compreender os fenômenos do mundo vivencial. A literatura é uma área do

conhecimento que contribui para o desenvolvimento da educação, nos aspectos cognitivos e linguísticos; estimula o exercício da imaginação, o acesso a diversas culturas e lugares desconhecidos; leva o leitor a um universo fictício e real ao mesmo tempo; favorece o desenvolvimento de elementos que auxiliam os estudantes a adquirirem uma bagagem de experiências intelectuais que repercutem em sua vida social e profissional.

De acordo com Dalmédico (2017), a leitura é uma das atividades indispensáveis e fundamentais ao ser humano, pois implica decifrar e compreender, aguça os sentidos para o mundo, possibilitando conhecer a realidade. Essa atividade oportuniza prazer e encantamento, mas, sobretudo, habilita a pessoa a conhecer novos mundos, conhecer o passado e o próprio presente, ter uma visão do futuro e compreender sua identidade. Chartier (2014, p. 21) destaca que: “Ler é, antes e depois da leitura do livro, ‘ler’ o mundo, a natureza, a memória, os gestos, os sentimentos”. Portanto, ler é ir além das páginas; é experimentar a emoção e os sentimentos envolvidos em cada leitura.

Diante do exposto, os PCNEM (1999) destacam que todas as disciplinas têm o papel de incentivar os estudantes a utilizar os vários tipos de textos existentes. O documento ressalta, também, que a leitura é um trabalho de construção de sentidos e que esse processo admite várias estratégias para a formação de um leitor capaz de articular as informações textuais de acordo com as necessidades da vida em sociedade. Segundo Alves (2012), muitas são as exigências de leitura que a sociedade demanda. Com um agir cidadão, ativo, consciente e responsável, é necessário formar leitores para o mundo, e não apenas restritos à sala de aula, pela importância da leitura em nível social e também pessoal, pois ela colabora com uma formação culta, ao mesmo tempo em que impulsiona a emotividade, a reflexão e o senso crítico.

2.3 A ficção científica e a obra *A volta ao mundo em 80 dias* no ensino de Física

A formação de leitores é o grande desafio da escola atual, e esse desafio se justifica na medida em que os sujeitos que frequentam esse espaço poderão interagir com o mundo, refletir, criticar, questionar. Conforme Chartier (2001), é preciso questionar-se sobre os tipos de texto da Antiguidade aos dias atuais, pois os livros, textos e autores podem ser os mesmos, mas os leitores e as suas formas de interpretação se alteram a cada época. Com as novas tecnologias, por exemplo, a sociedade atual adquiriu novos hábitos de leitura e passou a ter acesso a inúmeras informações com mais liberdade e facilidade. De acordo com Klein (2015), formar um leitor é torná-lo capaz de ampliar horizontes e expectativas, e o papel da escola

enquanto formadora é incentivar, criar estratégias para formar um leitor crítico, apto a analisar, refletir e tornar-se protagonista, transformador do meio onde está inserido.

Na direção de formar leitores, destaca-se a ficção científica, gênero literário que apresenta conceitos ficcionais e imaginários referentes ao futuro, à ciência e à tecnologia. Essa leitura motiva seus leitores a viajar por universos desconhecidos, abre um leque de ideias, fantasia fatos científicos e reais. Conforme Roberts (2002, p. 1), a ficção científica como gênero ou subdivisão da literatura diferencia o mundo fictício, em algum ponto, do mundo em que estamos inseridos; é mais voltada à imaginação do que à realidade; é uma literatura maravilhosa. O autor argumenta, ainda, que esse tipo de leitura provoca um estranhamento no leitor, pois promove certo distanciamento entre o mundo real e o fictício, como, por exemplo, viagens no tempo, transformações de vida e do mundo ou outro tipo de acontecimento que parece duvidoso ou irreal.

Segundo Otero (1987), no dizer de um dos principais ficcionistas americanos, o bioquímico Isaac Asimov, da Universidade de Boston, a ficção científica é um tipo de texto literário que se distingue dos demais, aborda temas mais amplos e outros específicos. Nas palavras do autor,

A ficção científica é um ramo da literatura que trata de uma sociedade fictícia, diferente da nossa própria, na qual predomina a natureza do seu desenvolvimento tecnológico. Também, deve ser aceito, amplamente, como literatura de antecipação, tudo aquilo de lógico que possa ser escrito, em termos estéticos, ao se extrapolar o atual em direção ao futuro, a sua meta (OTERO, 1987, p. 13).

Geralmente, o ponto de partida da ficção científica é abordar os avanços tecnológicos relacionados ao futuro e conceitos científicos, os quais muitas vezes ainda não existem, por isso a denominação “literatura de antecipação científica”. Para Piassi (2007), inserir textos de ficção científica no contexto escolar pode facilitar a compreensão de conceitos científicos. O autor avalia que uma das principais características da ficção científica é levar para a sala de aula a oportunidade de questionar e refletir, não apenas a respeito de fenômenos e leis científicas, mas também da natureza científica e da sua relação com a sociedade. Ele salienta, ainda, que integrar a ficção científica no ensino de ciências pode articular e estabelecer vínculos, motivação e interesse dos estudantes por esses conteúdos programáticos de ensino.

Nessa direção, Ferneda (2015) ressalta que a utilização de ficção científica em sala de aula pode ser muito fértil para o ensino de Física, já que essa forma de abordagem dos conteúdos motiva o estudante a refletir e discutir conceitos físicos, além de incentivar a leitura. O autor enfatiza que trabalhar com a literatura de ficção científica ajuda o estudante a

discutir e estabelecer relações entre a ciência e os impactos presentes em seu dia a dia de uma forma mais geral, e não presa somente a conceitos, leis e aplicações em sala, incluindo as ligações da ciência e o contexto histórico no qual ela está inserida.

Corroborando a concepção de Fernalda (2015), Piassi (2007) pondera que a falta de interesse dos estudantes pelas aulas de ciências na educação básica se deve à forma tradicional como os conceitos científicos são abordados. Para o autor, esse fato contrasta com descobertas científicas e tecnológicas apresentadas pela mídia, que despertam mais interesse dos alunos em comparação às situações apresentadas em sala. Dessa forma, parece haver consenso de que a escola não é influenciada por essa ciência que os motiva (PIASSI, 2007). Portanto, segundo o autor, a literatura de ficção científica pode ser uma estratégia profícua, pois quem assiste ou lê obras desse gênero, geralmente, se sente motivado por conhecimentos científicos e tecnológicos presentes na sociedade desde o século XIX, com progressos, conquistas e preocupações trazidas por esses avanços, assuntos que muitas vezes ficam de fora da sala de aula no ensino tradicional.

Exemplos de obras que podem ajudar no alcance desse objetivo, conforme Ferreira (2011), são as de autoria de Júlio Verne, precursor da ficção científica. O escritor, nascido em Nantes, na França, em 8 de fevereiro de 1828, dedicou a maior parte de sua obra à chamada “literatura de antecipação”, ou seja, de ficção científica, e aos romances de aventura, por meio dos quais nos mostra como compreendeu o mundo em que vivia, inclusive o progresso nos meios de transportes e de comunicação. Entre as suas principais obras estão *Viagem ao centro da Terra* (1864), *Vinte mil léguas submarinas* (1870), *A volta ao mundo em 80 dias* (1872), *Cinco semanas num balão* (1863), *Paris no século XX* (1863, publicado em 1994), *Da Terra à Lua* (1865) e *A ilha misteriosa* (1874). Com sua literatura fundamentada nos avanços científico-tecnológicos, envolvidos em suas histórias extraordinárias, Verne conquistou leitores de todo o mundo.

Desde adolescente, o escritor vivenciou uma relação conflituosa com o pai, para quem suas fantasias exploratórias e literárias pareciam insignificantes. Por isso, em 1848, mudou-se para Paris para estudar Direito por influência do pai. Nessa época, Verne teve contato com grandes escritores, o que despertou a motivação para se tornar um deles. Concluiu os seus estudos jurídicos em 1850. A partir de então, seu pai passou a insistir para que voltasse à terra natal e exercesse a profissão, mas Verne manteve firmemente a decisão de se tornar um profissional das letras.

Influenciado pelas conquistas científicas e tecnológicas, o escritor resolveu elaborar uma literatura ajustada à idade científica, difundindo todos esses conhecimentos em relatos

fantásticos. Ao longo de sua carreira, escreveu 80 livros, montou 15 peças de teatro, algumas com a ajuda de seus colaboradores. Conquistou o fascínio do público que, ansiosamente, aguardava por suas aventuras e descobertas científicas, vendo nelas uma vertente infinita e prazerosa.

Para Ferreira (2011), a inovação científica motivada pelas descobertas, os avanços tecnológicos e a ampliação dos estudos na área da Física foram essenciais na visão de mundo construída por Verne, pois em suas obras ele cita a humanidade e o futuro com grande entusiasmo e expectativa, prevendo muitos avanços tecnológicos que iram ocorrer no final daquele século. A literatura de Verne encantou e continua a encantar e conquistar leitores em todo o mundo, e isso, segundo Pinto Neto (2004), produz efeitos diretos e indiretos, não se encerrando com a leitura, mas possibilitando uma visão diferente da realidade. Seus livros inspiram engenheiros e cientistas de diferentes nacionalidades em razão das ideias extraordinárias que carregam.

Em alguns de seus romances de ficção científica, como é o caso de *A volta ao mundo em 80 dias*, Verne cita o progresso científico e tecnológico em vários momentos. Escrito em 1872, esse, que é um dos seus livros mais famosos, mistura romance e ficção científica. Inserida no contexto da revolução industrial, que mudou as condições econômicas e sociais do século XIX, a obra nos revela uma sociedade em pleno vapor e nítidos sinais de globalização.

A narrativa tem como protagonista Phileas Fogg, inglês metódico e distinto, membro do famoso Reform Club de Londres. Em 1872, Fogg faz uma aposta, no valor de 20 mil libras, em que se compromete a dar a volta ao mundo em 80 dias, ainda que, em sua época, realizar tal feito fosse praticamente impossível. Acompanhado de seu mordomo, Passepartout, e seguido pelo detetive Fix, da polícia londrina, que o julga como o ladrão do Banco de Londres, o destemido personagem vivencia diversas aventuras pelo globo terrestre.

Mesmo não tendo saído por muitos anos da capital britânica, Fogg demonstra conhecer todos os trajetos dessa viagem. Junto com Passepartout, parte de Londres no primeiro trem. Durante a viagem, andam em muitos meios de transporte, como trens, navios a vapor e trenós à vela. Os três personagens passam por Suez, Bombaim, Calcutá, Hong Kong, Yokohama, São Francisco e Nova York.

No entanto, quase ao final da viagem, surge um imprevisto que absolutamente pode pôr tudo a perder. Fogg perde o trem e viaja de trenó à vela até a estação mais próxima. Os personagens partem para Nova York, e, lá chegando, descobrem que o navio China já havia partido para Liverpool. No dia seguinte, ele contrata o navio Henrietta, mas o capitão não concorda em desviar a rota para deixá-lo em Liverpool. Fogg embarca mesmo assim e, no

meio do percurso, tranca o capitão no compartimento, assumindo o seu lugar. Alguns dias antes de chegarem ao destino, o carvão acaba, e, para garantir a continuidade da viagem, partes de madeira do Henrietta são queimadas para servir de combustível. Fogg devolve o casco do navio ao capitão, acalmado-o.

Quando chegam a Liverpool, o apostador é preso pelo detetive Fix, que o liberta após se dar conta do lamentável equívoco. Como esse episódio atrasa a viagem, Fogg aluga um trem ultrarrápido, opção que se revela inútil, pois a chegada a Londres se dá com cinco minutos de atraso. Isso o deixa muito desapontado, pois, em vista disso, a aposta estaria perdida.

À noite, Fogg pede Auda em casamento. São 20h5min, e Passepartout vai até a paróquia chamar o reverendo para realizar a cerimônia. Às 20h25min, os cavalheiros do Reform Club estão reunidos no salão, já considerando ganha a aposta. As ruas próximas ao Club estão tomadas de gente. E qual não é a surpresa de todos quando, pontualmente, às 20h45min, Phileas Fogg entra no salão? Sim, ele havia sido o ganhador.

Como? Quando o mordomo foi à igreja, descobriu que ele e Fogg haviam desembarcado em Londres com um dia de antecedência. Assim, voltou correndo e avisou o patrão, que conseguiu chegar em tempo de ganhar a aposta.

É possível um homem como Fogg se enganar tanto? A explicação é simples: dando a volta ao mundo pelo leste, Fogg ganhou um dia. De fato, os dias diminuem à razão de quatro minutos por meridiano quando se vai ao encontro do Sol.

Então, na verdade, Fogg demonstrou que é possível dar a volta ao mundo em 79 dias, e não em 80 dias como havia apostado.

Na obra, observa-se a relação de conceitos físicos com o contexto da história. No entendimento de Ferreira (2011), é através de uma aproximação entre essas duas áreas distintas do conhecimento e diferentes gêneros de linguagens – a literatura de ficção científica de Júlio Verne, por exemplo, e o ensino da Física – que se pode buscar elementos e características associadas à contextualização dos conteúdos presentes nos livros didáticos de Física do ensino médio. Como lembra o autor, textos de ficção científica podem incorporar elementos científicos, oportunizando que o estudante perpassa e preencha lacunas existentes entre o conhecimento e o imaginário e até mesmo consiga relacioná-los com seu cotidiano. Para Ferreira, as obras de Verne podem ser um contraponto, interligando essas duas áreas do conhecimento, através de um vasto campo de possibilidades, no qual a ciência se mostra útil em várias situações, pois seus personagens usam conhecimentos científicos, teóricos e práticos em situações presentes na obra.

Por sua vez, Zanetic (2006) avalia que áreas distintas do conhecimento, como a ciência e a literatura, podem se relacionar harmoniosamente tanto no ambiente escolar como fora dele, proporcionado aos estudantes uma aprendizagem significativa dos conceitos que poderão levá-los a um entendimento mais completo e efetivo do mundo. Nesse mesmo sentido, Piassi (2007) entende que a ficção científica pode ser um elemento articulador no estabelecimento de vínculos entre os interesses e a motivação do estudante, os temas científicos e os conteúdos programáticos de ensino de uma forma mais ampla.

Pode-se citar, também, alguns conceitos físicos que aparecem nas narrativas de Júlio Verne e a sua relação com os conteúdos de Física presentes nos livros didáticos para o ensino médio, relação que ajuda o estudante a compreendê-los de uma maneira mais ampla e motivadora. Por exemplo, em *A volta ao mundo em 80 dias*, há muitos conceitos que envolvem leis da Termodinâmica, máquinas térmicas, Lei da Gravitação Universal, cinemática, energia, o que permite que essa obra seja trabalhada de forma interdisciplinar. Conforme Ferreira (2011), a utilização da produção literária de Verne no ensino de Física pode ser um meio para que o estudante compreenda e assimile conteúdos.

Na obra *Viagem ao centro da Terra*, o escritor possibilita a construção de sentidos através de textos de diferentes gêneros. Em alguns trechos, apresentam-se conceitos como características do globo terrestre, calor, temperatura, pressão atmosférica, vulcões, rigidez de rochas subterrâneas, presença de gás e petróleo; na parte da mecânica, força, peso, deslocamento, atrito. Em uma primeira análise, pode-se afirmar que os conhecimentos prévios dos estudantes, somados aos argumentos presentes na narrativa, oportunizam uma compreensão dos enunciados de ordem física e ambiental. Tais situações, por estarem ligadas ao cotidiano do leitor, possibilitam que esse conhecimento tenha sentido para ele. Assim, enquanto a obra de Verne apresenta ao leitor literatura de ficção científica, possibilitando a utilização de conhecimentos científicos independentes do domínio, a Física volta-se à aprendizagem de conceitos. Logo, a relação entre essas duas áreas pode viabilizar a ligação e a produção de significados para o estudante.

Com base no exposto, acredita-se que estabelecer relação entre o ensino de Física e a literatura, mais especificamente a de ficção científica – como *A volta ao mundo em 80 dias* –, é uma forma de ensino voltada à investigação, reflexão, autonomia e criatividade dos estudantes. E essa forma de ensino visa a um conhecimento interdisciplinar e contextualizado, integrado ao cotidiano, na medida em que a leitura proporciona compreensão, reflexão e interpretação dos fenômenos que cercam o leitor.

Encerrada a discussão proposta para este item, o próximo tem como objetivo identificar trabalhos capazes de contribuir para o desenvolvimento e a implementação da sequência didática que integra a presente pesquisa. Tais estudos relacionam a Termodinâmica e a Teoria da Aprendizagem Significativa, a Teoria da Aprendizagem Significativa e o ensino de Física, Júlio Verne e o ensino de Física e o ensino de Física e a literatura, no contexto da sala de aula, especialmente no ensino médio.

2.4 Estudos relacionados

As pesquisas sobre o ensino de Física possibilitam conhecer e analisar o modo como os conceitos físicos estão sendo abordados no contexto escolar. Dessa forma, e buscando compreender como a Termodinâmica tem sido ensinada no ensino médio, procedeu-se a uma análise na literatura específica. Para tanto, realizou-se uma busca por estudos dedicados a assuntos pertinentes à Termodinâmica, à Literatura e à Teoria da Aprendizagem Significativa a partir das indicações de Ramanowski (2002) sobre esse tipo de trabalho. Conforme o autor, para se realizar uma busca por estudos já desenvolvidos em certa área do conhecimento, precisa-se recorrer a determinado procedimento, como: definir os descritores que norteiam a pesquisa a ser realizada; localizar os bancos de pesquisa; determinar critérios de seleção do material; selecionar o material a ser elencado; coletar material; analisar as publicações referentes ao tema; ordenar o material escrito sobre o tema; e pesquisar a estruturação do resumo dos estudos.

Seguindo a indicação descrita, foram selecionadas algumas teses e dissertações como forma de ilustrar a produção na área e oferecer ao leitor exemplos de pesquisas envolvendo os temas relacionados. Assim, adotou-se como fonte o repositório disponibilizado no Banco de Teses e Dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes). O repositório reúne trabalhos produzidos nos programas de pós-graduação brasileiros, abrangendo produções científicas na área, o que possibilitou mapear estudos referentes ao tema em discussão. Na busca, utilizaram-se os seguintes filtros: “literatura e o ensino de física” AND “ensino médio”; “ensino de Termodinâmica e a Teoria da Aprendizagem Significativa”; “Verne e o ensino de Física”.

A partir dessa definição, foram encontrados 36 trabalhos, dos quais foram lidos títulos e resumos, a fim de selecionar os que estavam relacionados à aplicação de sequência didática para o ensino médio estruturada na TAS e ao ensino de Termodinâmica. Essa análise possibilitou identificar oito estudos com muita aproximação ao trabalho desenvolvido nesta

dissertação. No Quadro 1, são apresentados o título, a autoria, o ano de publicação, a natureza e o *link* de acesso de cada um dos trabalhos. Na sequência, relatam-se os principais aspectos ligados a esses estudos, incluindo seus objetivos e resultados.

Quadro 1 - Estudos relacionados.

Título	Autoria	Ano de publicação	Natureza	Link de acesso
Sequência didática para o ensino da termodinâmica	Joslaine de Lima	2016	Dissertação	https://bit.ly/2y27OJx
Uso das Tecnologias de Informação e Comunicação na promoção da aprendizagem em termodinâmica	Pedro David Pedrosa	2015	Dissertação	https://bit.ly/2RyD8Yu
Contribuições dos Objetos de Aprendizagem, no ensino de física, para o desenvolvimento do pensamento crítico e da Aprendizagem Significativa	Ana Marli Bulegon	2011	Tese	https://bit.ly/2EqwRf4
Aplicação da lei de Lenz-Faraday em experimentos potencialmente significativos para o ensino-aprendizagem	Mohamad Imad Escobar Fares	2017	Dissertação	https://bit.ly/2E6Blal
Aproximações entre a obra de Júlio Verne e o ensino de Física	Júlio César David Ferreira	2011	Dissertação	https://bit.ly/2RzRPKW
A ciência em romance de ficção científica: leituras e caminhos para a educação em Ciências	Túlio Ferneda	2015	Dissertação	https://bit.ly/2C1Eupc
Contatos: a ficção científica no ensino de ciências em um contexto sócio-cultural	Luís Paulo de Carvalho Piassi	2007	Tese	https://bit.ly/2NunKJs
A ciência e o insólito: o conto de literatura fantástica no ensino de física	João Eduardo Fernandes Ramos	2012	Dissertação	https://bit.ly/2yhdu1v

Fonte: autores, 2018.

O primeiro estudo trata-se da dissertação de mestrado profissional desenvolvida por Lima (2016) e intitulada *Sequência didática para o ensino da Termodinâmica*. Segundo a autora, muitas mudanças têm ocorrido para melhorar e qualificar o ensino da Física, tendo em vista as dificuldades enfrentadas pelo professor, bem como a redução da carga horária ou o desinteresse do estudante pela disciplina. Além disso, a Termodinâmica tem sido um dos conceitos nos quais os alunos enfrentam muitas dificuldades de compreensão e visualização, ocasionando esse desinteresse. Por isso, no seu entendimento, é indispensável que o professor encontre estratégias para atrair a atenção do estudante em busca de um novo conhecimento.

Diante desse contexto, o objetivo do trabalho foi desenvolver e aplicar uma sequência didática para o ensino da Termodinâmica com a utilização de tecnologia da informação e comunicação (TIC), baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa. O produto apresentou uma sequência didática utilizando unidades de ensino potencialmente significativas (UEPS) e

diferentes recursos didáticos, como vídeos, simuladores e animações, para que o estudante deixasse de ser um mero espectador para participar do processo de aquisição do conhecimento. A sequência foi estruturada em cinco módulos, totalizando 12 aulas. O professor iniciava cada aula com um material potencialmente significativo, estimulando o debate, a interação e a participação.

Esse produto procurou utilizar estratégias facilitadoras para a aprendizagem significativa, e o conteúdo foi organizado de forma sequencial, consolidando os conhecimentos prévios dos estudantes. Ele foi aplicado no Colégio Agrícola de Campo Mourão, Paraná, em uma turma de segundo ano do ensino médio. A avaliação dos resultados se deu por meio de questionamentos, debates, exercícios, situações problemas com progressivos graus de dificuldade, a fim de estimular o processo de diferenciação progressiva e reconciliação integradora. Como resultados, a turma mostrou-se participativa e interessada. Quanto aos conhecimentos prévios dos estudantes e o novo conhecimento, observou-se que os participantes o atingiram em um nível mais elaborado, apresentando indícios de Aprendizagem Significativa através da produção de vídeos sobre Termodinâmica.

O segundo estudo, desenvolvido por Pedrosa (2015), resultou na dissertação de mestrado profissional intitulada *Uso das tecnologias de informação e comunicação na promoção da aprendizagem da Termodinâmica*. Seu objetivo consistiu em investigar as relações entre o uso dos recursos das TIC e a Teoria da Aprendizagem Significativa no ensino de Física em um contexto particular que se limita ao estudo da Termodinâmica.

O autor destaca a necessidade de buscar novas práticas de ensino incessante para a aprendizagem, entender e pensar o uso dessas novas tecnologias que vêm adentrando e transformando o espaço escolar, a vida de todos e o cotidiano do estudante nesse novo contexto. Na dissertação, valorizam-se as concepções prévias dos estudantes fundamentadas na TAS, que prima pela consideração desses conhecimentos, apontando-os como primordiais na organização e no planejamento de uma aula.

A questão norteadora da pesquisa foi a seguinte: “Como o professor de Física poderá buscar alternativas de ensino da Termodinâmica que possibilitem potencializar sua prática, articuladas com os recursos das tecnologias disponíveis no espaço escolar?”. A sequência didática foi aplicada com 16 estudantes do terceiro ano do ensino médio de uma escola pública da rede estadual de ensino do município de Brejo Santo, Ceará. Como instrumentos de coleta de dados, utilizaram-se questionário, mapas conceituais, entrevistas. Também foi feito uso de recursos tecnológicos como a internet, *data show*, vídeos, simuladores, ferramentas extremamente importantes no processo de ensino. Os resultados apontaram que,

através da construção de mapas conceituais, os estudantes conseguiram organizar em sua estrutura cognitiva os conhecimentos fundamentais das duas Leis da Termodinâmica, evidenciando que houve, de certa forma, uma aprendizagem.

O terceiro relato refere-se à tese de doutorado em Informática na Educação, de autoria de Bulegon (2011), intitulada *Contribuições dos Objetos de Aprendizagem, no ensino de física, para o desenvolvimento do pensamento crítico e da Aprendizagem Significativa*. A pesquisa teve por objetivo investigar características dos Objetos de Aprendizagem usados no ensino de Física e identificar as modalidades de sua utilização nesse contexto. A questão norteadora foi a seguinte: “Quais as potencialidades e contribuições de Objetos de Aprendizagem no desenvolvimento do pensamento crítico e da Aprendizagem Significativa no ensino de Física?”.

Segundo a autora, a escola deixou de ser um lugar de busca de informações e conhecimentos para se tornar um espaço propício às trocas de informações e de saberes entre os sujeitos do processo de ensino e aprendizagem. Por isso, entende que o ensino escolar precisa fazer sentido e ter significado aos estudantes. Ressalta, também, que o uso das TIC é indispensável nas aulas de Física.

As atividades envolvendo os Objetos de Aprendizagem foram desenvolvidas em 10 períodos de 50 minutos cada, no laboratório de informática de uma escola estadual do interior do Rio Grande do Sul, na disciplina de Física, com algumas turmas da segunda série do ensino médio. Para tanto, foram utilizados dois estudos de caso, um sobre os gases e o outro referente à Termodinâmica.

Como resultado, os estudantes conseguiram justificar suas próprias resoluções, envolvendo-se ao longo do processo. A vivência da pesquisa também proporcionou uma melhor compreensão de conceitos de Física, tornando-os autônomos e críticos na busca pelo conhecimento. Pode-se afirmar que os Objetos de Aprendizagem proporcionam um ambiente adequado para a ocorrência da Aprendizagem Significativa e do pensamento crítico. Nessa perspectiva, os estudantes demonstraram satisfação e melhora na aprendizagem, ao terem sido incentivados a resolver problemas, executar experimentos, participar, pesquisar, construir representações mentais significativas e tomar decisões.

Na continuidade dos relatos, destacam-se alguns estudos envolvendo a Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, no ensino de Física. A dissertação de Fares (2017), intitulada *A aplicação da Lei de Lenz-Faraday em experimentos potencialmente significativos para o ensino aprendizagem*, teve como objetivo analisar a aplicabilidade de

experimentos potencialmente significativos para a compreensão de conceitos abstratos no que se refere ao ensino de Física no ensino médio.

Segundo o autor, é preciso refletir acerca da aprendizagem significativa e da sua aplicação no ensino de Física, que, por ser uma disciplina de conceitos abstratos, torna-se um desafio para o professor, levando-o a buscar estratégias para torná-la mais acessível aos estudantes do nível médio. Nesse sentido, foi realizada uma pesquisa nas turmas de terceiro ano do ensino médio da Escola Estadual Maria Macedo Rodrigues, no município de Várzea Grande, Mato Grosso.

A sequência foi composta por quatro experimentos potencialmente significativos, relacionados à indução eletromagnética, associados a materiais de apoio. Utilizaram-se questionários referentes ao tema em questão e o registro das observações feitas durante as aulas. Os resultados apontaram que, a partir da aplicação dos experimentos, houve indícios de aprendizagem referente ao conceito de eletromagnetismo, bem como maior participação e envolvimento dos estudantes nas aulas de Física.

A seguir, é apresentado o relato de estudos envolvendo o ensino de Física e as obras de Júlio Verne. O primeiro trabalho a ser relatado consiste na dissertação de autoria de Ferreira (2011), intitulada *Aproximações entre a obra de Júlio Verne e o ensino de Física*. De acordo com o pesquisador, existem ligações entre a ficção científica e a Física, pois ambas envolvem gêneros distintos de linguagem. Assim, o professor, em seu contexto de escola, deve incentivar os estudantes à leitura, tendo em vista que as duas áreas podem relacionar-se entre si. A literatura de ficção científica de Júlio Verne, associada ao ensino de Física, pode servir para contextualizar conceitos, através de aventura, mistério e desafios, levando a que o estudante compreenda e complete lacunas existentes entre conceitos físicos e seu cotidiano. Diferentemente da pesquisa executada por Ferreira (2011), a proposta relatada nesta dissertação buscou promover a Aprendizagem Significativa somente a partir da obra *A volta ao mundo em 80 dias*.

A dissertação teve por objetivo demonstrar as inúmeras possibilidades que a obra de Júlio Verne oferece para dar sentido aos conceitos científicos, pois estão presentes diversos elementos propícios a essa discussão, ainda que sempre permeados pelo universo da fantasia e do devaneio, mas nunca absurdos do ponto de vista científico. Na pesquisa, o autor observa características favoráveis à divulgação das ciências, à apresentação de conceitos e à contextualização de temas presentes nos livros didáticos com apropriações de gêneros nos textos de Verne. Como resultado, o estudo demonstra que essa abordagem possibilita ao estudante desenvolver capacidade de interpretar com mais domínio conceitos científicos e não

científicos, com vasta diversidade de contextos, transformando-se um leitor do mundo que o rodeia.

Dando sequência aos relatos, a dissertação de Ferneda (2015), intitulada *A ciência em romance de ficção científica: leituras e caminhos para a educação de ciências*, destaca que a utilização de ficção científica em sala de aula pode ser muito fértil para o ensino de Física, na medida em que essa forma de abordagem dos conteúdos motiva o estudante a refletir e discutir conceitos físicos, além de incentivar a própria leitura. A referida dissertação teve como objetivo conhecer a forma como a ciência é retratada em um grupo seletivo de romances, buscando indicar o potencial educativo dessas obras do gênero de ficção.

Como problema, foi proposta a seguinte questão: “Em que medida a ficção científica nos ajuda a compreender mais sobre a ciência, suas práticas reais e a maneira como ela interage com o mundo? Por que ela, de fato, nos ajuda?”. Para tentar responder a esse questionamento, o autor utilizou quatro romances de ficção científica: *Vinte mil léguas submarinas*, de Júlio Verne; *A máquina do tempo*, de Herbert George Wells; *O fim da eternidade*, de Isaac Asimov; e *2001: uma odisseia no espaço*, de Arthur C. Clarke. Foram elaboradas tabelas para a análise de trechos selecionados em cada obra, e os resultados obtidos evidenciaram importantes projeções para esse tipo de pesquisa, pois complementa o ensino de Ciências por meio da literatura de ficção, possibilitando uma formação científica mais completa, eficiente e reflexiva.

Na continuidade, são relatados dois estudos envolvendo os temas em discussão, o ensino de Física e a literatura. O primeiro corresponde à tese de doutorado em Educação escrita por Piassi (2007) e intitulada *Contatos: a ficção científica no ensino de ciências em um contexto sócio-cultural*. A pesquisa teve por objetivo verificar se a ficção científica é capaz de se constituir num elemento articulador a partir de onde podemos estabelecer vínculos entre os interesses e motivações dos estudantes em relação a temas científicos e os conteúdos programáticos de ensino. A problemática foi assim delimitada: “Por que os estudantes demonstram vivo interesse pelas questões apresentadas na mídia e não pelas apresentadas em sala?”.

Em seu texto, o autor pondera que a ficção científica desperta interesse porque quem assiste ou lê mostra-se motivado por questões científicas fundamentais e que muitas vezes parecem estar distantes dos conteúdos presentes nas aulas de ciências, o que se revela uma maneira de demonstrar ideias ligadas à ciência de forma mais ampla. A pesquisa utilizou-se de três gêneros específicos, romance, filmes e contos de ficção científica, adaptados ao

contexto da sala de aula. A aplicação da proposta ocorreu em turmas do ensino fundamental e do ensino médio do Colégio Waldorf Micael, escola particular de São Paulo.

Piassi cita que o conto “O alimento dos Deuses”, de Arthur Clarke, aplicado a uma turma de terceiro ano do ensino médio, possibilitou discutir conceitos de Física Quântica e sua vinculação com a obra. Com base nessa discussão, os estudantes puderam entender a relação da ciência com a sociedade em que estão inseridos. Outra tarefa consistiu em desenhar um ônibus espacial, cujas características foram discutidas antes da atividade, momento em que foi possível observar o interesse, a motivação e a aprendizagem dos estudantes, através da conexão viável entre a imaginação proporcionada pela obra e os conceitos abordados em sala.

Os resultados apontaram que a ficção científica mostra-se muito mais do que um simples recurso didático, de modo que precisa fazer parte da sala de aula e proporcionar um efeito didático, ligando o conteúdo que carrega com os conteúdos programáticos escolares. O pesquisador destaca, ainda, como resultado o interesse dos estudantes pelos fatos apresentados, seu envolvimento na atividade e a ocorrência de discussões.

Por fim, a dissertação de Ramos (2012), intitulada *A ciência e o insólito: o conto de literatura fantástica no ensino de Física*, teve como objetivo analisar em que medida a literatura, em especial os contos fantásticos, pode ser útil nas aulas de Física para abordar conceitos e temáticas. Para alcançá-lo, contos foram analisados a partir da semiótica, auxiliando na construção de conceitos próximos do estudante. Segundo o autor, esses textos convidam a refletir sobre a realidade, porque deixam o leitor na dúvida entre o real e o imaginário, sendo essa uma das características dos contos fantásticos.

O problema de pesquisa foi o seguinte: “Como a literatura, em especial os contos fantásticos, pode ser utilizada nas aulas de Física para abordar conceitos temáticos de Física?”. Partindo desse questionamento, buscou-se identificar conceitos científicos nesses contos literários, a fim de que o estudo evidenciasse possíveis relações, potenciais e didáticas entre a arte e a ciência.

Os resultados mostraram que a aproximação entre a Física e os contos fantásticos permite não só a aprendizagem de conceitos, mas também uma formação mais profunda. Isso ocorreu porque as atividades propostas para a pesquisa basearam-se em estratégias de leitura, em conjunto com contos fantásticos, mostrando-se motivadoras dessa formação.

Os estudos apresentados indicam alternativas para a utilização da literatura no ensino de Física na abordagem de temas de ciências. De acordo com o citado, esse tipo de metodologia se distingue dos demais por apresentar uma situação problema para, a partir dela, desenvolver conteúdos, justificar esse problema e propor soluções. Para Delizoicov (1982), é

nesse ponto que o processo de estímulo e motivação pelo conhecimento é instigado, pois ele precisa estar relacionado com as expectativas e os interesses dos estudantes. Também é importante que a problemática potencialize uma situação real, para que o conhecimento possa estar ligado com o mundo vivencial do estudante.

Dessa forma, buscando conceituar os conteúdos abordados nesta dissertação, apresentam-se, a seguir, os conceitos de Termodinâmica trabalhados na sequência didática.

2.5 Os conceitos de Termodinâmica

Tendo em vista que a proposta consiste em abordar os tópicos de Termodinâmica, este item apresenta resumidamente os principais conceitos da área, de acordo com Martini et al. (2016) e Torres et al. (2013). Assim, almeja-se expor ao leitor os conteúdos que serão trabalhados no decorrer da sequência didática relatada nesta dissertação.

- **Termodinâmica:** parte da Física que estuda as relações entre energia térmica e a mecânica. Especificamente, destina-se à conversão de energia mecânica em energia térmica, e vice-versa.
- **Transformações gasosas:** acontecem quando ocorre a alteração de uma ou mais das variáveis de estado (pressão, volume ou temperatura) de um sistema que contenha um gás.
- **Transformações isotérmicas:** aquelas em que a temperatura de um gás permanece constante.
- **Transformações isobáricas:** aquelas em que a pressão se mantém constante.
- **Transformações isovolumétricas:** aquelas em que o volume se mantém constante. Transformações desse tipo também são denominadas “isovolumétricas”, “isométricas” ou “isocóricas”.
- **Transformações adiabáticas:** nas transformações adiabáticas em um sistema gasoso, não ocorrem trocas de calor entre o sistema e o meio externo.
- **Transformações cíclicas:** aquelas em que o gás parte de um estado inicial e, após uma sequência de estágios de transformação, atinge um estado final, no qual as variáveis do estado inicial coincidem com as do final.
- **Energia interna:** a energia interna de um sistema é resultante da soma de várias energias, entre as quais, a energia de translação, de rotação e de vibração de suas moléculas.

- **Trabalho termodinâmico:** consiste na quantidade de energia térmica que é convertida em energia mecânica, e vice-versa.
- **Primeira Lei da Termodinâmica:** está relacionada com a conservação de energia. Em outras palavras, a variação de energia interna de um sistema é resultante da diferença entre a quantidade de calor trocada com o meio externo e o trabalho realizado no processo termodinâmico. Matematicamente, pode-se representar a Primeira Lei da Termodinâmica por $\Delta U = Q - \tau$, onde ΔU corresponde à variação de energia interna, Q à quantidade de calor trocado no processo e τ ao trabalho mecânico desenvolvido.
- **Segunda Lei da Termodinâmica:** expressa, de uma forma concisa, que “A quantidade de entropia de qualquer sistema isolado termodinamicamente tende a incrementar-se com o tempo, até alcançar um valor máximo”. Mais sensivelmente, quando uma parte de um sistema fechado interage com outra parte, a energia tende a dividir-se por igual, até que o sistema alcance um equilíbrio térmico.
- **Entropia:** relaciona-se à característica intrínseca de todo e qualquer sistema; aumenta à medida que a desordem dos fenômenos também aumenta. A entropia geralmente associa-se ao “grau de desordem” de um sistema termodinâmico, e o trabalho pode ser totalmente convertido em calor e, conseqüentemente, em energia térmica, mas a energia térmica não pode ser completamente convertida em trabalho.
- **Máquinas térmicas:** são dispositivos que transformam a energia na forma de calor em trabalho mecânico. Operam em ciclos, retirando uma quantidade de calor de uma fonte quente e, de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, convertem parcialmente essa energia em trabalho mecânico (τ), rejeitando outra parte e transferindo-a na forma de quantidade de calor para uma fonte fria.
- **Ciclo de Carnot:** a máquina de Carnot é uma máquina térmica que realiza ciclos termodinâmicos, conhecidos como “Ciclo de Carnot”, o qual é formado por duas transformações isotérmicas alternadas com duas transformações adiabáticas.
- **Rendimento:** sendo impossível construir uma máquina térmica que, ao operar em ciclos, transforme integralmente em trabalho todo o calor que recebe, pode-se associar a cada máquina térmica uma grandeza para medir seu grau de eficiência.

Essa grandeza denomina-se rendimento (η), indicado pela expressão $\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$.

3 O PRODUTO EDUCACIONAL E A IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA

Este capítulo descreve o produto educacional elaborado para este estudo, que está estruturado de forma a contemplar elementos que favoreçam a aprendizagem significativa em Termodinâmica. Para isso, tem como ponto de partida a obra de ficção científica *A volta ao mundo em 80 dias*, escrita por Júlio Verne. Também, neste capítulo é relatada a implementação da proposta.

3.1 O produto educacional

O produto educacional elaborado para este estudo constitui-se de uma sequência didática estruturada de acordo com os pressupostos da Teoria da Aprendizagem Significativa proposta por Ausubel e contempla o tema Termodinâmica. O seu objetivo consiste em oferecer um módulo didático desse conteúdo para a promoção da aprendizagem significativa a partir da obra *A volta ao mundo em 80 dias*.

Nesse sentido, o material (Figura 6), que está disponibilizado no portal EduCapes, no endereço <<https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/431761>> e destina-se, especialmente, a professores de Física do ensino médio.

Figura 1 - Capa do Produto Educacional



Fonte: autores, 2019.

A sequência contida no produto educacional divide-se em três etapas, nas quais são apresentadas situações capazes de relacionar os conhecimentos escolares com o contexto da história narrada por Verne e o mundo vivencial dos estudantes. Assim, a primeira etapa inicia pela identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre Termodinâmica, por meio de um trabalho com o texto “Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais”, a fim de relacionar os assuntos estudados aos conceitos subsunçores para, mais tarde, trabalhar conceitos referentes à Primeira Lei da Termodinâmica. A segunda etapa busca desenvolver os conceitos da Segunda Lei da Termodinâmica, interpretando-os e relacionando-os com partes da obra literária. Finalmente, a terceira etapa envolve os conceitos de máquinas térmicas, proporcionando aos estudantes sua compreensão, embasada no texto “Da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade”.

Para atingir os objetivos propostos, o texto do produto educacional está organizado da seguinte forma: no primeiro capítulo discutem-se resumidamente os pressupostos básicos da Teoria da Aprendizagem Significativa, de Ausubel; no segundo capítulo sintetiza-se a história do romance de ficção escrito por Júlio Verne, protagonizado pelo personagem Phileas Fogg; e na continuidade, em três capítulos, apresenta-se a sequência didática. Ao final, registram-se as referências citadas e consultadas para a elaboração do material.

3.2 A implementação da proposta

A proposta foi desenvolvida em conjunto com a professora de Literatura. Nesta disciplina, os estudantes tiveram os primeiros contatos com a obra, isto é, leram o texto escrito por Verne, elaboraram resumos, realizaram seminários sobre as interpretações obtidas. Ainda, com o auxílio da responsável pela organização das atividades da biblioteca da escola, foi efetuada uma pesquisa sobre o autor, contemplando a biografia e as principais obras.

A sequência didática foi estruturada em três etapas. Na primeira, trabalhou-se a Primeira Lei da Termodinâmica; na segunda, a Segunda Lei da Termodinâmica; e na terceira, as máquinas térmicas. Os encontros foram organizados de modo a abranger, no momento inicial, os conhecimentos prévios dos estudantes, através de alguns questionários a que eles responderam por escrito, individualmente, e que após foram discutidos no grande grupo. A seguir, foi apresentado um organizador prévio, como forma de promover discussões acerca do tema, e na continuidade os estudantes receberam um texto referente à Termodinâmica, abordando alguns conteúdos de aula. Foram identificados indícios de aprendizagem significativa nas atividades que os participantes realizaram, tais como textos, questionários,

mapas conceituais, experimento e relatórios. Esse conjunto de atividades foi elaborado de acordo com a TAS.

A seguir, serão detalhadas as atividades, bem como o cronograma de aplicação da sequência didática.

Quadro 2 - Cronograma de aplicação da proposta

Encontro	Data	Atividades	Nº de períodos
1º	09/08/18	Apresentação da proposta. Questões e construção de um texto buscando identificar os conceitos subsunçores sobre Termodinâmica. Vídeo. Texto: “Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais?”	2 ²
2º	23/08/18	Retomada do texto da aula anterior. Vídeo e conceito de trabalho em uma transformação gasosa. Questionamentos para discussão e socialização. Linguagem matemática do tema.	2
3º	30/08/18	Questões. Energia interna. Pequeno trecho do filme <i>A volta ao mundo em 80 dias</i> . Questões para discussões e reflexão. Definição da Primeira Lei da Termodinâmica. Transformações termodinâmicas. Questões e discussões no grupo.	2
4º	06/09/18	Atividade experimental, construção de um barco a vapor. Roda de conversa com indagações referentes à Primeira Lei da Termodinâmica.	2
5º	13/09/18	Segunda Lei da Termodinâmica. Identificação de conceitos subsunçores. Construção de mapa conceitual.	2
6º	27/09/18	Trecho da história <i>A volta ao mundo em 80 dias</i> . Reflexões e indagações.	2
7º	04/10/18	Diálogo entre os estudantes. Questões. Socialização das resoluções.	2
8º	11/10/18	Máquinas térmicas, indagações. Texto: “Da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade”.	2
9º	18/10/18	Questionamentos para verificar indícios de aprendizagem significativa. Apresentação em grupo das soluções. Vídeo: <i>Princípio do motor a vapor</i> . Indagações sobre o vídeo.	2
10º	25/10/18	Conversa com um engenheiro mecânico. Elaboração de um texto contemplando conceitos termodinâmicos com a obra de Júlio Verne.	2

Fonte: a autora, 2018.

Levando-se em consideração os conteúdos correspondentes ao segundo ano do ensino médio, optou-se por trabalhar a Termodinâmica a partir da leitura do livro de Júlio Verne, por se tratar de uma turma que gosta de ler e que demonstra interesse em metodologias de ensino

² Cada encontro foi estruturado em dois períodos semanais de 50 minutos cada, no mesmo turno de aula pela manhã.

diferenciadas. A escolha também teve como referencial o conteúdo selecionado para o estudo – Termodinâmica –, além do fato de a pesquisadora ser a professora titular e trabalhar na escola desde 2009 com ensino médio como docente de Física, tendo experiência com os conteúdos trabalhados e com o público-alvo.

3.3 O local da aplicação

Para a aplicação da sequência didática, foi selecionada uma turma do segundo ano do ensino médio de uma escola pública estadual, localizada no município de Água Santa, RS. A escola oferece o ensino médio no turno da manhã, e no turno da noite, a educação de jovens e adultos (EJA) dos ensinos fundamental e médio, bem como os três anos do ensino médio. Atende, atualmente, 150 estudantes de classes baixa e média, sendo a maioria proveniente do interior do município. De acordo com a Fundação de Economia e Estatística (FEE)³, o município de Água Santa tem a maior renda *per capita* do Rio Grande do Sul, ocupando o segundo lugar no Índice de Desenvolvimento Socioeconômico (Idese). Além disso, apresenta economia essencialmente agrícola, e 60% da população reside na área rural, conforme dados do censo do IBGE.

A instituição de ensino conta com uma boa estrutura física, composta por cinco salas de aula com ar-condicionado, quadro branco, *data show*, *notebooks*, *netbooks*; biblioteca com excelente acervo literário, onde se encontram algumas obras de Júlio Verne, contemplando as faixas etárias dos estudantes; laboratório de ciências; sala de vídeo e de projeção com *data show* instalado; internet com rede *wi-fi*; salão de atos para reuniões e apresentações; sala de informática; ginásio para atividades físicas e eventos da escola, como formatura, festa junina. Nesses espaços, desenvolvem-se atividades diferenciadas, proporcionado aos estudantes trabalhos em grupos, pesquisas, projetos, enfim, uma formação integral.

O objetivo geral da escola, conforme seu Projeto Político-Pedagógico (PPP), é assegurar ao educando a educação, o ensinamento e os cuidados necessários à formação integral como função social da escola, indispensável para o exercício da cidadania, fornecendo-lhe meios para progredir ao longo da vida; despertar suas capacidades afetiva, física, cognitiva, ética e de inserção através de uma educação com acesso e qualidade para todos. No PPP da escola, sua filosofia coloca a prática e o trabalho educativo como princípios que promovem o compromisso de construir projetos de vida, individuais e coletivos, de sujeitos que se apropriam da construção do conhecimento e desencadeiam as necessárias

³ Disponível em: <encurtador.com.br/guHWX>. Acesso em: 15 fev. 2019.

transformações da natureza e da sociedade, contribuindo para o resgate do processo de humanização baseado na ética, na justiça social e na fraternidade.

A avaliação caracteriza-se como um processo e a possibilidade da construção de cada um e do coletivo de forma diferente. Ela é entendida como um processo contínuo, participativo, diagnóstico e investigativo, intimamente ligado à concepção de conhecimento e currículo, sempre provisório, histórico, singular, na medida em que propicia o tempo adequado de aprendizagem de cada um e para o coletivo. Tem por finalidade diagnosticar avanços e entraves, para intervir, agir, problematizar e redefinir rumos a serem percorridos.

O componente curricular de Física, no segundo ano do ensino médio, está organizado em dois períodos semanais. A metodologia utilizada pelos professores da turma se estrutura de forma dialogada, contemplando exposição de conteúdos e pesquisa, e o livro didático é empregado na maioria das aulas. Algumas vezes, os estudantes utilizam o laboratório de ciências e a biblioteca, pois participam do projeto de leitura desenvolvido em um período semanal. Nesse projeto, as turmas levam a cesta de livros e revistas para a sala de aula, e uma vez por mês são convidadas a participar de um momento na biblioteca, em que são apresentadas a biografia de um escritor e uma síntese de suas principais obras.

3.3.1 Os estudantes participantes da sequência didática e sujeitos da pesquisa

A turma do segundo ano do ensino médio com a qual foi desenvolvida a sequência didática é composta de dezenove estudantes na faixa etária de 15 a 17 anos, sendo onze meninas e oito meninos. É considerada participativa, crítica, reflexiva, envolvida e comprometida com as tarefas propostas. A escolha por essa turma teve como referencial o conteúdo selecionado para o estudo – Termodinâmica –, além do fato de a pesquisadora ser a sua professora titular e trabalhar na escola desde 2009 com ensino médio como docente de Física, tendo experiência com os conteúdos trabalhados e com o público-alvo. A turma também gosta de ler, o que se torna um componente facilitador da investigação.

Dezessete dos dezenove estudantes residem no interior do município e ajudam os pais na agricultura, na pecuária de leite e de corte e na avicultura. Somente dois estudantes residem na cidade, estudando no turno da manhã e participando, no turno inverso, do programa Jovem Aprendiz. Por meio desse programa, algumas empresas da cidade contratam os jovens dessa faixa etária.

Os estudantes, em sua maioria, cursaram o ensino fundamental na Escola Municipal Padre Raimundo Damin, localizada na sede do município. Após o término dessa etapa,

começaram a frequentar o ensino médio na Escola Estadual Cláudio Antônio Benvegnú. Registra-se que a maioria deles frequenta pela primeira vez o segundo ano do ensino médio, havendo apenas um estudante repetente nessa turma.

Na aplicação da proposta, os estudantes mostraram-se motivados e interessados, participando das atividades propostas, o que é muito importante para a ocorrência de aprendizagem. Em vários momentos, questionavam e debatiam suas ideias e opiniões sobre o tema estudado.

A aplicação da sequência didática foi autorizada pela escola nos termos do documento apresentado no APÊNDICE A. Já a participação dos estudantes nas atividades foi autorizada pelos responsáveis, mediante assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE), disponível no ANEXO A.

3.4 Os encontros

A seguir, descrevem-se os encontros com as atividades que foram realizadas e que fazem parte da sequência didática objeto de estudo.

3.4.1 Primeiro encontro: iniciando as atividades

O primeiro encontro teve início com uma breve apresentação da proposta de trabalho da sequência didática e de como seriam realizadas as atividades no decorrer das aulas. Nesse momento, os estudantes receberam o TCLE (ANEXO A), para que seus pais ou responsáveis assinassem, autorizando-os a participar da pesquisa. Destacou-se ao grupo que as atividades fazem parte do componente curricular, ressaltando-se, também, a importância do comprometimento, da assiduidade e da participação de todos nas aulas.

Em seguida, a sequência didática foi introduzida, identificando os conhecimentos prévios dos estudantes sobre Termodinâmica, através de alguns questionamentos (APÊNDICE B) que proporcionaram a reflexão e o debate como forma de subsidiar a elaboração do texto que relaciona informações sobre o tema. Nesta etapa, lembra-se que os participantes já haviam lido a obra de Júlio Verne, *A volta ao mundo em 80 dias*.

Depois de identificados os conhecimentos prévios, em pequenos grupos, eles assistiram ao *trailer* do filme de mesmo título, para que estabelecessem a ligação entre os conceitos subsunçores. Posteriormente, discutiram e organizaram suas ideias a respeito do tema. Na sequência, receberam o texto intitulado “Como seria dar a volta ao mundo nos dias

atuais?” (APÊNDICE C), sendo solicitados a grifar os conceitos termodinâmicos nele presentes.

A professora pesquisadora estabeleceu ligações entre os conceitos subsunçores e os conceitos referentes ao tema. Para tanto, teve, como ponto de partida, os conceitos grifados e as relações entre eles, estabelecendo a diferenciação progressiva. O objetivo dessa atividade foi analisar a conexão entre as variáveis termodinâmicas, calor, trabalho e energia interna, em uma transformação gasosa, e aplicá-las à Primeira Lei da Termodinâmica.

Para finalizar este encontro, os estudantes foram instigados a discutir sobre a relação entre os conhecimentos prévios e os conceitos termodinâmicos encontrados no texto.

3.4.2 Segundo encontro: trabalho em uma transformação gasosa

Dando início ao encontro, a professora pesquisadora fez uma retomada da aula anterior, com ênfase nos conceitos grifados no texto, estabelecendo relações entre os conceitos termodinâmicos que já possuíam em sua estrutura cognitiva e os novos conceitos. Para introduzir o conceito de trabalho em uma transformação gasosa, foi proposto aos estudantes que formassem grupos e assistissem a um vídeo envolvendo conhecimentos físicos sobre o tema, de modo a relacioná-los com os conhecimentos prévios. Para possibilitar discussão entre os participantes, foram apresentados alguns questionamentos (APÊNDICE D). Após um tempo foi feita uma discussão onde cada grupo apresentou suas respostas aos colegas. O objetivo da atividade foi fazer com que os estudantes conseguissem relacionar os conceitos com partes do vídeo.

No momento seguinte, resgatando algumas cenas do livro que apresentam esses conceitos, a linguagem matemática referente ao tópico trabalho em uma transformação gasosa foi inserida. Essa parte da proposta buscou promover e fortalecer a reconciliação integradora a partir do resgate do funcionamento do motor da locomotiva presente na história de Júlio Verne. Na continuidade, foi solicitado que os estudantes resolvessem algumas situações problemas (APÊNDICE E), para auxiliar o estabelecimento da reconciliação integradora dos conceitos estudados até o momento, sempre retomando a História de Verne estabelecendo ligações com o conteúdo, sendo assim um caminho facilitador da aprendizagem.

Seguindo esta etapa, visou-se integrar os conceitos de energia interna aos já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes. Para tanto, foram apresentados os seguintes questionamentos: como você definiria energia? Quais os tipos de energia que você conhece? Em que situações você reconhece sua presença?

A participação dos estudantes nesta parte do encontro foi bastante intensa. Todos eles tiveram espaços para expor suas ideias e opiniões, proporcionando, desta forma, um espaço importante para reflexões dos conteúdos estudados e o estabelecimento deste com as situações vivenciadas cotidianamente pelos estudantes.

3.4.3 Terceiro encontro: Primeira Lei da Termodinâmica

Num primeiro momento, foram retomadas as questões da aula anterior sobre energia. O objetivo do encontro foi aprofundar os conceitos sobre a definição e aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica. A atividade teve início com a exibição de um breve trecho do filme *A volta ao mundo em 80 dias*⁴, para promover outro espaço favorecedor da diferenciação progressiva dos conceitos estudados. Após, os estudantes foram instigados a refletir sobre o que assistiram, e a professora pesquisadora passou a definir a Primeira Lei da Termodinâmica, retomando a lei da conservação de energia, discutida anteriormente, como sendo uma das leis fundamentais da Física.

Nessa parte, o funcionamento do carro da cena do filme foi citado como forma de exemplificar os conceitos estudados. Ou seja, foi retomada a cena em que aparece o carro movido a vapor, que se desloca devido ao funcionamento da caldeira onde a água é aquecida e se transforma em vapor, o qual faz os pistões se moverem, realizando trabalho de modo a movimentar o carro.

Visando estabelecer a reconciliação integradora dos conceitos pertinentes à Primeira Lei da Termodinâmica, proporcionou-se uma reflexão sobre alguns conceitos presentes no vídeo e os exemplos trabalhados em aula.

Com o intuito de fortalecer a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora, foi proposto aos estudantes que em grupos realizassem uma pesquisa nos *notebooks* sobre os tipos de transformações termodinâmicas. Após, apresentou-se uma tabela com as transformações termodinâmicas e exemplos relacionados com o livro de Júlio Verne (APÊNDICE F). Como a Primeira Lei da Termodinâmica se aplica a muitos processos termodinâmicos, a professora pesquisadora analisou e discutiu com os estudantes esses dados de transformações termodinâmicas, bem como os exemplos citados.

Por fim, em duplas, os participantes resolveram algumas situações problemas (APÊNDICE G) referentes ao funcionamento do motor da locomotiva, descrito na obra de

⁴ VOLTA AO MUNDO EM 80 DIAS (AROUND THE WORLD IN 80 DAYS). Filme completo. Diretor Frank Coraci. Irlanda: Europa Filmes, 2004. Disponível em: <<https://goo.gl/ZTQCd2>>. Acesso em: 28 maio 2018.

Verne. A partir das respostas obtidas em duplas, posteriormente passou-se a discutir as respostas com o coletivo da turma.

3.4.4 Quarto encontro: atividade experimental e discussões sobre a sua realização

Com o intuito de aprofundar o conceito sobre a Primeira Lei da Termodinâmica e direcionar as ideias construídas até o momento, buscou-se promover o processo de assimilação dos conceitos estudados. Nesse sentido, para identificar indícios ou evidências de aprendizagem significativa, foi desenvolvida uma atividade experimental, proposta por Mazaro e Darroz (2017), na qual os estudantes construíram um barco a vapor com materiais de baixo custo.

Essa atividade teve como principal objetivo abordar os conceitos estudados sobre a Primeira Lei da Termodinâmica. Para tal, apresentou-se a construção de um experimento simples e de baixo custo, que simula o funcionamento de um barco a vapor. Com a proposta, foram proporcionados aos estudantes momentos de reflexão e discussão, levando-os à compreensão dos conceitos sobre o tema, pois as atividades experimentais são consideradas fundamentais para a construção do conhecimento em ciências.

Para realizar a atividade experimental, os estudantes foram dispostos em grupos de três ou quatro componentes. A primeira tarefa consistiu em uma análise de duas imagens de máquinas a vapor (Figuras 1 e 2).

Figura 2 - Locomotiva a vapor



Fonte: Disponível em: <<https://bit.ly/2MStQU5>>.

Figura 3 - Navio a vapor



Fonte: Disponível em <<https://bit.ly/2ufcmJZ>>.

Em seguida, após a observação das imagens, foi solicitado aos participantes que em grupo construíssem o equipamento da atividade proposta: um barco a vapor feito de materiais alternativos e de baixo custo fornecidos pela professora pesquisadora. De posse dos materiais, os estudantes construíram o objeto.

Durante o processo, eles foram estimulados a formular hipóteses sobre quais os fatores que causam o movimento do barco a vapor. Dessa forma, tiveram a possibilidade de expor seus conhecimentos prévios e pensamentos, demonstrando a forma como articulam suas concepções acerca do assunto e como organizaram a atividade experimental.

Neste encontro, o objetivo também foi testar as hipóteses elencadas na etapa anterior, indagando os estudantes, à medida que observavam o que estava ocorrendo, sobre o porquê de o barco a vapor navegar. A intenção era que, nos grupos, eles se sentissem envolvidos intelectualmente na atividade e, dessa forma, fossem capazes de construir conceitos termodinâmicos implicados no processo.

Seguindo o encontro, ocorreu o fechamento da atividade experimental, buscando interpretar o observado e relacioná-lo com a teoria. Para isso, através de uma roda de conversa, os estudantes foram indagados sobre: o que as imagens contidas nas Figuras 1 e 2 têm em comum com o barco a vapor construído? O que a termodinâmica tem a ver com nosso cotidiano? Qual a relação entre trabalho e energia? Em relação ao barco a vapor, quem realizou trabalho? Qual a relação entre o barco a vapor e o princípio básico de funcionamento de uma máquina a vapor? O intuito dessa atividade foi conduzir os estudantes a confrontarem suas hipóteses com o observado e com os conteúdos relacionados à Primeira Lei da Termodinâmica.

Figura 4 - O barco a vapor se movimentando



Fonte: a autora, 2018.

Figura 5 - Navio a vapor



Fonte: Disponível em <<https://bit.ly/2ufcmJZ>>.

Para finalizar, e após responder as indagações, os estudantes foram motivados a elaborar individualmente um texto com imagens e explicações sobre as relações entre os conceitos termodinâmicos e a atividade experimental como um fechamento da primeira etapa, a fim de identificar os indícios de aprendizagem significativa ao longo de seu desenvolvimento. Após analisados pela professora pesquisadora, os textos foram discutidos em uma roda de conversa na sala de aula, para possibilitar a ocorrência da diferenciação progressiva e a reconciliação integradora desses conceitos.

3.4.5 Quinto encontro: início da segunda etapa – Segunda Lei da Termodinâmica

No início, foram retomados alguns conceitos envolvidos com o experimento do encontro anterior. Após, passou-se à segunda etapa do encontro, que teve como objetivo compreender os conceitos da Segunda Lei da Termodinâmica; prever a limitação da

conversibilidade de calor em trabalho útil e perceber sua aplicação; interpretar e relacionar o texto com conceitos termodinâmicos.

A atividade teve início pela identificação dos conceitos subsunçores dos estudantes acerca do tema de estudo. Para isso, a professora pesquisadora propôs um diálogo, orientado por um conjunto de indagações (APÊNDICE H), possibilitando a todos comentar o que sabiam sobre o assunto. Finalizando o diálogo, a intenção foi propor que os estudantes, em pequenos grupos, construíssem um mapa conceitual com base nas ideias anotadas anteriormente. Com esse material, foi possível identificar conceitos subsunçores que serviram de âncora para o estudo da Segunda Lei da Termodinâmica.

A imagem a seguir foi apresentada com vistas a estabelecer relação entre os conceitos subsunçores identificados no mapa conceitual construído e os conceitos relacionados à Segunda Lei da Termodinâmica.

Figura 6 - Capa da obra *A volta ao mundo em 80 dias*.



Fonte: Disponível em: <<https://goo.gl/75ScCZ>>.

Diante da imagem, os estudantes foram indagados sobre os conceitos que nela estavam subentendidos. Para isso, alguns questionamentos foram previamente elaborados pela professora pesquisadora (APÊNDICE I).

3.4.6 Sexto encontro: trecho da história *A volta ao mundo em 80 dias*

Num primeiro momento, foram retomados os mapas e as questões referentes à imagem da capa do livro de Verne. Na sequência, foi entregue aos estudantes uma folha contendo um trecho da história *A volta ao mundo em 80 dias*, de Júlio Verne (APÊNDICE J), no qual estão

presentes os conceitos que foram apresentados ao longo desta etapa. Após a leitura, foram iniciadas as reflexões sobre a Segunda Lei da Termodinâmica.

Para introduzir a diferenciação progressiva dos conceitos envolvidos com o conteúdo, a professora pesquisadora promoveu um diálogo no qual os estudantes foram questionados sobre o que pensam ser ciclos ou transformações cíclicas, e se compreendem esses fenômenos como reversíveis ou não, estabelecendo relações entre os tópicos estudados até o momento.

Buscando fortalecer a ligação entre os conceitos subsunçores identificados na primeira parte da etapa e os conceitos da Segunda Lei da Termodinâmica, alguns questionamentos foram retomados. Por meio deles, a intenção era identificar indícios da aprendizagem significativa, pois, nesta etapa, os estudantes estabeleceram algumas relações entre os conceitos estudados e o que já traziam em sua estrutura cognitiva. Um exemplo que eles relacionaram foi o funcionamento do motor do carro como sendo um ciclo termodinâmico.

3.4.7 Sétimo encontro: transpor conceitos em diferentes contextos

Neste encontro, retomaram-se as ideias anteriores e orientou-se uma discussão para que, através dos enunciados referentes à Segunda Lei da Termodinâmica, os estudantes percebessem que não é possível um dispositivo térmico ter um rendimento de 100%, isto é, por menor que seja, sempre há uma quantidade de calor que não se transforma em trabalho efetivo.

Na continuidade, concretizou-se a reconciliação integradora dos conceitos relacionados à Segunda Lei da Termodinâmica, solicitando aos estudantes a resolução de algumas questões referentes ao tema em estudo (APÊNDICE K). Para isso, eles trabalharam em duplas e, após a resolução, socializaram com toda a turma. Essa atividade de socialização também teve como objetivo perceber se os estudantes conseguiam transpor os conceitos para contextos diferentes dos que foram estudados ao longo da etapa. Dito de outro modo, o objetivo deste encontro foi transpor os conceitos presentes na estrutura cognitiva a novos contextos, demonstrando que os sujeitos apresentavam indícios de aprendizagem significativa.

3.4.8 Oitavo encontro: terceira etapa – máquinas térmicas

Este encontro teve como objetivo relacionar a Segunda Lei da Termodinâmica com o funcionamento das máquinas a vapor e sua presença no mundo vivencial, bem como estabelecer pontes cognitivas entre as etapas anteriores e explorar o funcionamento do ciclo

de Carnot e os motores à combustão interna. Nesse sentido, o primeiro passo consistiu em identificar os conhecimentos prévios dos estudantes sobre os temas em estudo através de uma aula dialogada e reflexiva sobre máquinas térmicas, recorrendo, para tanto, a algumas indagações (APÊNDICE L). As respostas dadas a essas indagações foram anotadas pelos estudantes para mais tarde ser possível estabelecer relações entre conceitos, pois se observou que os conhecimentos prévios foram se modificando e sendo assimilados ao longo das atividades.

No seguimento das atividades, foi apresentado como organizador prévio um vídeo⁵, com a duração de 1min36s, mostrando uma máquina locomotiva em funcionamento. A seguir, os estudantes discutiram e refletiram no grupo sobre algumas questões (APÊNDICE M) referentes ao vídeo e ao conteúdo em estudo. Após, foi aberto um espaço para que todos os grupos pudessem expor suas conclusões a respeito.

Na continuidade deste encontro, e com o intuito de promover a diferenciação progressiva dos conceitos referentes a esta etapa, os grupos receberam o texto “Da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade” (APÊNDICE N). Concluída a leitura do texto, os estudantes foram convidados a ler e destacar, juntamente com a professora pesquisadora, os conceitos termodinâmicos e a ligação destes com a obra de Verne.

3.4.9 Nono encontro: da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade

No início, retomou-se o texto do encontro anterior, com destaque para a importância da Revolução Industrial e o aperfeiçoamento das máquinas térmicas, observando, também, os conceitos referentes às máquinas térmicas, ao Ciclo de Carnot, ao funcionamento de motores à combustão interna e entropia, a fim de estabelecer relações entre os conceitos subsunçores e auxiliar no estabelecimento da reconciliação integradora dos tópicos estudados até o momento. A seguir, promoveu-se um diálogo entre os estudantes, tendo como eixo norteador algumas questões ligadas ao tema em foco (APÊNDICE O). Seguindo as atividades do encontro, os estudantes apresentaram suas ideias nos grupos e, após, para toda a turma. Por meio desse exercício, buscou-se identificar indícios de aprendizagem significativa em suas falas e respostas.

⁵ SANTANA, 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/ZU7iqd>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

Prosseguindo a etapa, os estudantes assistiram ao vídeo “Princípio do motor a vapor”⁶, com duração de 36 segundos. Após, a professora pesquisadora mediu uma discussão com os estudantes, por meio de algumas indagações (APÊNDICE P). Considerando o vídeo que demonstra o princípio de funcionamento de um motor a vapor e a relação com o texto que descreve o aperfeiçoamento das máquinas térmicas, foi exibido aos estudantes outro vídeo de animação, com duração de 5min26s, que demonstra o funcionamento de um motor de combustão interna de quatro tempos⁷.

Para finalizar e completar a atividade, foi proposto que, em cada grupo, os estudantes formulassem questões sobre o vídeo e as repassassem para o próximo grupo responder, até que todos tivessem questões para trabalhar e socializar com os demais. Essas questões foram resolvidas por meio da elaboração de mapas, resoluções e desenhos.

3.4.10 Décimo encontro: uma roda de conversa com um engenheiro mecânico

Este encontro teve início com a realização de uma atividade prática para fortalecer a interação dos conceitos subsunçores com os conteúdos relacionados à Primeira Lei, à Segunda Lei e ao funcionamento das máquinas térmicas. Para tanto, um engenheiro mecânico foi convidado a participar da aula para conversar com a turma sobre o funcionamento dos motores e as partes que os compõem.

Ainda nesse encontro, os estudantes foram levados a refletir sobre os conhecimentos adquiridos em sala de aula ao longo das etapas. Diante disso, o objetivo consistiu em diferenciar e reconciliar conceitos na estrutura cognitiva de cada participante. Nesse sentido, eles foram indagados a registrar, em grupos, questionamentos e dúvidas sobre motores, pois, ao final, o engenheiro proporcionou um espaço para debate. Os estudantes envolveram-se com essa atividade e elaboraram alguns questionamentos referentes ao funcionamento do motor, partes do motor, eficiência e rendimento, funcionamento do ar-condicionado no carro, etc.

Como forma de identificar indícios de aprendizagem significativa ao longo desta etapa e das anteriores, individualmente, os estudantes elaboraram um texto contemplando e relacionando os conceitos termodinâmicos com a obra de Júlio Verne e os avanços tecnológicos dos meios de transporte e das máquinas térmicas ao longo do tempo e do

⁶ TOR, 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/MdmXnQ>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

⁷ COMO FUNCIONA O MOTOR 4 TEMPOS?. Disponível em: <<https://goo.gl/7NR3n3>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

desenvolvimento da sociedade contemporânea. A intenção dessa atividade foi proporcionar uma análise por meio da qual a professora pesquisadora pudesse comparar os textos, mapas, desenhos e questionamentos produzidos ao longo dos encontros, somados à entrevista aplicada (APÊNDICE Q). Com isso, também se buscou evidenciar elementos para avaliar se a sequência pode ser considerada um material potencialmente significativo para o ensino de Termodinâmica.

Na continuidade deste trabalho, apresentam-se as discussões dos resultados obtidos com a aplicação da sequência didática.

4 A PESQUISA

O presente capítulo abrange os aspectos metodológicos ligados ao estudo aqui apresentado, frente ao desenvolvimento da sequência didática. A pesquisa visou analisar as potencialidades da proposta didática, as quais foram registradas pela professora, que, neste estudo, é a própria pesquisadora.

O capítulo relata a investigação proposta para evidenciar as potencialidades da sequência didática desenvolvida. Também, expõe os instrumentos utilizados na produção dos materiais que contribuirão para os procedimentos de análise dos resultados e suas respectivas categorias, que auxiliaram para testar as hipóteses elencadas para o estudo.

4.1 Classificação

Analisar o contexto escolar exige um olhar diferenciado. Sendo um espaço tão importante e indispensável para a formação de um cidadão crítico, reflexivo e atuante na sociedade, a sala de aula torna-se um cenário de observação e análise da prática pedagógica, diante de novas propostas, como a desta pesquisa, sendo, portanto, um local desafiador para o professor pesquisador.

De fato, é um desafio para o professor pesquisador investigar sua prática educacional. Por isso, busca-se embasamento teórico para auxiliar nesse processo, sendo a pesquisa qualitativa a mais indicada para tal. Conforme Triviños (2015), a pesquisa qualitativa auxilia a entender e analisar a prática educacional, pois permite compreender a realidade e obter elementos para investigá-la. Nesse sentido, Franco (2005) destaca que se trata de uma pesquisa de transformação participativa, em que os sujeitos e pesquisadores interagem na produção de novos conhecimentos.

Na pesquisa realizada diretamente com os sujeitos investigados, a intenção consistia em analisar os materiais produzidos, a fim de identificar respostas para a questão central em estudo. Essa busca foi concretizada por meio das relações entre os sujeitos envolvidos na pesquisa dentro do contexto escolar, identificando elementos que permitiram refletir acerca desse problema de investigação.

Em se tratando de uma pesquisa qualitativa, é necessário identificar e aprofundar os acontecimentos no contexto escolar dentro de seus mínimos detalhes, para que se possa identificar aprendizagem significativa em falas, reflexões, discussões e textos que os estudantes produziram durante a aplicação da sequência didática. Segundo Triviniós (1987), há

uma relação prática entre o mundo real e o sujeito, de modo que a forma de interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados são primordiais no processo da pesquisa qualitativa.

No que se refere às características da pesquisa qualitativa, Creswel (2007) enfatiza que o ambiente natural é a principal fonte de dados juntamente com o pesquisador. Ressalta, ainda, que a preocupação com o processo se torna mais importante que o resultado, ou seja, a atenção do pesquisador ao estudar tal problema está em investigar como o sujeito interage e participa das atividades, nos procedimentos e nas interações com o meio onde está inserido.

Ainda nessa direção, salienta-se a importância de se estabelecer um vínculo de confiança entre o pesquisador e os participantes. No presente caso, o fato de a pesquisadora conhecer o perfil da turma em estudo, seus desejos e interesses favoreceu a escolha do tema e a forma como a sequência didática foi abordada. Destaca-se, nessa perspectiva, que a turma selecionada para participar gosta de ler, o que facilitou a aplicação. Diante do exposto, considerando que este estudo ocorreu no contexto de atuação de sua autora, ele se classifica como pesquisa participante, pois, conforme Gil (2008), o próprio pesquisador responsabiliza-se pela condução da sala de aula e é, também, o observador.

De acordo com Gil (2008), a pesquisa participante caracteriza-se pela interação entre o pesquisador e os integrantes do contexto analisado, valoriza as interações entre ambos, uma vez que o pesquisador participa plenamente das atividades desenvolvidas. Permite a quem pesquisa dividir seus conhecimentos com os participantes, tornando-os imersos na pesquisa, possibilitando que compreendam o problema pesquisado conforme o contexto social em que estão inseridos e a relevância disso em suas vidas.

Segundo Gil (2008), a pesquisa participante apresenta algumas particularidades, tais como um método coletivo e pedagógico em que todos os sujeitos compartilham a mesma ideia, partindo de situações reais, as quais se pretende compreender ou solucionar. Nesse tipo de pesquisa, é possível identificar o nível e a forma de envolvimento e interação dos participantes. Esse também pode ser um meio de controle do conhecimento, oportunizando formação através da interação e do reconhecimento entre o pesquisador e os sujeitos investigados.

4.2 Instrumentos

Visando à produção de dados que permitissem buscar elementos para discussão, apresentam-se, no seguimento, os instrumentos de coleta selecionados para a pesquisa. As escolhas foram elencadas por discussões anteriores, tendo em vista as particularidades da

proposta elaborada. De forma especial, buscou-se que esses instrumentos possibilitassem analisar a proposta didática, considerando e relacionando os conhecimentos específicos de Termodinâmica com os utilizados por Júlio Verne em seu livro, de modo que os estudantes tivessem condições de estabelecer ligações entre os novos conceitos e os que já possuíam em sua estrutura cognitiva.

Conforme Lorenzetti (2000), os estudantes devem apropriar-se de vocabulários ricos, de termos científicos próprios da ciência; estabelecer ligações entre conceitos estudados na escola e situações vivenciais, compreendendo que ciência é fruto de construção humana, ligada a um contexto social, político e histórico; que o conhecimento científico não é uma verdade inquestionável, mas sim um saber que sofre modificações, que leva o sujeito a tornar-se mais crítico, participativo, instigando-o a assumir o seu verdadeiro papel na sociedade contemporânea.

Com base nesse entendimento, selecionaram-se os seguintes instrumentos para análise: diário de bordo elaborado pela professora pesquisadora; entrevista semiestruturada; materiais produzidos pelos estudantes (textos, relatório da atividade experimental, desenhos, mapas conceituais, além de um texto final, com definições e desenhos).

É importante que o professor descreva sua prática, e o diário de bordo caracteriza-se como um importante instrumento de registro dessa experiência. No entendimento de Zabalza (2004, p. 10), ao escrever sobre sua prática, o professor aprende e reconstrói seus saberes, pois

[...] escrever sobre o que estamos fazendo como profissional (em aula ou em outros contextos) é um procedimento excelente para nos conscientizarmos de nossos padrões de trabalho. É uma forma de “distanciamento” reflexivo que nos permite ver em perspectiva nosso modo particular de atuar. É, além disso, uma forma de aprender.

Conforme o autor, portanto, não é só a prática que constrói conhecimento. A boa prática permite avançar para novos estágios, ser reflexivo, voltar atrás, olhar o que se fez e analisar, avançar, reajustar. Tudo isso se faz necessário porque, sem observar a prática, é impossível seguir em frente.

Adotando a recomendação de Zabalza (2004), ao final de cada encontro, serão registradas no diário as reflexões sobre as atividades, envolvendo aspectos como a estrutura da aula e o envolvimento e a participação dos estudantes. Esses registros constituíram o material de pesquisa, que foi utilizado para compreender os apontamentos propostos durante a análise dos dados, de acordo com o que será apresentado na seção seguinte.

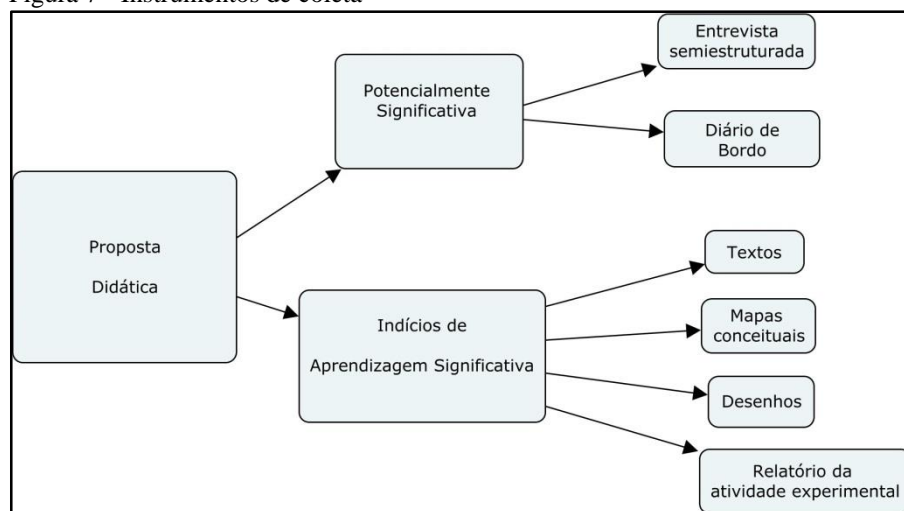
Além disso, visando identificar a opinião dos estudantes frente às atividades, realizou-se uma entrevista semiestruturada, a qual foi gravada em áudio e posteriormente transcrita. A opção pela entrevista semiestruturada deve-se ao fato de esse instrumento ser flexível e possibilitar uma grande interlocução do entrevistador com o entrevistado (LÜDKE; ANDRÉ, 1986). Nos resultados apresentados no próximo capítulo a fim de evitar a identificação dos participantes, todos serão mencionados no gênero masculino e nominados por A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17, A18, A19.

No decorrer da proposta, a produção de materiais pelos estudantes lhes exigiu a aplicação dos conhecimentos em novos contextos, isto é, em contextos diferentes daqueles desenvolvidos no decorrer da aplicação da proposta. Tal transposição lhes possibilitou interagir e aplicar os conhecimentos prévios com os novos conhecimentos, proporcionando uma aprendizagem significativa sobre Termodinâmica.

4.3 Procedimentos de análise

Os dados originados nos instrumentos de coleta de dados foram analisados em duas categorias de análise: *Material Potencialmente Significativo* e *Indícios de Aprendizagem Significativa*. Cada categoria foi avaliada, recorrendo-se a um instrumento de coleta de dados, conforme descrito na Figura 7.

Figura 7 - Instrumentos de coleta



Fonte: a autora, 2018.

A proposta foi avaliada no sentido de verificar se o material pode ser considerado potencialmente significativo e se promove indícios de aprendizagem significativa, sendo essas

as categorias elencadas para o estudo. Por fim, destaca-se que essas categorias foram divididas em subcategorias para a análise dos materiais elaborados pelos estudantes e pela professora pesquisadora.

A análise dessas categorias e subcategorias serviu para testar as seguintes hipóteses de pesquisa:

- H0 – O material é potencialmente significativo e produz indícios de aprendizagem significativa.
- H1 – O material não é potencialmente significativo e não produz indícios de aprendizagem significativa.

4.3.1 Material potencialmente significativo

De acordo com Ausubel (1968), o material é considerado potencialmente significativo quando estabelece ligações com os conhecimentos prévios dos estudantes e reorganiza os conceitos subsunçores existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Nessa perspectiva, e na tentativa de verificar se a sequência didática proporciona os elementos elencados pelo teórico, utilizou-se, como um dos instrumentos de coleta, o diário de bordo da professora pesquisadora, somado às entrevistas semiestruturadas, pautadas nos seguintes aspectos presentes nas subcategorias: relação dos conteúdos estudados com os conhecimentos anteriores dos estudantes; diferenciação progressiva e reconciliação integradora; materiais utilizados; participação e comprometimento nas atividades propostas; estrutura e metodologia utilizada nas aulas; relação entre a Literatura e o ensino de Termodinâmica.

4.3.2 Indícios da aprendizagem significativa

Moreira (1999) salienta que, segundo Ausubel (1968), podemos identificar indícios de aprendizagem significativa quando o aprendiz consegue transpor e ampliar o conhecimento em diferentes contextos. Dessa forma, os possíveis indícios de aprendizagem significativa desta pesquisa foram avaliados a partir da proposta aplicada, através do domínio cognitivo do conteúdo abordado no decorrer dos encontros, por meio de textos, relatório da atividade experimental, desenhos e mapas conceituais elaborados pelos estudantes.

Para tanto, esses materiais foram analisados, mais especificamente, quanto a aspectos vinculados à aprendizagem significativa, por meio dos textos e das falas nas reflexões em sala. Considerou-se, nessa perspectiva, a relação entre o conhecimento prévio e os novos

conhecimentos, articulando-os com o mundo vivencial, a assimilação e a diferenciação dos conceitos físicos abordados de forma diferenciada, observando a maneira como os estudantes elaboraram os textos, o relatório, os mapas e os desenhos, assim como a relação e interação entre os conhecimentos adquiridos e os presentes em sua estrutura cognitiva.

5 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados e discutidos os resultados provenientes da análise oriunda da aplicação da sequência didática. Tal análise, como citado anteriormente, deu-se a partir das categorias estabelecidas: material potencialmente significativo, que recorreu aos dados contidos no diário de bordo da professora pesquisadora e às entrevistas semiestruturadas, e indícios da aprendizagem significativa, evidenciados através dos materiais produzidos pelos estudantes (textos, desenhos, mapas, relatório de experimento). Nesse sentido, o capítulo estrutura-se em dois grandes tópicos, subdivididos nas subcategorias apresentadas na sessão anterior.

5.1 Material potencialmente significativo

Para Ausubel (apud MOREIRA; MANSINI, 2001), um material é potencialmente significativo quando se relaciona com os conhecimentos prévios dos estudantes e é capaz de estabelecer ligações entre eles. Dessa forma, para perceber se o material desenvolvido neste trabalho atinge as condições salientadas pelo teórico, avaliaram-se os seguintes aspectos, constituídos nas subcategorias a seguir: relação dos conteúdos estudados com os conhecimentos anteriores dos estudantes; diferenciação progressiva e reconciliação integradora; materiais utilizados; participação e comprometimento nas atividades propostas; estrutura e metodologia utilizada nas aulas; e relação entre a Literatura e o ensino de Termodinâmica.

5.1.1 *Relação dos conteúdos estudados com os conhecimentos anteriores dos estudantes*

Esta subcategoria busca analisar a relação dos tópicos estudados e os conhecimentos anteriores dos estudantes, na perspectiva de perceber se a proposta didática possibilita a vinculação dos conteúdos com os conhecimentos prévios através do material utilizado.

A primeira evidência de que o material utilizado no decorrer da sequência didática foi capaz de estabelecer a ligação entre os conceitos estudados é verificada nos registros do diário de bordo da professora pesquisadora referentes ao segundo encontro. Tais registros foram marcados por algumas reflexões e discussões relativas a definições de conceitos, destacando a sua compreensão e interpretação, como se pode perceber no trecho descrito a seguir:

Retomei os tópicos destacados no texto lido no encontro anterior e passei uma animação sobre o funcionamento de uma locomotiva a vapor. Após assistirem, questionei o que observaram na animação e se conseguiriam explicar quais conceitos físicos estariam envolvidos. Deixei um tempo para que discutissem nos grupos. Foi um momento interessante, pois eles se envolveram e discutiram sobre os conceitos. Na continuidade, iniciei o conceito de trabalho termodinâmico, discutindo juntos e fazendo com que estabelecessem relações com o que já sabiam. Um estudante perguntou quando eu iria definir o conceito de trabalho. Respondi que iríamos construir juntos, estabelecendo ligações com o que já sabiam e com a parte teórica. Percebo que trabalhar dessa forma faz com que os estudantes se sintam motivados e queiram aprender, uma das condições que Ausubel considera indispensável na Teoria da Aprendizagem Significativa. Também percebi que essa abordagem torna os estudantes mais responsáveis e comprometidos em realizar as atividades propostas, pois, a todo instante, na aula, retomo a história de Verne e a relação com o conteúdo de Termodinâmica, sendo um caminho facilitador para a aprendizagem. Uma estudante comentou que poderia relacionar o funcionamento do motor do carro, da roçadeira de cortar grama à gasolina e até do trator do pai com os conceitos que estamos estudando. Respondi que sim, que precisamos sempre estabelecer relações com nosso cotidiano para compreendermos melhor esses conceitos (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 23/08/2018).

Outro momento em que se podem observar as relações dos conteúdos estudados na sala de aula com os conhecimentos que os estudantes já possuíam em sua estrutura cognitiva diz respeito à fala de A8, A10 e A17 durante as entrevistas. Como pode ser observado, as falas dos estudantes, transcritas abaixo, demonstram que eles percebem e relacionam os conteúdos estudados em várias situações que vivenciam cotidianamente. Com isso, os estudantes salientam que fica mais fácil compreender os assuntos trabalhados nos bancos escolares:

Eu comecei a entender o funcionamento da panela de pressão e estabelecer ligação quando a gente vê em casa. Quanto ao carro, eu fiquei pensando no que entendi na aula e fui ver as peças e o seu funcionamento. Daí, entender a matéria faz mais lógica [...] (A8).

Eu relatei os conteúdos estudados com o meu cotidiano, principalmente o funcionamento dos motores, e também consegui relacionar com o ar-condicionado, por exemplo, que usamos na sala de aula (A10).

Antes, a gente não sabia o que se passava, por exemplo, no funcionamento do ônibus que viemos para aula, e, depois, começamos a ver como funcionavam os motores. Isso ajudou a compreender melhor (A17).

O sétimo encontro também proporcionou situações em que os estudantes estabeleceram relações entre os conteúdos. Um dos aspectos que prevaleceu foi a conexão entre a atividade experimental, o conteúdo referente à Segunda Lei e a história de Verne, verificado pelo relato da professora pesquisadora, registrado no diário de bordo. As falas de A8 e A12 também demonstram que a atividade experimental serviu para o estabelecimento da interação entre o que se estava estudando e os conhecimentos prévios dos estudantes, como evidenciam os trechos transcritos na sequência do trecho do diário de bordo.

Iniciei o encontro retomando a leitura de parte do texto da história de Verne: A volta ao mundo em 80 dias. Os estudantes levantaram algumas hipóteses sobre o que seria andar a todo vapor. Alguns estabeleceram ligações com o barco construído por eles e discutiram se, se colocassem uma caldeira maior e uma vela maior, o barco andaria mais rápido. E assim fui mediando as discussões, perguntando-lhes se sabiam o que eram ciclos termodinâmicos ou transformações termodinâmicas, e, novamente, relacionaram com o experimento. Um estudante também identificou o funcionamento do motor do carro como sendo em ciclos e que isso permite o movimento das rodas. Mostrei no slide a imagem de ciclos termodinâmicos em sentido horário e anti-horário. Sobre isso, uma estudante disse que o funcionamento do motor do carro e do barco a vapor, então, seriam ciclos no sentido horário, e que o funcionamento do motor da geladeira e do ar-condicionado seriam anti-horário. Comentei sobre os ciclos e, após, defini a Segunda Lei da Termodinâmica. No decorrer do encontro, entreguei alguns questionários para que, em duplas, resolvessem e entregassem como forma de identificar indícios de aprendizagem (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 04/10/2018).

A construção do barquinho na atividade experimental ajudou muito. Consegui compreender o jeito que funcionam os ciclos termodinâmicos e relacionar com o funcionamento do motor do carro da minha família, pois o seu funcionamento é o mesmo do barco, que transforma energia térmica em mecânica (A8). Com o experimento do barco eu tive mais noção de como funciona o motor da minha moto de trilha, por exemplo, que transforma energia em movimento, bem como os ciclos termodinâmicos e o movimento dos pistões (A12).

Para Ausubel (1980), a assimilação do conhecimento é um processo no qual se ampliam os conhecimentos de forma organizada e diferenciada e em que o estudante assimila a relação entre esses, já conhecidos, e os novos conceitos. Nesse sentido, outro registro da professora pesquisadora no diário de bordo demonstra novamente a relação estabelecida pelos estudantes com seus conhecimentos anteriores e, também, com a história escrita por Júlio Verne. Tal relação pode ser evidenciada no seguinte trecho:

No dia 11 de outubro, iniciei a aula retomando as Leis da Termodinâmica já estudadas, ressaltando a importância de compreendermos elas. Dei início, então, à terceira etapa, sobre máquinas térmicas, com alguns questionários para identificar o que os estudantes já sabiam sobre o tema e o que conseguiam relacionar com o experimento e conceitos estudados. Um estudante comentou que máquinas térmicas seriam aquelas que funcionavam com energia térmica e que ocorriam as transformações e os ciclos, e isso geraria trabalho mecânico. Outro citou serem os automóveis, motos, motosserra, o ônibus que nós viemos para a escola, pois eles transformam energia térmica em trabalho mecânico. Ainda, um estudante citou que no motor ocorrem os ciclos termodinâmicos para o seu funcionamento, como também observou, de forma simples, no funcionamento do barco feito em sala. Neste encontro, percebi que muitos estudantes relacionaram o conteúdo com o experimento e a história do livro de Verne, e isso acontece frequentemente nas aulas. Então, fomos discutindo os processos reversíveis e irreversíveis, as formas espontâneas e não espontâneas de trocas de energia entre sistemas. Passei, ainda, um vídeo do funcionamento de uma locomotiva a vapor e pedi a eles que prestassem atenção nos detalhes do seu funcionamento (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 11/10/2018).

Por fim, observa-se, nas falas dos estudantes A14 e A16, que eles compreenderam e relacionaram o conceito de máquinas térmicas com conhecimentos prévios e conteúdos estudados anteriormente em sala de aula:

A gente percebeu e conseguiu relacionar e perceber bem como funcionam o motor, o ar-condicionado e outros equipamentos presentes em nosso dia a dia, como a máquina a vapor, por exemplo. A gente não sabia como funcionava e, assim, conseguimos perceber e ver a evolução das máquinas térmicas até os motores de hoje em dia; antes, eu não sabia que o carro era considerado uma máquina térmica (A14).

Eu compreendi bastante o funcionamento das máquinas térmicas, como as locomotivas, os navios a vapor, a geladeira. Eu não percebia que o motor do carro era um exemplo de máquina térmica, funcionando em ciclos, e que precisava de todas aquelas peças para funcionar (A16).

Os resultados obtidos apontam que o material utilizado no desenvolvimento da sequência didática foi capaz de estabelecer a ligação entre os conceitos subsunçores presentes na estrutura cognitiva dos estudantes e os assuntos trabalhados no contexto da sala de aula. Tal fato favorece o desenvolvimento de aprendizagens significativas, pois, de acordo com Ausubel (1978, p. 56),

No processo de aprendizagem significativa é essencial a interação entre ideias, que podem ser expressas simbolicamente, de modo não-arbitrário e substantivo, isto é, não-literal, com aspectos específicos já presentes na estrutura cognitiva do indivíduo. Assim, o conhecimento que o aluno possui - conhecimentos prévios - é o fator isolado mais importante que influenciará na aprendizagem subsequente.

Nesse sentido, e considerando as ideias de Ausubel, de que os conhecimentos prévios são elementos centrais para estruturação e construção do conhecimento, com os quais a nova informação interage, pode-se concluir que o material desenvolvido para a sequência didática aqui apresentada possui características de um material potencialmente significativo, na medida em que é relacionável aos conceitos já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes.

5.1.2 Diferenciação progressiva e reconciliação integradora

Para Ausubel (1980), a aprendizagem de novos conhecimentos somente se torna significativa quando modifica e amplia os saberes já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. O autor salienta que, no processo de ensino, os conceitos devem ser apresentados de forma ampla, mais geral, para, após, chegar aos conceitos específicos. Do mesmo modo, os conhecimentos apresentados de maneira específica precisam estar interligados, destacando diferenças e semelhanças referentes ao tema em estudo (MOREIRA, 1999). Nesse sentido,

agrupam-se neste tópico fragmentos do diário de bordo e partes das entrevistas que demonstram que o material possibilitou a diferenciação e integração dos conceitos estudados no desenvolvimento da sequência didática apresentada nesta dissertação.

No que diz respeito à apresentação dos aspectos mais amplos do conhecimento para, posteriormente, desenvolver os conceitos específicos, destaca-se o seguinte registro feito pela professora pesquisadora no diário de bordo:

Na intenção de relacionar os conceitos estudados com os conceitos subsunçores dos estudantes de forma mais ampla, entreguei o texto “Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais?”. Após a leitura, pedi para que eles destacassem o que entendiam como conceitos termodinâmicos. A partir da leitura, os estudantes comentaram sobre as ideias gerais do tema, resultando numa discussão sobre os aspectos gerais do conteúdo. Com isso, foi possível perceber que os estudantes estabeleceram ligações entre conceitos e o envolvimento, demonstrando interesse pelas atividades propostas. Então, comecei a trabalhar os conceitos específicos de Termodinâmica, como trabalho, volume, pressão, trabalho de uma transformação gasosa, energia interna de um sistema, calor (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 09/08/2018).

A apresentação dos conceitos de forma mais geral também foi evidenciada pelos estudantes. Para eles, iniciar os estudos de modo mais abrangente auxiliou na compreensão dos conceitos fundamentais da Termodinâmica, como se pode observar, a seguir, na fala de A13:

Foi muito importante começar o conteúdo de forma mais abrangente. No texto “Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais?”, nós fomos destacando o que sabíamos sobre o tema. Já na história de Verne, percebi a evolução dos meios de transporte e a importância da Termodinâmica até os dias atuais. Depois a professora ia explicando os conceitos mais específicos e, assim, ficou mais fácil de compreender, pois nós víamos a aplicação dos conceitos na prática; estavam presentes no texto, na história e no nosso dia a dia, por exemplo, o transporte que viemos para a escola, o ar-condicionado da sala de aula (A13).

Corroboram essa ideia as ponderações feitas por A7, A8 e A11, que avaliam a metodologia positivamente e assim comentam:

Eu gostei do jeito que você apresentou o conteúdo, de uma forma mais ampla, e, depois, fomos para os conceitos específicos. É um método bom para a gente entender melhor. Você passou o conteúdo de várias maneiras e, com isso, tivemos uma noção sobre Termodinâmica (A7).

Compreendi melhor, pois, algumas vezes, a gente iniciava o conteúdo assistindo a um vídeo, como, por exemplo, uma parte do filme A volta ao mundo em 80 dias, lendo textos, e isso me ajudou a compreender melhor. Preciso ver as coisas para compreender, e quanto mais materiais, melhor. Assim, debatíamos e, depois, íamos para os conteúdos específicos de Termodinâmica (A8).

A gente ia vendo os vídeos e os textos que tinham o conteúdo mais geral e, após, trabalhávamos os conteúdos específicos. Assim, fomos conhecendo mais e entendendo melhor como funcionava cada equipamento, e a leitura do livro fez com que a gente entendesse a evolução dos meios de transportes (A 11).

Além da apresentação geral dos conteúdos, é de fundamental importância para a promoção da aprendizagem significativa que os estudantes consigam estabelecer a diferença entre os conceitos estudados. Isto é, promovam a diferenciação progressiva dos conteúdos que estão sendo estudados (MOREIRA, 2011). A compreensão de que o material utilizado na sequência didática possibilitou a diferenciação proposta pela TAS ganha destaque nos trechos do diário de bordo transcritos na continuidade:

Os estudantes, em grupos, fizeram uma pesquisa sobre as transformações termodinâmicas. Depois disso, passei o quadro com os tipos de transformações gasosas e levantei algumas reflexões e exemplos. Uma estudante citou que o desodorante seria uma transformada adiabática. Comentei sobre a Primeira Lei da Termodinâmica, retomei novamente os conceitos de energia e a Lei da Conservação de Energia e frisei para que eles estabelecessem ligações entre os conceitos. Com isso, pude perceber que os estudantes estão promovendo diferenciação entre conceitos e ampliando seus conhecimentos sobre o tema. Uma estudante falou que, se aumentar a energia interna, ocorre a realização de trabalho termodinâmico, como, por exemplo, movendo a locomotiva (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 06/09/2018).

Nessa mesma linha de pensamento, consta no diário de bordo:

Retomando as Leis da Termodinâmica através de um diálogo na turma, passei para eles questionamentos, a fim de que, em duplas, entregassem como forma de identificar a diferenciação entre conceitos. Percebi que, nas duplas, eles refletiam e chegavam na resolução das atividades, estabelecendo ligações. Algumas duplas apresentaram dúvidas, mas a maioria conseguiu resolver as questões com facilidade (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 27/09/2018).

Na análise dos materiais coletados nas entrevistas, identificou-se que os estudantes também perceberam a importância de diferenciar e atribuir novos significados aos subsunçores, dando novos significados a novos conhecimentos, com base em cada um dos tópicos estudados durante a implementação da sequência didática. Como se percebe nas falas transcritas, nesses momentos, os estudantes foram capazes de conceituar os principais conteúdos de Termodinâmica:

Na aula do dia 30/08/2018, eu compreendi que o calor é uma forma de energia que pode ser transferida entre sistemas (A17).

Eu compreendi que uma máquina térmica possui a fonte quente e a fonte fria, e a fonte fria seria o meio externo. Entendi que isso faz com que ela não tenha 100% de rendimento (A18).

Quando você começou a explicar o conteúdo, eu queria que você definisse o conceito de Termodinâmica, e você respondeu que, com o passar das aulas, nós iríamos entender e definir. E, realmente, quando escrevemos o texto final, eu consegui entender que se trata de troca de energia entre sistemas, e isso foi muito interessante; nunca tínhamos trabalhado assim (A2).

Após a diferenciação progressiva, a sequência didática foi capaz de promover situações de integração dos conceitos estudados. Sobre isso, A8 comenta:

Na locomotiva da história de Júlio Verne, tinha o calor fornecido pela fornalha, que aquecia a água da caldeira e a transformava em vapor, movimentando os pistões e se transformando em movimento. Ou seja, realizando trabalho. Tinha também uma energia que ficava armazenada e outra parte se perdia para o meio externo (A8).

No relato de A4, esses aspectos também são verificados:

Sabendo que o barco que confeccionamos no experimento funciona com água, pude comparar com a locomotiva do livro de Verne, pois ambos são movidos pelo processo termodinâmico, em que o calor aumenta a energia interna de um sistema, consequentemente realizando trabalho, e que não é possível ter um rendimento máximo, pois parte dessa energia se perde (A 4).

Nos registros contidos no diário de bordo, é possível encontrar, ainda, duas situações que demonstram a promoção da diferenciação progressiva, em que os estudantes foram eliminando as compreensões que apresentavam diferenças aparentes, resolvendo inconsistências e integrando significados. Dessa forma, estabeleceram a superordenação dos conceitos de Termodinâmica:

Os estudantes se envolviam nas atividades e, por isso, acredito terem conseguido integrar conceitos, uma vez que, na aula, um estudante disse: agora consigo entender os ciclos termodinâmicos, pois entendi como é dentro do motor do carro e o que é o sentido horário que você tinha falado (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 18/10/2018).

Quando expliquei sobre os processos irreversíveis e reversíveis, os alunos estabeleceram relações. Um estudante disse que reversível pode ser a água transformar-se em gelo; outro disse que irreversível seria a queima da vela no experimento, a lenha queimada na fornalha da locomotiva. Fui explicando sobre esses processos serem de forma espontânea ou não, e definindo a segunda lei. Um estudante disse que é importante compreender esse conteúdo para entender o funcionamento do carro, do ônibus que os traz para a escola, da máquina de cortar grama, do ar-condicionado, da geladeira. Após essas reflexões, pedi que, em grupos, construíssem um mapa conceitual como forma de integrar e promover a diferenciação progressiva dos conceitos (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 13/09/2018).

Segundo Moreira (2011), Ausubel considera que, num processo de ensino, os conceitos mais gerais devem ser apresentados no início da aula e, progressivamente, diferenciados em termos específicos. Conceitos mais amplos devem ser apresentados a partir de exemplos, situações problemas e atividades, explorando a relação entre tópicos, pois os conhecimentos prévios servem de base para atribuir significado aos novos conhecimentos, que também se modificam e adquirem novos significados. Na reconciliação integradora, cada

estudante, em sua estrutura cognitiva, estabelece ligações entre conceitos, reestruturando-os de forma hierárquica e significativa.

Conforme os resultados apresentados, observa-se que a sequência didática foi capaz de promover a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora preconizadas por Ausubel referentes aos temas estudados, pois, de acordo com a análise dos materiais, a sequência didática possibilitou, inicialmente, a discussão dos conteúdos mais gerais e abrangentes para, posteriormente, diferenciá-los progressivamente e, na sequência, reconciliá-los interativamente.

5.1.3 Materiais utilizados

Ausubel (apud MOREIRA, 1999) ressalta que, para a promoção da aprendizagem significativa, o material instrucional precisa ser relacionável com a estrutura cognitiva do estudante. Tendo por base tal concepção, esta subcategoria busca analisar se os materiais utilizados durante a aplicação da sequência didática proporcionaram o estabelecimento da ligação do que estava sendo estudado aos conceitos subsunçores dos estudantes participantes da proposta.

A apresentação de trechos do filme em que é narrada a história escrita por Júlio Verne levou a que os estudantes se mantivessem atentos ao desenvolvimento dos assuntos propostos. Tal concentração é evidenciada no fragmento do diário de bordo, em que a professora pesquisadora assim relata:

No início da aula, foi passada uma parte do filme *A volta ao mundo em 80 dias*, na qual o personagem Phileas Fogg, juntamente com seu mordomo, Passepartout, parte para pegar o trem e dar início à viagem, andando em um meio de transporte movido a vapor, onde era possível ver o movimento dos pistões. Na sequência, os personagens são interrompidos por um guarda, pois, na época, somente eram permitidos meios de transporte movidos por tração animal. Nesse momento, pedi aos alunos que prestassem bastante atenção e estabelecessem relações com os conceitos estudados até o momento. Percebi que todos se mostravam envolvidos e interessados na aula. Eles buscavam compreender, de forma significativa, os conceitos, pois, após assistirem, debateram e discutiram os temas abordados. Percebi, também, através das discussões, que os estudantes demonstravam a compreensão dos assuntos trabalhados (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 30/08/2018).

Além de focar sua atenção nos assuntos propostos, esse material permitiu aos estudantes estabelecer ligações entre os conteúdos e o contexto histórico e atual das máquinas térmicas, bem como as aplicações dos conceitos em situações vivenciais. Tais situações

podem ser observadas nas falas de A13, A16, A19, A2, extraídas das entrevistas semiestruturadas e transcritas na sequência:

A história se passou no contexto histórico da Revolução Industrial, e isso fez com que a gente percebesse a evolução dos motores até os dias atuais. No filme, por exemplo, teve uma máquina a vapor diferente, um veículo que foram evoluindo até chegarem nas máquinas, equipamentos e carros modernos que temos hoje (A13).
As partes do filme ajudaram porque a gente compreende mais vendo como funciona na cena; é diferente do que a professora só falar (A16).
A gente via os exemplos na cena, seu funcionamento, e isso ajudou para que eu compreendesse melhor os conceitos (A19).
Eu penso que me auxiliou, pois quanto mais coisas a gente vê, melhor compreende e adquire conhecimentos; sou uma pessoa muito visual (A2).

No decorrer da implementação da sequência didática, foram utilizados, também, animações e *gifs* que demonstravam o funcionamento de motores a vapor e motores de quatro tempos. Como se pode perceber no registro do diário de bordo, esses recursos auxiliaram no estabelecimento da ligação da teoria estudada com a prática. De acordo com os registros, eles contribuíram, igualmente, para manter a atenção dos estudantes no conteúdo desenvolvido. Como evidencia o registro do encontro do dia 18/10/2018, transcrito abaixo, a utilização de animações levou a que os estudantes buscassem saber mais sobre máquinas térmicas:

Hoje foi apresentada aos estudantes uma animação sobre o funcionamento do motor de uma locomotiva a vapor. Pedi que eles ficassem atentos aos detalhes e às partes que compõem a locomotiva e que relatassem o funcionamento dessas máquinas. Eles se mantiveram muito atenciosos durante a animação e, depois de assistirem, apresentaram questionamentos sobre as máquinas a vapor. Eles lembraram de passagens da história do livro e conseguimos, assim, estabelecer um diálogo sobre a Primeira e a Segunda Lei da Termodinâmica. O melhor de tudo é que pude perceber que eles conseguiram fazer a ligação entre os conceitos que estávamos estudando e as situações apresentadas na animação (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 18/10/2018).

A utilização de animações e *gifs* no decorrer da implementação da proposta também foi aprovada pelos estudantes participantes. Sobre isso, A 18, A 6, A 9 e A 8 registram:

Os vídeos me ajudaram a entender o processo de funcionamento de uma máquina térmica, como, por exemplo, o funcionamento do trem; o vapor que se expande e move os pistões, transformando calor em movimento. Tudo isso me ajudou a compreender melhor o que estudamos (A18).
Na verdade, os vídeos me ajudaram bastante, auxiliando na compreensão dos conteúdos estudados em sala de aula e na percepção de como eles estão no dia a dia, pois dá para ver melhor o funcionamento das coisas (A 6).
Com os vídeos, animações e *gifs* a explicação fica completa; não ficou só na teoria. Eu consegui ver e entender melhor o processo (A9).
Fica mais fácil de entender, por exemplo, a primeira máquina térmica que se tem registro. Se você só me falasse, eu não ia conseguir imaginar, e com os vídeos e *gifs* ficou mais fácil (A8).

Assim, percebe-se que a utilização das animações e dos *gifs* auxiliou no direcionamento da atenção dos estudantes para os conteúdos abordados na implementação da proposta, além de proporcionar situações para que assimilassem e compreendessem de forma mais clara e objetiva tais conceitos.

Para o desenvolvimento da sequência didática, foram elaborados textos que buscavam relacionar a história da obra *A volta ao mundo em 80 dias* aos conhecimentos termodinâmicos. A análise dos registros efetuados no diário de bordo aponta que esses textos contribuíram para o bom desenrolar dos encontros e para a compreensão dos conteúdos pelos estudantes. O registro do dia 11/10/18, transcrito a seguir, demonstra a utilização dos textos no decorrer da implementação da sequência didática:

Organizei os alunos em grupos e entreguei o texto “Da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade”. Os estudantes leram e, durante a leitura, foram grifando as partes que julgavam mais importantes. Depois comentamos juntos. Muitas falas demonstravam que eles estavam relacionando os assuntos de Física – Termodinâmica – com os aspectos históricos sobre a Revolução Industrial e a evolução das máquinas térmicas. Os comentários demonstraram que muitos estavam curiosos sobre o rendimento das máquinas. Assim, comentei sobre o rendimento de uma máquina térmica, o porquê não é 100% eficiente, e pude perceber que eles compreenderam que isso é limitante devido às leis da natureza e que o rendimento de uma locomotiva é ainda menor (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 11/10/2018).

Os estudantes reconhecem os textos como elementos necessários para registro dos conteúdos e, normalmente, anotam nos cadernos os conteúdos ministrados pelos professores. Porém, salientam que isso nem sempre ajuda, pois, muitas vezes, os tópicos não só estão distantes do que se vive como contêm um grande número de equações. Nessa perspectiva, afirmam que os textos utilizados foram

Importantes, porque não era o foco ficar anotando os conteúdos; os textos nos ajudavam a entendê-los e também serviam para termos os conteúdos. Eles tinham tudo o que estávamos estudando e apresentavam os conteúdos relacionados com a história do livro, nos fazendo entender perfeitamente os assuntos da parte teórica (A5).

Segundo A3, os textos serviram para relembrar os assuntos já conhecidos. Ou seja, de acordo com a sua fala, os textos estabeleceram a ligação entre os conceitos abordados na sequência didática e os conceitos subsunçores:

Lendo os textos que a professora distribuiu, isso me fez lembrar de algumas coisas que temos lá em casa, como, por exemplo, os motores. Com esses textos e com as explicações da professora, pude perceber que os assuntos de Termodinâmica estão muito presentes no nosso dia a dia (A3).

Por tudo isso, os textos elaborados revelam-se um material indispensável no processo de aprendizagem. De fato, conforme Ausubel, os materiais instrucionais devem fornecer noções básicas do conhecimento a ser aprendido e buscar estabelecer ligações entre conceitos subsunçores de um novo conhecimento não familiar ao estudante (MOREIRA, 1999).

Através da análise dos materiais coletados no diário de bordo e nas entrevistas semiestruturadas, conclui-se que os trechos do filme *A volta ao mundo em 80 dias*, as animações, os *gifs* e os textos foram importantes na motivação e no interesse dos estudantes no decorrer da implementação da proposta didática aplicada. Esses materiais, associados, foram capazes de estabelecer ligações entre os conhecimentos prévios dos estudantes e os novos conceitos. Assim, acredita-se que proporcionar aos estudantes uma proposta didática diversificada, com vários materiais, leva-os a compreender e assimilar os conceitos referentes ao tema em estudo de forma significativa.

5.1.4 Participação e comprometimento dos estudantes nas atividades propostas

A participação e o comprometimento nas atividades propostas são fundamentais para ocorrer a aprendizagem. Para Ausubel (1980 apud MOREIRA, 1999), uma das condições necessárias para a ocorrência da aprendizagem é que o sujeito queira aprender, motivar-se, envolver-se, participar e comprometer-se em sala de aula, debatendo, refletindo, trocando ideias nos grupos para, mais tarde, conseguir estabelecer ligações entre conceitos dentro de novos contextos e individualmente. Nesse sentido, esta subcategoria apresenta a análise dos dados que demonstram a participação e o comprometimento dos estudantes no decorrer da implementação da sequência didática.

O interesse e o comprometimento são retratados no registro do diário de bordo do encontro do dia 30/08/2018:

Neste dia, mais uma vez, percebi os estudantes envolvidos e interessados com as atividades em sala. Eles discutiram, questionaram, ficaram atentos às falas, aos debates e aos questionamentos. No momento da discussão sobre energia e os tipos de energia que conheciam, definiu-se, a partir das discussões, a energia interna de um sistema. Sobre esse aspecto, os alunos demonstraram entendimento do conteúdo, o que os motivou para a continuidade dos estudos (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 30/08/2018).

No dia 06/09/2018, os registros demonstram que os estudantes se comprometeram incansavelmente na construção do barco a vapor e na execução da atividade experimental, como se verifica no trecho transcrito a seguir:

Iniciei a atividade experimental dividindo a turma em pequenos grupos e distribuí os materiais para que iniciassem a construção do barco. Fui os orientando sobre a forma como fariam e percebi o envolvimento da turma na atividade. Os alunos foram participando e ajudando-se nos grupos. Levantamos hipóteses sobre o funcionamento do barco, pois alguns estudantes não acreditavam que ele iria andar e, sobre isso, questionavam qual seria o combustível que faria o barco andar. Percebi que, com um experimento simples, podemos fazer com que os estudantes se envolvam nas atividades propostas e estabeleçam relações entre conceitos (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 06/10/2018).

O comprometimento também é evidenciado nos registros do sétimo encontro, em que os estudantes se mostraram empenhados na execução da tarefa de, em duplas, resolver questões ao término da segunda etapa, a fim de transporem conceitos em diferentes contextos, conforme registrado no diário de bordo da professora pesquisadora:

Hoje os estudantes, em duplas, resolveram questionamentos para encerrar a segunda etapa da sequência didática. Percebi eles envolvidos, debatendo, refletindo e respeitando a opinião do outro para, juntos, chegarem à resolução. As questões tinham que ser justificadas e, assim, ficava clara a relação de conceitos estabelecida por eles (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 04/10/2018).

Outro exemplo do envolvimento dos estudantes nas atividades propostas e da importância do papel do professor em sala como mediador foi relatado no diário de bordo da professora pesquisadora, nos seguintes termos:

Sugeri que eles elaborassem questões para outro grupo responder, as quais poderiam ser através de perguntas, mapas, desenhos. Percebi que nesta atividade também houve envolvimento deles. Essa forma de trabalho exige dos estudantes concentração e participação nas atividades. Como são adolescentes, às vezes se dispersam, e o professor precisa estar mediando as atividades. Acredito que o papel do professor é muito importante, pois é ele que faz com que os estudantes estabeleçam relações entre o que já sabem e o novo conhecimento (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 18/10/2018).

O interesse e o envolvimento em participar das atividades propostas foram percebidos pelos estudantes. Durante as entrevistas, A18, A3 e A4 salientaram as seguintes percepções:

A forma como o conteúdo foi trabalhado ajudou a entender melhor, pois sempre tinha um desafio. Eu tinha dificuldade em realizar algumas atividades, mas como trabalhávamos em grupo, nós discutíamos e chegávamos às conclusões. Além disso, as aulas passavam muito rápido, pois sempre tínhamos coisas interessantes que faziam com que nem percebêssemos o tempo passar. Nós sempre fazíamos coisas diferentes (A18).

Eu me sentia bem realizando as atividades. Elas tinham relação com o meu dia a dia e isso me interessava a querer aprender mais (A3).

Quando a professora sugeriu fazermos o barco, pensei: será que vai andar? Mas quando concluí, eu percebi que era um jeito bem interessante de aprendermos, pois dava para relacionar com o barco do livro do Verne e com os vídeos e textos (A4).

Foi possível constatar, no entanto, que alguns alunos têm pouca motivação para participar das atividades solicitadas, possivelmente pelo fato de terem frequentado escolas com metodologias que os obrigavam reproduzir os conteúdos apresentados pelo professor em avaliações, geralmente, contendo problemas quantitativos e situações distantes do seu contexto vivido. De acordo com a fala de A12, fazer atividades diferentes daquelas que, corriqueiramente, são solicitadas foi um grande desafio:

No início, achei bem desafiador elaborar questões para os colegas responderem nos grupos, pois eu também ia receber questões dos outros, mas, depois de ver que esta forma diferente também ajuda no nosso aprender, foi tranquilo de resolver e fazer os desenhos, os mapas conceituais e as questões sobre Termodinâmica, bem como as partes do motor, o funcionamento da locomotiva a vapor, o motor de carro (A12).

Na mesma direção, A1 comenta:

Eu estava acostumado a resolver questões depois que a professora dava o conteúdo. Quando percebi, nem sempre tinha problemas. Parecia que a gente não estava fazendo nada. Eu achava que ficar fazendo desenhos, mapas e outras coisas não ajudava em nada. Só que, com o passar das aulas, me interessei mais e vi que ir fazendo um desenho, por exemplo, faz com que a gente busque saber como que funciona aquilo para desenhar. Assim, conseguimos adquirir novos conhecimentos. Eu consegui resolver junto com o meu grupo, pois nós tínhamos aprendido na aula e relacionamos com outras atividades (A1).

Mesmo com algumas dificuldades, os dados demonstram que os estudantes se comprometeram e participaram das atividades propostas, o que pode ter favorecido a aprendizagem almejada na sequência didática.

5.1.5 Estrutura e metodologia utilizada

Nesta subcategoria, busca-se avaliar a estrutura e a metodologia utilizadas nas aulas no decorrer da implementação da sequência didática. De acordo com Moreira (1999), Ausubel salienta que o material instrucional precisa ter significado lógico para ser relacionado com os subsunçores presentes na estrutura cognitiva dos aprendizes.

A estrutura da sequência didática pauta-se na Teoria da Aprendizagem Significativa, de Ausubel, a partir da leitura da obra de Verne, *A volta ao mundo em 80 dias*. Nesse sentido, no que diz respeito à estrutura dos encontros, percebeu-se que o número de encontros planejados para o desenvolvimento da proposta foi suficiente. Porém, em alguns encontros, como os estudantes se envolveram nas atividades, expondo suas ideias e reflexões, não houve

tempo para desenvolver todas as atividades planejadas. Já em outros, foi possível trabalhar mais atividades. Tal percepção é evidenciada nos registros do diário de bordo:

Hoje o tempo que programei para a atividade experimental não foi suficiente, pois os estudantes envolveram-se, levantando hipóteses e refletindo sobre os conceitos envolvidos. Queriam observar o funcionamento dos barcos. Pude perceber a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora dos conceitos. Então, pedi que concluíssem o relatório da atividade na próxima aula (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 06/09/2018).

Nessa aula, os estudantes resolveram as questões referentes ao término da segunda etapa e pedi para que entregassem as questões. Como sobrou um tempo do período de aula, iniciei a terceira etapa, apresentando, no slide, as indagações que poderiam identificar os conceitos subsunçores já existentes em sua estrutura cognitiva, através de diálogo e reflexão com toda a turma. Pedi que registrassem para, mais tarde, estabelecer relações entre conceitos. Combinei que retomáramos no próximo encontro. Percebi que o número de encontros vai ser suficiente. Às vezes, têm aulas que rendem mais e outras menos, devido aos debates e reflexões (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 04/10/2018).

Sobre a duração dos encontros, constatou-se que, em alguns, ela foi suficiente. Em outros, no entanto, as atividades precisaram ser retomadas. Em vista disso, é necessário prever um tempo maior quando as atividades forem práticas ou quando for abordado algum tema que necessite de maior aprofundamento, que envolva reflexões e que estabeleça ligações entre conhecimentos, como evidenciam os registros da professora pesquisadora em seu diário de bordo:

Deixei o quadro com as transformações gasosas para a próxima aula e pedi que lessem em casa para discutirmos no encontro seguinte e poder ganhar tempo (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 30/08/2018).

Hoje senti a necessidade de ter mais tempo para a palestra com o engenheiro Gabriel, pois os estudantes o questionavam conforme ia explicando e mostrando as principais peças do motor de quatro tempos. Mas, conforme o combinado, o tempo da palestra era de 50 minutos; assim, no tempo estimado, ele encerrou (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 25/10/2018).

No que se refere ao método utilizado no decorrer da proposta, todos os encontros iniciaram com a identificação dos conceitos subsunçores dos estudantes em relação ao tema. A partir disso, os trabalhos em grupo foram priorizados. Acredita-se que trabalhar dessa forma auxilia no desenvolvimento da aprendizagem significativa, além de desafiar o professor na organização das aulas. Nessa direção, percebeu-se, na análise dos dados, que algumas aulas foram marcadas por questionamentos e reflexões por parte dos estudantes nos grupos formados no desenvolvimento das tarefas. Tal afirmação pode ser verificada a partir dos seguintes registros do diário de bordo:

Buscando estabelecer relações entre os conceitos subsunçores identificados nas indagações anteriores, passei um vídeo como organizador prévio que mostra o funcionamento de uma locomotiva a vapor. A seguir, organizei os estudantes em grupos e entreguei uma folha impressa com questões para resolverem e organizarem suas ideias sobre o tema. Após, numa roda de conversa, todos os grupos apresentaram suas resoluções e conclusões a respeito do tema em estudo (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 27/09/2018).

Atividades experimentais promovem o processo de assimilação de conceitos e identificam indícios ou evidências de aprendizagem significativa (MAZARO, DARROZ, 2017). Assim, buscando facilitar o processo de assimilação almejado, organizou-se a atividade experimental. Essa atividade, conforme registros efetuados no diário de bordo, proporcionou momentos em que os estudantes estabeleceram hipóteses, testaram, experimentaram e observaram os conteúdos estudados na prática:

Neste encontro, retomei os conceitos subsunçores da aula anterior. Após, iniciei a proposta da atividade experimental, mostrando-lhes uma imagem de um barco a vapor e uma locomotiva a vapor, e apresentei os seguintes questionamentos: o que elas têm em comum? Qual a relação entre as imagens e o barco a ser construído? Quais as energias envolvidas no funcionamento do barco? A partir disso, os alunos levantaram algumas hipóteses. Um estudante questionou: esse barco vai andar? Como? Qual será o combustível? Outro ainda questionou: vai andar com água ou ar? Quanto ao envolvimento da turma com a atividade, pode-se dizer que foi muito bom, pois os alunos participaram, debateram e foram construindo, em cada grupo, o seu barco a vapor. Eles questionaram bastante durante a construção. Este encontro foi desenvolvido de forma agradável, tanto para mim quanto para eles. Quando o barco estava pronto e funcionando, eles observaram o seu funcionamento, e um estudante levantou mais uma hipótese: a água entra e sai pelos canudos? Uma estudante comentou que dava para ver as bolhas de ar saindo na água e o ar empurrando o barco para frente, fazendo barulho na latinha, e a água fervendo. Foi interessante observar e ver como eles ficaram envolvidos e começaram a estabelecer algumas relações com os conteúdos estudados (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 06/09/2018).

O material é potencialmente significativo se estiver relacionado com o contexto do aprendiz. Nesse sentido, a atividade prática desenvolvida possibilitou que os estudantes, com base na história escrita por Júlio Verne, estabelecessem relações entre os conceitos estudados e o cotidiano vivencial. O depoimento de A1 ilustra essa percepção:

Foi bem interessante o experimento, pois foi a prova de que existe mesmo o processo da Termodinâmica. A gente fez o experimento e pôde perceber que o calor influencia no movimento do barco. Através disso, a gente consegue entender melhor o conteúdo e estabelecer ligações com a história do livro (A1).

A6, por sua vez, assim ressalta:

O experimento do barquinho foi muito engraçado porque eu achei que ele não iria funcionar só com água e a vela, mas deu bem certinho. E, assim, percebi que houve transformação de calor em movimento, como acontece nos motores dos carros que usamos no dia a dia, no motor das motos [...] (A6).

A atividade experimental é de suma importância na construção do conhecimento em Ciências, pois estabelece ligações do conteúdo com algo prático, levando a que os estudantes levantem hipóteses e cheguem às conclusões. Nesse sentido, e avaliando os resultados evidenciados no desenvolvimento da proposta, observou-se que a dinâmica utilizada na sequência foi capaz de motivar e prender os estudantes, levando-os na direção da aprendizagem almejada.

Por fim, no decorrer das atividades, verificou-se que os estudantes perceberam diferenças com a metodologia utilizada durante a aplicação da sequência didática. Como já referido, a estrutura das aulas possibilitou que trabalhassem em grupos, fossem questionados e questionassem, construíssem mapas conceituais, textos, desenhos, realizassem experimento, observassem animações, vídeos, *gifs*, oportunizando estabelecer conexões entre conceitos termodinâmicos e as situações vivenciadas no dia a dia. Nesse sentido, as entrevistas indicam que houve a aprovação desse tipo de metodologia, especialmente, as falas de A1, A3, A7 e A8:

Eu percebi diferença na forma metodológica porque, agora, foi utilizado um jeito mais prático, com o experimento, gif, vídeos de como funciona de verdade um motor, por exemplo. Eu aprendi dessa forma, pois foi diferente das outras matérias (A1).

A forma de explicar o conteúdo foi interessante, porque não eram aplicadas só provas como forma de avaliar; cada aula tinha uma atividade para fazermos, um relatório, questionário, mapas, desenhos, textos, e tudo isso sobre o conteúdo que estava sendo explicado (A3).

Você utilizou um método bom, diferente; assim, eu consegui entender. Passou de várias formas o conteúdo, e, com isso, consegui ter uma noção de Termodinâmica e onde está presente no meu dia a dia (A7).

Normalmente a gente trabalha sozinho. Eu achei muito bom trabalhar em grupo; a gente se ajuda e discute, tendo mais opiniões. Nem todo mundo pensa igual; você percebe que não é só o seu pensamento que pode dar certo. Assim, dessa forma que você utilizou, com os vídeos e textos e, também, com a palestra, compreendi melhor, pois preciso ver as coisas para conseguir compreender; se for mais teoria, complica um pouco para mim. Bastante material para que eu possa ver e pegar, como o experimento, as peças do motor, isso ajuda muito (A8).

Com base nas falas dos estudantes e nos registros efetuados no diário de bordo, observou-se que a estrutura e a metodologia aplicadas em sala de aula motivaram os estudantes a querer aprender, refletir e conhecer mais sobre o assunto abordado. Isso leva à conclusão de que o uso de estratégias criativas, com metodologias que os façam pensar, refletir e expor seus conhecimentos prévios, é fundamental para que, a partir delas, o professor elabore um material que realmente tenha significado para o aprendiz.

5.1.6 Relação entre Literatura e o ensino de Termodinâmica

Para Klein (2015), formar um leitor é levá-lo a ampliar seus horizontes e possibilidades. A escola tem um papel fundamental nesse processo, pois precisa incentivar e elaborar estratégias, formando leitores críticos, reflexivos e atuantes na sociedade onde estão inseridos. Nesse sentido, esta subcategoria visa apresentar a avaliação da integração da Literatura com o ensino de Termodinâmica, por meio da obra *A volta ao mundo em 80 dias*, de Júlio Verne.

A Literatura pode estabelecer pontes cognitivas com o ensino de Física. Isto é, o conteúdo a ser aprendido tem que estar relacionado aos subsunçores que o estudante já possui em sua estrutura cognitiva, estabelecendo ligações com o novo conhecimento (MOREIRA, 1999). No decorrer dos encontros, a história escrita por Júlio Verne possibilitou que os conteúdos ministrados se relacionassem com o contexto histórico e atual. Tal situação está descrita no diário de bordo:

No primeiro encontro, iniciei a apresentação da proposta de como iria trabalhar e comentei sobre a história do livro de Júlio Verne, *A volta ao mundo em 80 dias*. Os alunos já tinham lido a obra na aula de Literatura e feito um resumo, destacando o que consideravam conceitos físicos presentes na história. Ressaltei que, em todas as aulas, iríamos ter algo relacionado com a história. Pude perceber que, de fato, leram a obra de Verne, pois em seus comentários e reflexões relatavam partes do livro e relacionavam com a evolução dos meios de transporte, com a Revolução Industrial, e que esses avanços proporcionaram ao homem facilidades no seu dia a dia, como os tratores, os automóveis, os ônibus. Então, iniciei as atividades programadas para este encontro (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 09/08/2018).

Em outras partes do diário de bordo, a professora pesquisadora reflete sobre a relação da Literatura com o processo de ensino que estava sendo desenvolvido:

Projetei a imagem da capa do livro de Júlio Verne, *A volta ao mundo em 80 dias*, e pedi que observassem que relações teria com o conteúdo estudado até o momento. Refletimos sobre a imagem, e, após, orientei que eles respondessem algumas indagações referentes à capa do livro e ao conteúdo. Depois de um tempo, pedi que socializassem as indagações com toda a turma. Alguns estudantes também estabeleceram relações com o funcionamento do barco a vapor, do experimento com os processos termodinâmicos. Tive a oportunidade, neste encontro, de avaliar a inter-relação da história de Verne com o ensino de Termodinâmica, à medida que os estudantes estabeleciam essas relações com partes da história, principalmente com o funcionamento da locomotiva a vapor. Percebo que trabalhar dessa forma é algo positivo, pois incentiva a formação de leitores e estabelece ligações entre as áreas do conhecimento, motivando-os a aprender através de um novo viés, unindo o ensino de Física com a Literatura (DIÁRIO DE BORDO, registro do dia 27/09/2018).

Incentivar leitores é indispensável em qualquer área do conhecimento, pois é no ambiente escolar que, na maioria das vezes, os estudantes têm os primeiros contatos com a Literatura. Nesse sentido, a ficção científica pode ser um caminho para a aprendizagem de conteúdos físicos (PIASSI 2007), como, por exemplo, os de Termodinâmica. A aprovação da experiência de aliar a história com os assuntos estudados foi confirmada pelos estudantes, como evidencia o comentário de A2:

Antes, quando eu não estava estudando Termodinâmica, se eu fosse ler esse livro, ia ser, para mim, somente mais uma história; mas, com esse estudo, eu comecei a aplicar e relacionar partes do livro com o conteúdo, uma vez que, no livro de Verne, os personagens se valiam de vários meios de transporte que utilizam a Termodinâmica para o seu funcionamento (A2).

Na mesma linha, A8 e A11 comentam, respectivamente:

Eu gostei de relacionar a Literatura com o conteúdo de Termodinâmica; eu gosto muito de ler, adoro livros, e isso me ajudou, e lá na história falava dos meios de transporte que o Fog utilizou, os trens, os barcos (A8).

A gente leu o livro e, conforme você ia explicando o conteúdo, eu fui conseguindo relacionar e ir compreendendo mais como era, realmente, a história. E, a partir do experimento, a gente conseguiu observar como o barco a vapor funcionava (A11).

Em suas falas, os estudantes demonstram que trabalhar dessa maneira, utilizando Literatura e o ensino de Física, no caso, Termodinâmica, foi um desafio para eles. Porém, como a maior parte da turma gosta de ler, a aplicação da proposta foi favorecida. Um aspecto que corrobora isso é apresentado nas falas de A5, A8, A15:

Nós nunca tínhamos trabalhado desse jeito. Eu li o livro antes de você explicar o conteúdo, e lá falava das máquinas a vapor, o que me ajudou bastante. No livro não tinha a parte teórica do conteúdo de Termodinâmica, mas tinha a aplicação (A5).

Achei desafiador e, ao mesmo tempo, interessante trabalhar a Física a partir da leitura de um livro, pois, como gosto de ler, para mim, foi o início para começar a entender algo sobre Termodinâmica, e isso me ajudou a compreender (A8).

Ler o livro ajudou bastante porque ele começou abrindo os caminhos da mente da gente. A leitura nos deu uma base do que iríamos estudar, e foi mais ou menos isso. Ele falava bastante dos meios de transporte, máquinas a vapor, e achei bem interessante a gente ver e relacionar; isso ajudou muito, pois a gente não só escutava, mas também via onde era utilizado (A15).

Segundo Ausubel (1980), para que a aprendizagem seja significativa, ela precisa ligar os conceitos subsunçores que o estudante possui em sua estrutura cognitiva com o novo conhecimento, e os conceitos precisam ser apresentados em situações novas e em contextos diferentes para que se evidenciem os indícios da aprendizagem. Dessa forma, pode-se afirmar

que a união da Literatura e do ensino de Física levou a que os estudantes estabelecessem relações entre a história de Verne e o conteúdo de Termodinâmica, bem como a aplicação em situações reais. A obra, como citou um dos estudantes, abriu caminho para a aprendizagem de conceitos termodinâmicos.

Por fim, trabalhar dessa maneira possibilita não só que os alunos adquiram conhecimento de forma clara e objetiva como também busquem o aprendizado para além da sala de aula, relacionando os conteúdos com o seu dia a dia. Isso porque, em sala, eles puderam aproximar os conceitos teóricos das suas situações vivenciais, colaborando com a aprendizagem significativa.

5.2 Indícios de aprendizagem significativa

Segundo Moreira e Mansini (2001), na aprendizagem significativa, os novos conceitos se tornam significativos para o aprendiz de forma progressiva e diferenciada. Nessa perspectiva, a avaliação da aprendizagem visa evidenciar indícios de aprendizagem significativa, o que implica em assimilação e compreensão (MOREIRA; MANSINI, 2001). Porém, deve-se identificar essa compreensão não de forma mecânica, mas sim de forma a refletir e relacionar seus conhecimentos prévios, em situações vivenciais, onde esses conceitos se diferenciam significativamente. Quando o aprendiz conseguir ampliar o número de contextos em que os conteúdos aplicados podem ser ampliados, haverá indícios de aprendizagem significativa. Diante disso, este item apresenta a análise dos relatórios, textos, mapas conceituais, questionários e desenhos elaborados pelos estudantes no decorrer da implementação da proposta.

5.2.1 Análise dos textos produzidos na primeira etapa

Como apresentado anteriormente, a primeira etapa teve por objetivo analisar a relação entre as variáveis termodinâmicas calor, trabalho e energia interna de um sistema, em uma transformação gasosa, além de aplicá-las à Primeira Lei da Termodinâmica. Dessa forma, foram identificados os conceitos subsunçores dos estudantes sobre o tema através da construção de um pequeno texto.

A análise desses materiais demonstra que os estudantes possuíam conhecimentos prévios de Termodinâmica, como se percebe no fragmento de texto apresentado na Figura 8.

Figura 8 - Fragmento do texto inicial do primeiro encontro.

Termodinâmica

Como o próprio nome já diz, a termodinâmica trata-se da temperatura que gera um determinado movimento. Por mais que não estudamos, esse conceito físico está muito presente em nosso dia a dia.

Quando estamos voltando para casa da escola, independentemente do meio de transporte que estamos usando, tendo de motor, já é uma maneira de termodinâmica.

Se observarmos, percebermos a termodinâmica no processo de resfriamento ou aquecimento de um ar condicionado. Outra ferramenta que utilizamos bastante, e a mesma está presente, é a geladeira.

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Evidencia-se, no texto acima, que o estudante já havia ouvido falar em Termodinâmica e possuía conhecimentos prévios sobre o tema em sua estrutura cognitiva, tentando relacioná-los com o seu dia a dia. Conhecimentos iniciais também são evidenciados em outros textos escritos pelos estudantes, como se observa nos trechos apresentados na Figura 9.

Figura 9 - Trechos dos textos iniciais da primeira etapa.

Termodinâmica

Já ouvi falar em termodinâmica em vídeos sobre ciência e tecnologia no internet, mas não sei ao certo a definição até o momento. Se trata de calor gerado a partir do movimento de algo, é utilizada principalmente em motores, automóveis, geladeiras, ar-condicionado, etc.

Utilizo termo termodinâmica principalmente na aula dos motores dos carros e avião, mas nunca percebi porque não tinha o conhecimento da definição de termodinâmica. É importante estudar termodinâmica para cursos como engenharia, e também para o conhecimento.

Termodinâmica

Até o dia de hoje nunca tinha ouvido falar, não sei muito detalhadamente sobre o assunto, se trata de calor, temperatura e movimento. Em nosso dia a dia utilizamos muito a termodinâmica, nos motores dos automóveis, aparelhos domésticos entre outros. Utilizamos ela quando utilizamos o carro, quando ligamos o motor e no funcionamento dele, e no funcionamento dos aparelhos domésticos, geladeiras, ar condicionado, etc.

Termodinâmica

Quê falar em termodinâmica na escola, nas aulas de Física. O próprio nome já diz "termo= calor, energia", "dinâmica= movimento". A termodinâmica está presente no nosso dia a dia no uso do carro por exemplo, com a queima do combustível, aquece os pistões, fazendo com que as rodas se movimentem, ou até mesmo a geladeira, mas com o processo inverso (terei mais conhecimento desse processo ao longo das aulas). Outros exemplos do nosso dia a dia são o ar condicionado, Freezer, motos, Seta, colheitadeira, moto e outros mais.

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Esses dados demonstram que os estudantes possuíam diversos conceitos subsunçores sobre Termodinâmica em sua estrutura cognitiva. No entanto, esses conhecimentos eram imprecisos e apresentavam diversas fragilidades conceituais. Isto é, os estudantes compreendiam que a área estava relacionada com transformações de energia e identificavam onde essas transformações poderiam ocorrer, porém, não conseguiam explicar quais e como os conceitos físicos estavam envolvidos.

No final da etapa, buscando perceber se os conceitos estudados foram aplicados em outros contextos, solicitou-se que os estudantes construíssem um barco a vapor, realizassem uma atividade experimental e elaborassem um novo texto sobre as experiências vivenciadas durante a etapa. A análise desse material permitiu identificar que, no decorrer da implementação da sequência didática, ocorreu o fortalecimento da diferenciação progressiva e da reconciliação integradora dos conceitos, relacionando-os com a história de Verne e o dia a dia dos estudantes.

Nos relatos, em forma de textos (Figura 10), observa-se um maior domínio conceitual, pelos estudantes, sobre transferência de calor, energia interna e trabalho termodinâmico, bem como a busca que estabelecem para vincular os conceitos à história lida, demonstrando, assim, que foram capazes de promover a reconciliação integradora do que estava sendo estudado.

Figura 10 - Texto da atividade experimental

Sabendo que o barco que confeccionamos funciona com água, podemos compará-lo com a locomotiva, pois ambos são movidos pelo processo de vaporização. Também relaciona-se o barco com qualquer máquina a vapor, pois possuem calor Q que aumenta a energia interna, fazendo pressão formando assim o trabalho \rightarrow energia cinética. Pode observar também que quem realiza o trabalho foi o vapor, tendo como consequência o aquecimento da água que realizou o movimento.

Por fim, concluo que a termodinâmica está bastante presente em nosso cotidiano, seja na vida para a escola usando o transporte, no resfriamento de alimentos, ou no funcionamento de uma panela de pressão.

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Em outro texto (Figura 11), os estudantes descrevem corretamente os conceitos de calor, energia interna e trabalho, assim como o estabelecimento da relação entre transferência de energia e trabalho, que gera movimento. Esse fato demonstra que os estudantes conseguiram estabelecer a diferenciação progressiva dos conteúdos em estudo.

Figura 11 - Texto da atividade experimental

O barco funciona devido ao aumento de sua energia interna por aumento de pressão aumentando também. Quando a água do conduto ferve e se condensa o que fez com que as moléculas se movimentassem liberando o vapor.

A energia envolvida no processo é a energia térmica que se transformou em cinética. O barco movimentou-se graças ao vapor e ao fogo.

A termodinâmica está muito ligada ao nosso dia-a-dia, que por sua vez está repleto de fenômenos térmicos, onde estamos rodeados de dispositivos e exemplos da existência da termodinâmica. Tem o ven estudarmos como transformamos calor em potência, movimento e trabalho.

Relacionamos energia e trabalho porque não tem trabalho sem energia. O trabalho do barco por exemplo quem realizou foi o vapor e o fogo.

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Também se observa, no registro a seguir, que o estudante consegue descrever por completo o funcionamento do barco a vapor (Figura 12). A descrição aponta que os conceitos estudados ao longo da etapa foram compreendidos no decorrer da implementação da proposta, uma vez que os estudantes conseguiram transpor esses conhecimentos para a atividade prática realizada a partir do barco construído.

Figura 12 - Texto elaborado a partir da atividade experimental

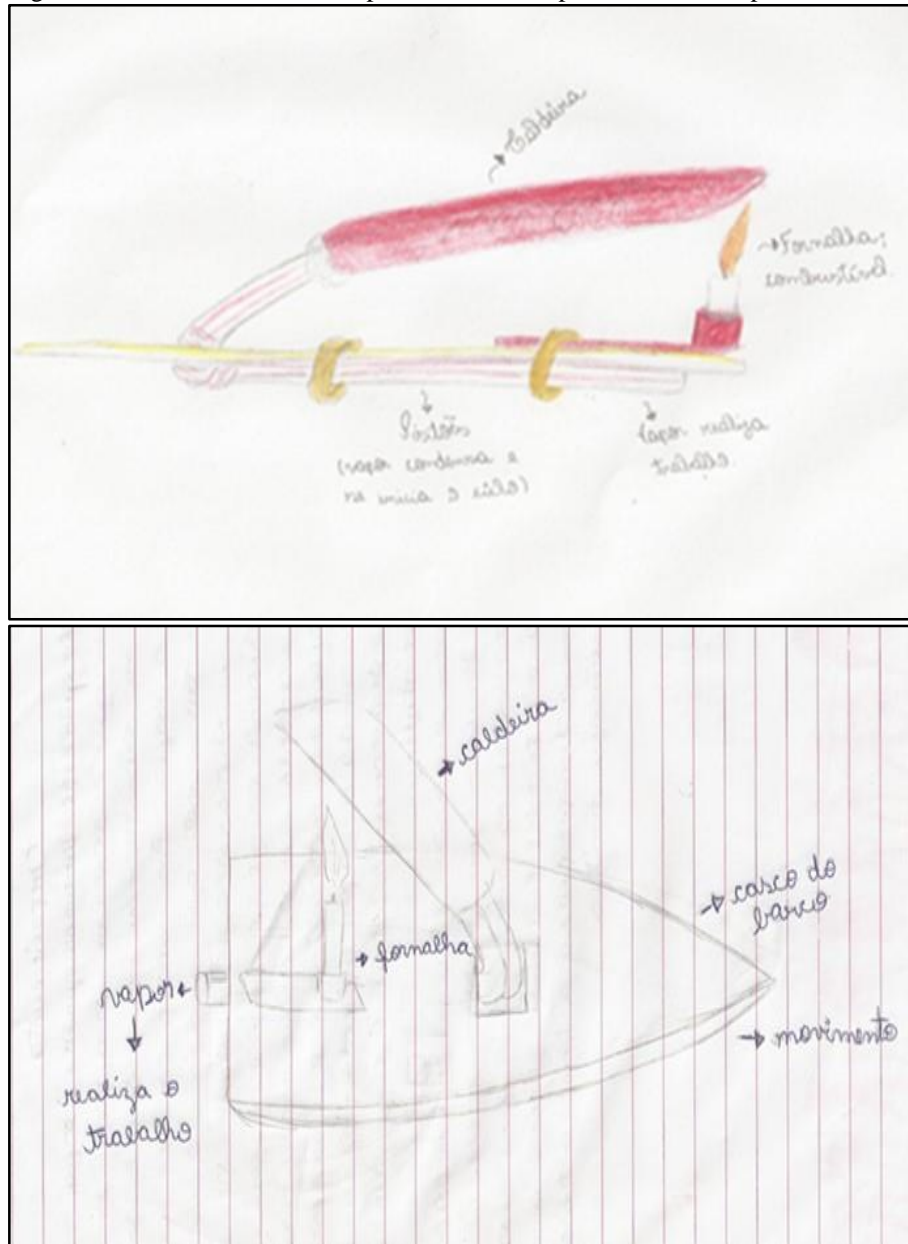
Experimento

Dentro da latinha tem um pouco de água, na hora que acendemos a vela, a mesma esquenta a água que está dentro da latinha que se transforma em vapor, o vapor ocupa mais espaço que a água líquida, e isso faz com que a água que esteja armazenada no canudinho seja empurrada pelo vapor, pra fora do barco, formando um salto, e esse salto empurra o barco pra frente mas na hora que o vapor se encontra com a água gelada, ele volta a se transformar em água líquida, fazendo menos pressão, e a pressão atmosférica empurra a água de volta na latinha e o processo ocorre novamente. A forma de energia envolvida como combustível é a energia interna. O barquinho funciona com água. O nosso experimento tem em comum com o barco a vapor e o trem a vapor, o processo de vaporização. A termodinâmica está sempre presente no nosso dia a dia, a panela de pressão por exemplo, faz um trabalho termodinâmico. Quem faz o trabalho é o vapor de água que faz o barco se mover, o experimento se relaciona com qualquer máquina a vapor, pois possuem calor que aumenta a energia interna fazendo pressão formando assim o trabalho = gerando movimento.

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Ainda, ressalta-se que, mesmo sem serem solicitados, alguns estudantes optaram por entregar desenhos sobre a atividade executada. Esses desenhos também demonstram a relação estabelecida entre os conceitos estudados, a atividade e os elementos contidos na história de Verne. Nos desenhos apresentados na Figura 13, os estudantes representam o barco construído e buscam destacar os elementos, bem como os processos termodinâmicos estudados ao longo da etapa. Além disso, eles identificam os nomes de alguns elementos das máquinas térmicas contidas na narrativa.

Figura 13 - Desenhos elaborados pelos estudantes após a atividade experimental



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Para Moreira (2001), indícios de aprendizagem significativa podem ser verificados quando a nova informação se ancora em subsunçores já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz; ou seja, a nova informação é incorporada de forma não arbitrária e não literal a essa estrutura. Nesse sentido, considerando que os conceitos subsunçores evidenciados no início da etapa continuam sendo apresentados no texto final, porém, de forma mais abrangente e conceitualmente correta, é possível concluir que as novas informações foram incorporadas e, assim, modificaram e ampliaram os conhecimentos prévios dos estudantes sobre Termodinâmica.

Ainda, a transposição dos conceitos estudados nesta etapa para a atividade experimental demonstra que os estudantes conseguiram compreender significativamente esses assuntos. Ausubel (apud MOREIRA, 2001) salienta que o estudante precisa ser capaz de ampliar e transpor os conceitos aprendidos em novos e diferentes contextos, revelando, assim, indícios de aprendizagem significativa. Ainda, afirma que o aluno precisa apoderar-se de significados claros e precisos, distintos e transferíveis a outros contextos, demonstrando domínio em atividades, testes, resoluções de problemas por meio de sequências, onde uma atividade depende de outra. Frente a isso, é pertinente afirmar que os resultados apontaram para a evidência de indícios de aprendizagem significativa na primeira etapa da sequência proposta.

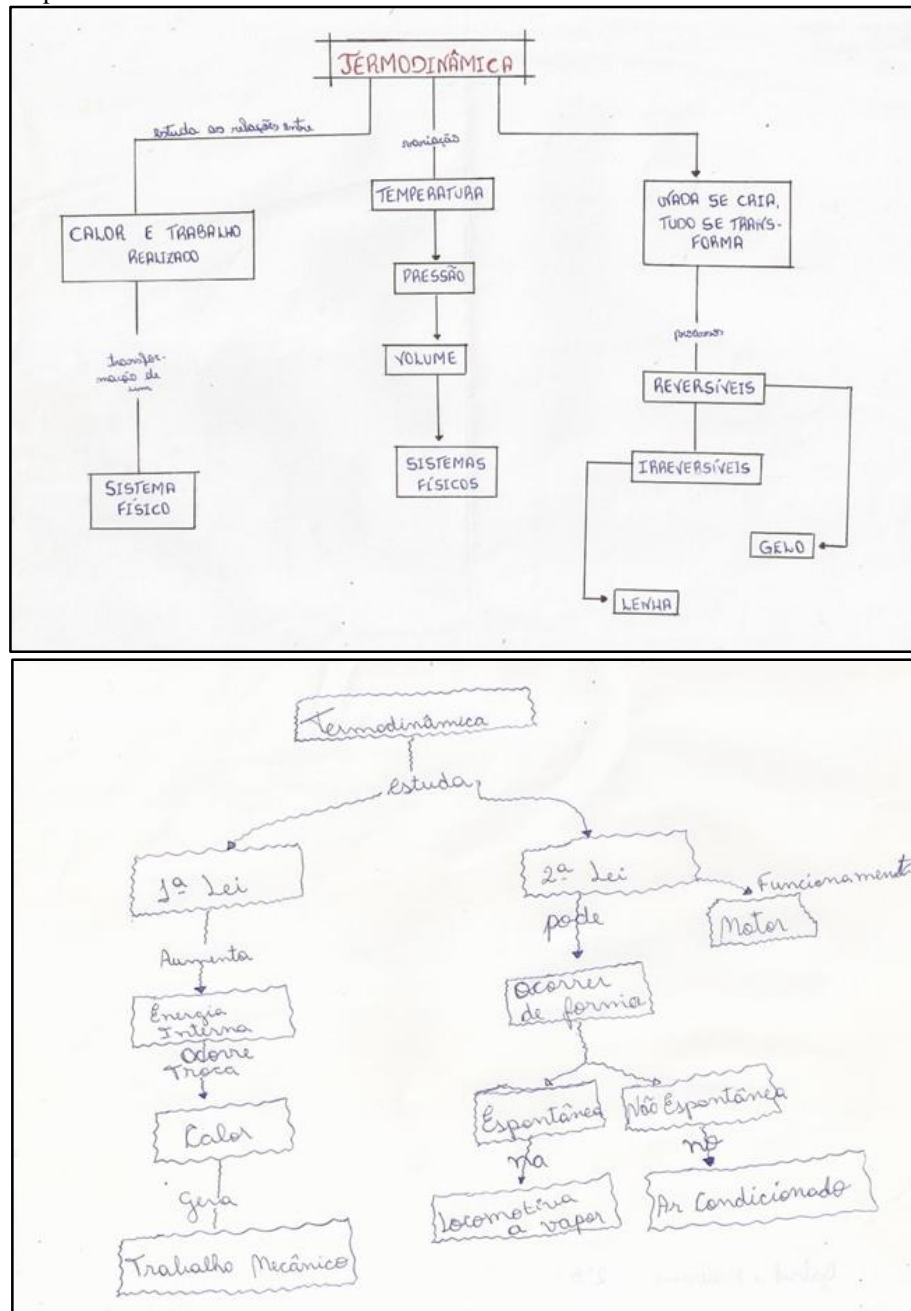
5.2.2 Análise dos mapas conceituais e das questões da segunda etapa

Como referido, a segunda etapa teve como objetivo compreender os conceitos da Segunda Lei da Termodinâmica, prever a limitação da conversibilidade de calor em trabalho útil, perceber sua aplicação, interpretar e relacionar esses conteúdos com conceitos termodinâmicos. Essa etapa foi introduzida com a identificação dos conceitos subsunçores dos estudantes através de um diálogo. Após, em pequenos grupos, solicitou-se que construíssem um mapa conceitual com as principais ideias e relações entre a Primeira e a Segunda Lei da Termodinâmica.

Na concepção de Moreira (2012), os mapas conceituais podem ser empregados para identificar a disposição de significados dos conceitos de ensino, a organização sequencial através da diferenciação progressiva e reconciliação integradora e para utilizar os conhecimentos prévios como elo entre o que o estudante já sabe e o que ele precisa aprender. Também, servem para identificar ligações explícitas entre o conhecimento já existente e o adquirido com novos significados.

Ao analisar os mapas conceituais construídos no início da primeira etapa, identificou-se que os estudantes possuíam conhecimentos relacionados à Primeira Lei da Termodinâmica. No entanto, apresentavam poucos conhecimentos iniciais acerca da Segunda Lei abordada. Percebeu-se, com isso, que o número de conceitos era limitado e que havia poucas ligações entre os tópicos, conforme mostram os mapas conceituais contidos na Figura 14.

Figura 14 - Mapas conceituais construídos pelos estudantes no início da segunda etapa



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

No final da segunda etapa, visando favorecer a aplicação dos conceitos estudados em contextos diferentes dos abordados no seu decorrer, além de estabelecer relações entre os conteúdos trabalhados, solicitou-se aos alunos que, em duplas, resolvessem um questionário com questões que exigiam a transposição desses conhecimentos.

A primeira dessas questões (*Questão 1 - Qual o princípio básico de funcionamento da locomotiva a vapor presente na figura abaixo?*) apresentava a figura de uma locomotiva a vapor em movimento e indagava qual seria o princípio básico para o funcionamento da

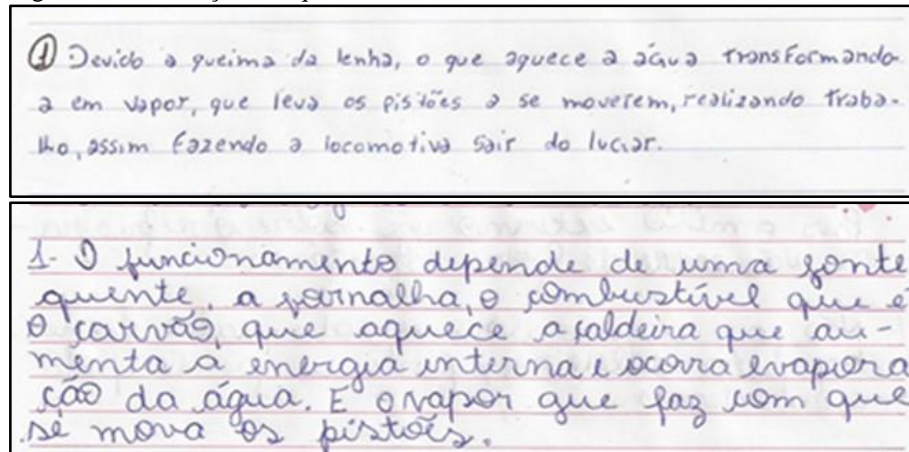
máquina térmica. Todos os estudantes relataram que a energia cinética que a locomotiva contém é proveniente da expansão do gás, resultante da ebulição da água (Figura 15). Como se percebe nas respostas contidas na Figura 16, os estudantes ainda compreenderam que, nesse processo, ocorre trabalho termodinâmico, gerando movimento e, por consequência, movendo a locomotiva. Nessas respostas, eles citam, ainda, as partes que compõem o motor a vapor e suas funções, conforme se observado a seguir:

Figura 15 - Transpor conceitos em diferentes contextos, através de questionários



Fonte: Disponível em: <<https://goo.gl/tDS1kS>>.

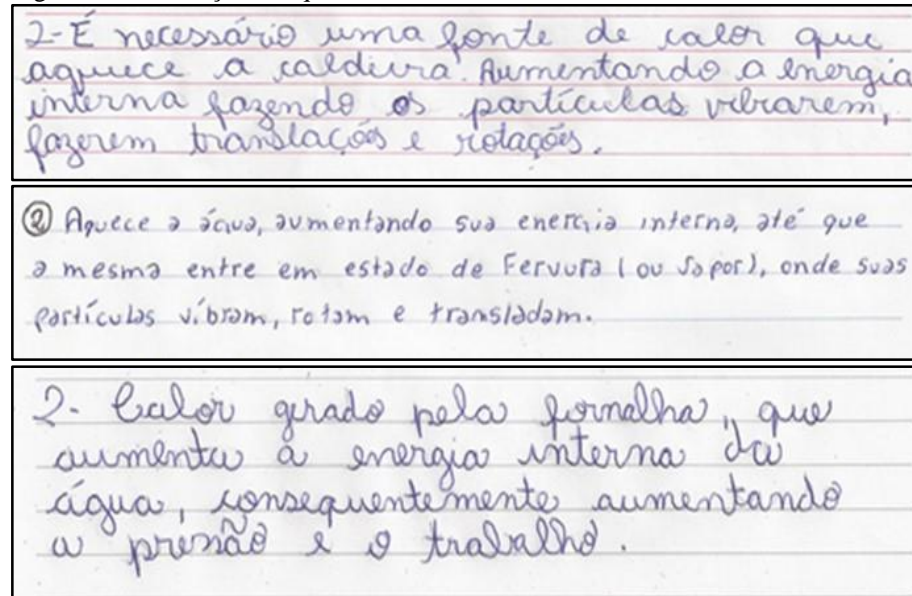
Figura 16 - Resolução das questões



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Na continuidade, no que se refere à questão dois, os estudantes deveriam explicar qual seria a condição necessária para converter água em vapor. Em suas respostas, evidenciou-se que eles compreenderam que, se fornecermos calor à água, aumentará sua energia interna e ocorrerá vibração, rotação e translação de suas partículas. Pode-se perceber isso nas respostas contidas na Figura 17:

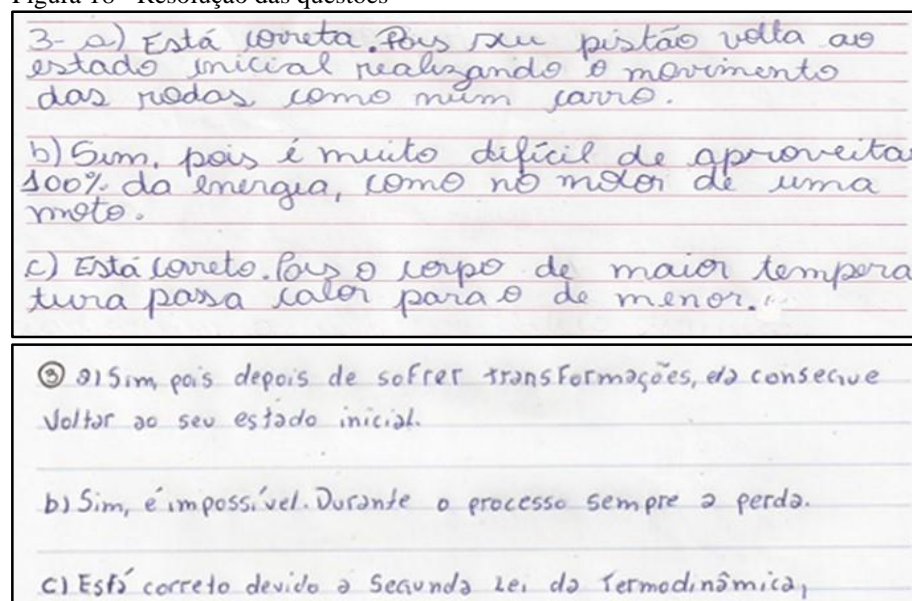
Figura 17 - Resolução das questões

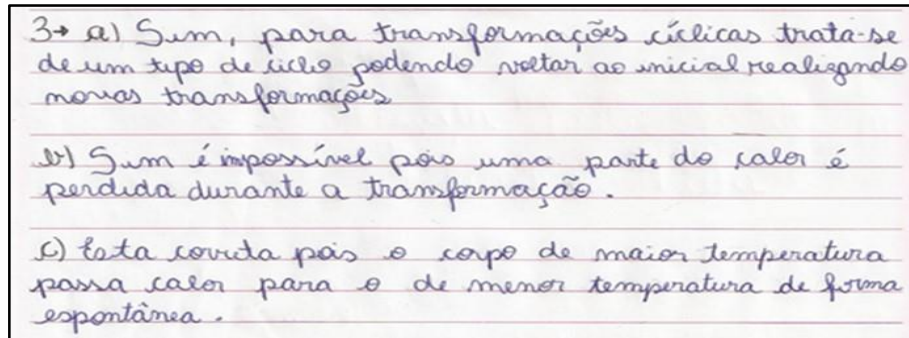


Fonte: dados da pesquisa, 2018.

A questão 3 apresentava proposições referentes à Segunda Lei da Termodinâmica, e, nesta, os estudantes deveriam ler e comentar cada alternativa, contemplando o que compreenderam sobre o tema em estudo. Observando as respostas contidas na Figura 18, os estudantes relataram que uma máquina térmica realiza transformações cíclicas e que, após sofrê-las, retorna ao seu estado inicial, sendo impossível construir uma máquina que transforme integralmente calor em trabalho. Demonstraram ter clareza quanto ao conceito de calor. Com isso, ficam claros os indícios de aprendizagem significativa em suas respostas.

Figura 18 - Resolução das questões

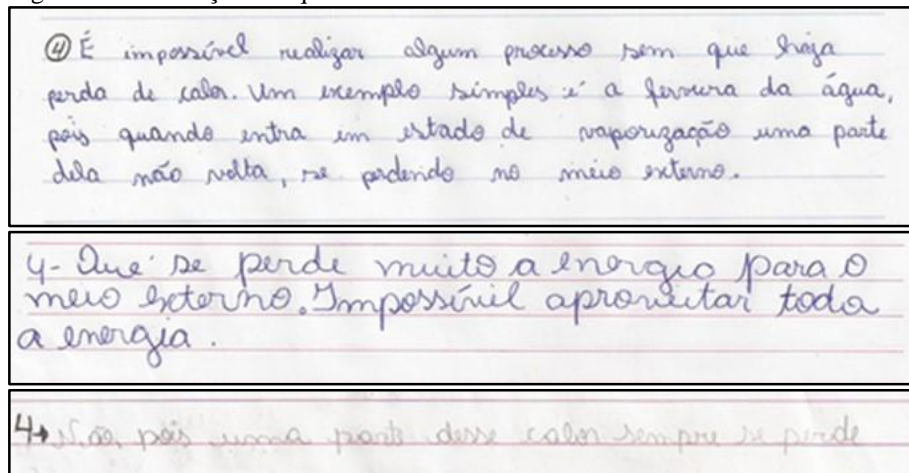




Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Referindo-se à Segunda Lei da Termodinâmica e seus enunciados, a questão 4 exigia que os estudantes estabelecessem relações entre conceitos e demonstrassem a compreensão do assunto através de suas explicações. Em suas respostas, eles demonstraram ter entendido o enunciado. Exemplo disso são os momentos em que citam que uma parte da energia se perde para o meio externo, e, por isso, torna-se impossível construir uma máquina térmica com 100% de eficiência, como se percebe na Figura 19.

Figura 19 - Resolução das questões



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Ainda em relação à Segunda Lei, a questão 5 refere-se ao funcionamento de um refrigerador (Figura 20). No enunciado de Clausius, “O calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente”. Nessa questão (*Questão 5 - A Segunda Lei tem, em um de seus enunciados, proposto por Clausius, o seguinte: “O calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente”. No funcionamento de um refrigerador, observa-se a transferência de calor. Explique por que o funcionamento do refrigerador não contraria esse enunciado*), os estudantes deveriam explicar por que o funcionamento do refrigerador não contraria esse enunciado.

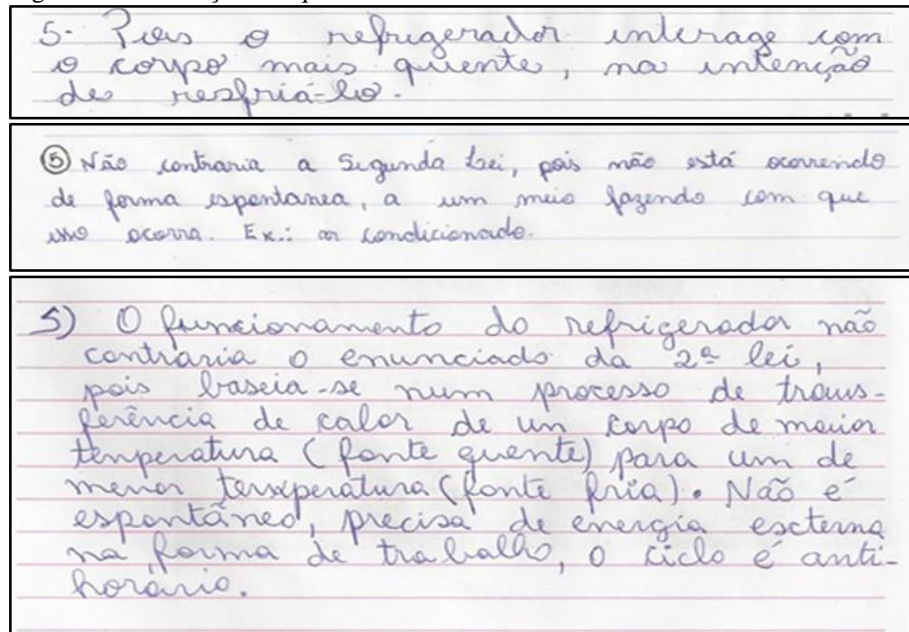
Figura 20 - Transpor conceitos em diferentes contextos, através de questionário



Fonte: Disponível em: <<https://goo.gl/4JTBKi>>.

Observa-se que os estudantes parecem ter assimilado o enunciado de Clausius, por terem ficado evidentes, em suas respostas, os conceitos referentes à Segunda Lei, ao calor, ao trabalho e aos ciclos termodinâmicos. Diante disso, conclui-se, nessa questão, o reforço das ligações estabelecidas entre os conhecimentos prévios que os estudantes já traziam em sua estrutura cognitiva e os novos. A Figura 21 demonstra tal percepção:

Figura 21 - Resolução das questões

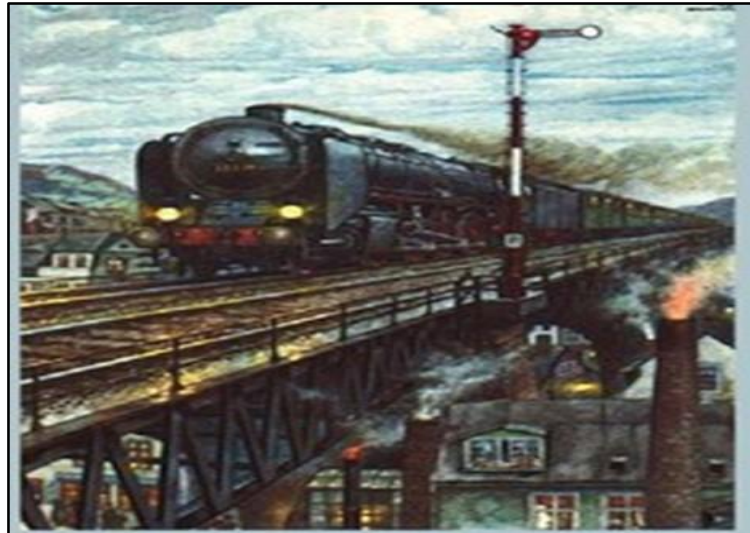


Fonte: dados da pesquisa, 2018.

A questão 6 (*Questão 6 - Uma locomotiva a vapor, citada no texto e visualizada na figura abaixo, transforma integralmente calor em trabalho?*) finaliza a segunda etapa com a imagem de uma locomotiva a vapor (Figura 22), citada na história de Júlio Verne. A questão

apresentava o funcionamento do motor da locomotiva e questionava se ele transformaria integralmente o calor fornecido em trabalho.

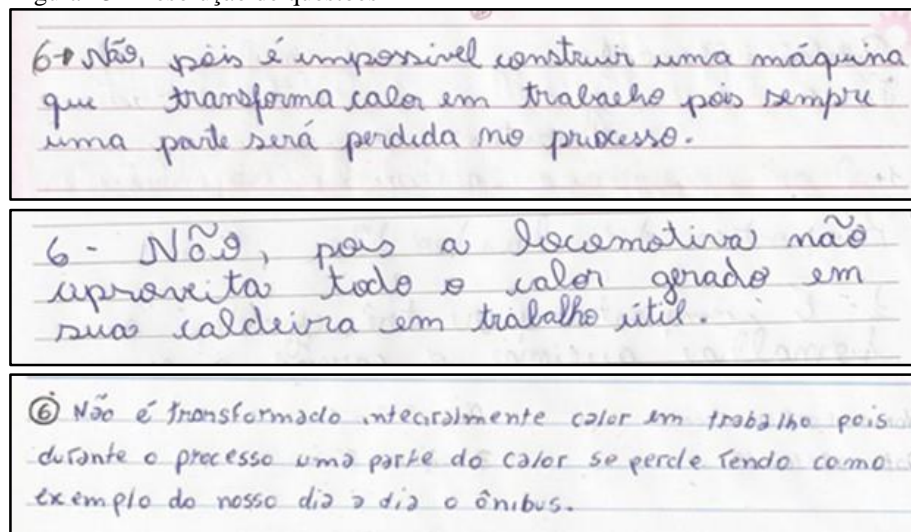
Figura 22 - Transpor conceitos em diferentes contextos, através de questionário



Fonte: Disponível em: <<https://goo.gl/tmXE8C>>.

Os estudantes evidenciaram, em suas respostas (Figura 23), compreender, de forma significativa, o funcionamento da máquina térmica; que ela opera em ciclos e que não transforma todo o calor produzido em trabalho mecânico, pois uma parte sempre se perde para o meio externo. Também são verificadas, nas respostas, ligações entre conceitos e partes da obra de Verne.

Figura 23 - Resolução de questões



Fonte: dados da pesquisa, 2018.

De acordo com a análise das respostas, é possível constatar que os estudantes foram capazes de transpor conhecimentos em diferentes contextos, elementos que, segundo Moreira (2012), caracterizaram-se pela interação entre os conceitos estudados e os subsunçores. Dessa forma, os resultados indicam que as atividades desenvolvidas na segunda etapa proporcionaram uma melhor interação entre os conhecimentos prévios dos estudantes e os novos, ampliando a estrutura cognitiva desses sujeitos.

Por todo o exposto neste item, conclui-se que os estudantes apresentaram indícios de aprendizagem significativa sobre os conceitos que envolvem a Segunda Lei da Termodinâmica, na medida em que estes adquiriram novos significados ou maior firmeza cognitiva pelos estudantes, ao participarem da etapa.

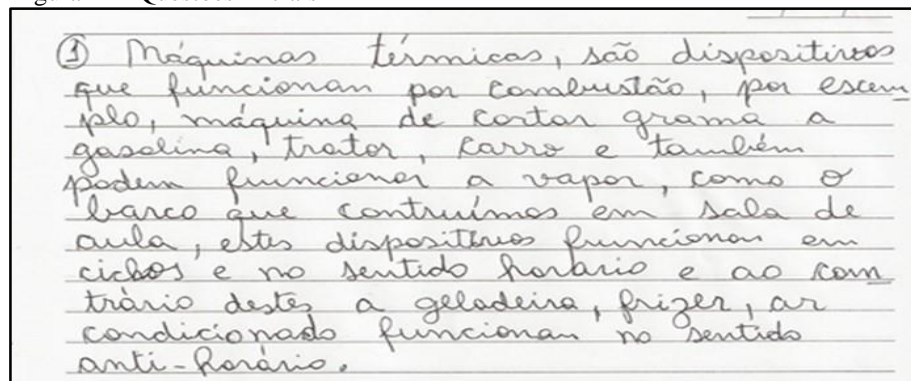
5.2.3 Análise de questões da terceira etapa e do texto final

A terceira e última etapa da sequência visou relacionar a Segunda Lei da Termodinâmica e o funcionamento das máquinas térmicas a vapor, bem como sua aplicação no dia a dia dos estudantes, estabelecendo ligações entre as etapas anteriores, analisando o ciclo de Carnot e os motores de combustão interna, presentes nos meios de transporte atuais.

A identificação dos conceitos subsunçores referentes a essa etapa foi realizada através de uma aula reflexiva e dialogada, durante a qual os estudantes precisaram responder a algumas questões sobre máquinas térmicas. As respostas foram anotadas e constituíram os dados desta parte da atividade.

Conforme os trechos das respostas (Figura 24), os estudantes foram capazes de estabelecer algumas relações entre as ideias âncora e os conceitos, de forma clara e precisa, reconciliando e integrando os conteúdos e respeitando a hierarquia conceitual.

Figura 24 - Questões iniciais



1) Máquina Térmica funciona com energia térmica, através das transformações cíclicas que gera trabalho mecânico, por exemplo, moto, carros, ônibus.

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

As respostas dadas ao questionamento inicial (Figura 25) também demonstram o domínio de alguns conceitos estudados referentes ao motor de combustão interna.

Figura 25 - Questões iniciais

2) Agora sim, sei que o carro é uma máquina térmica, pois transforma calor em trabalho mecânico e que no motor ocorre o ciclo termodinâmico.

② Antes de estudar Termodinâmica, eu não sabia que o carro era uma máquina térmica, não entendia seu funcionamento.

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Ainda, no que diz respeito às indagações iniciais, sobre máquinas térmicas operarem com 100% de eficiência, alguns estudantes responderam ser possível haver uma máquina com essa eficiência, em razão dos avanços tecnológicos; outros, porém, limitaram-se a comentar que o assunto já havia sido estudado. Essas respostas (Figura 26) indicam a existência de conceitos subsunçores na estrutura cognitiva dos estudantes, que podem servir de âncora para os estudos propostos na etapa.

Figura 26 - Questões iniciais

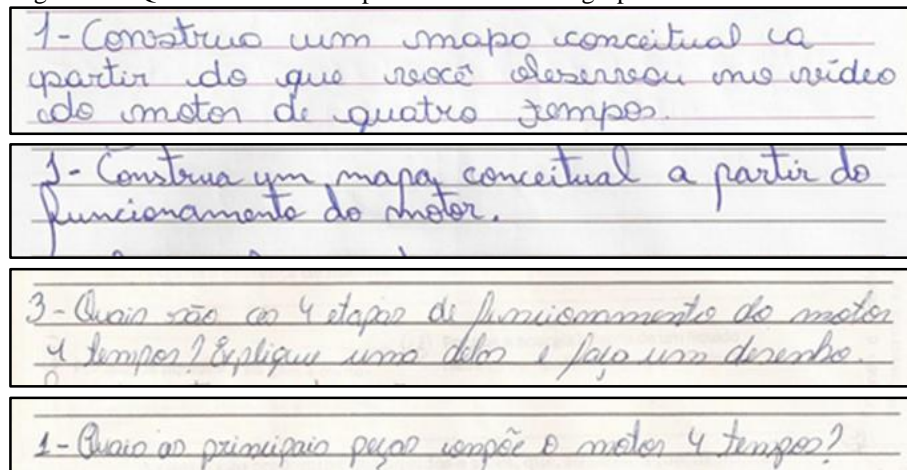
3) Acredito que sim, pois com tantos avanços tecnológicos, seria possível conseguir isso.

③ Não seria possível, pois parte do calor se perde para o meio externo (ar atmosférico) como já vimos anteriormente.. mesmo com tanta tecnologia.

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Conhecendo as ideias âncora dos estudantes sobre máquinas térmicas, no decorrer desta etapa, solicitou-se que, em pequenos grupos, eles elaborassem questões sobre o funcionamento do motor de quatro tempos e repassassem para outros grupos responderem. De acordo com a Figura 27, as questões elaboradas abordaram uma grande gama de conceitos, evidenciando o funcionamento do motor de quatro tempos e as principais partes que o compõem e que foram estudadas até o momento.

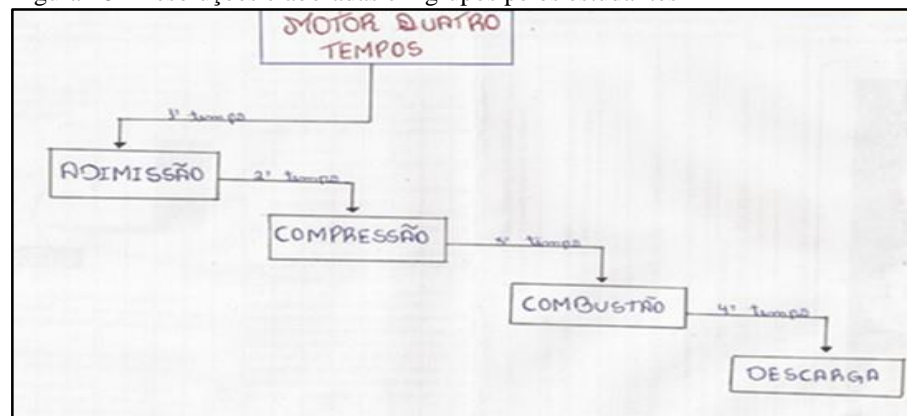
Figura 27 - Questões elaboradas pelos estudantes em grupos

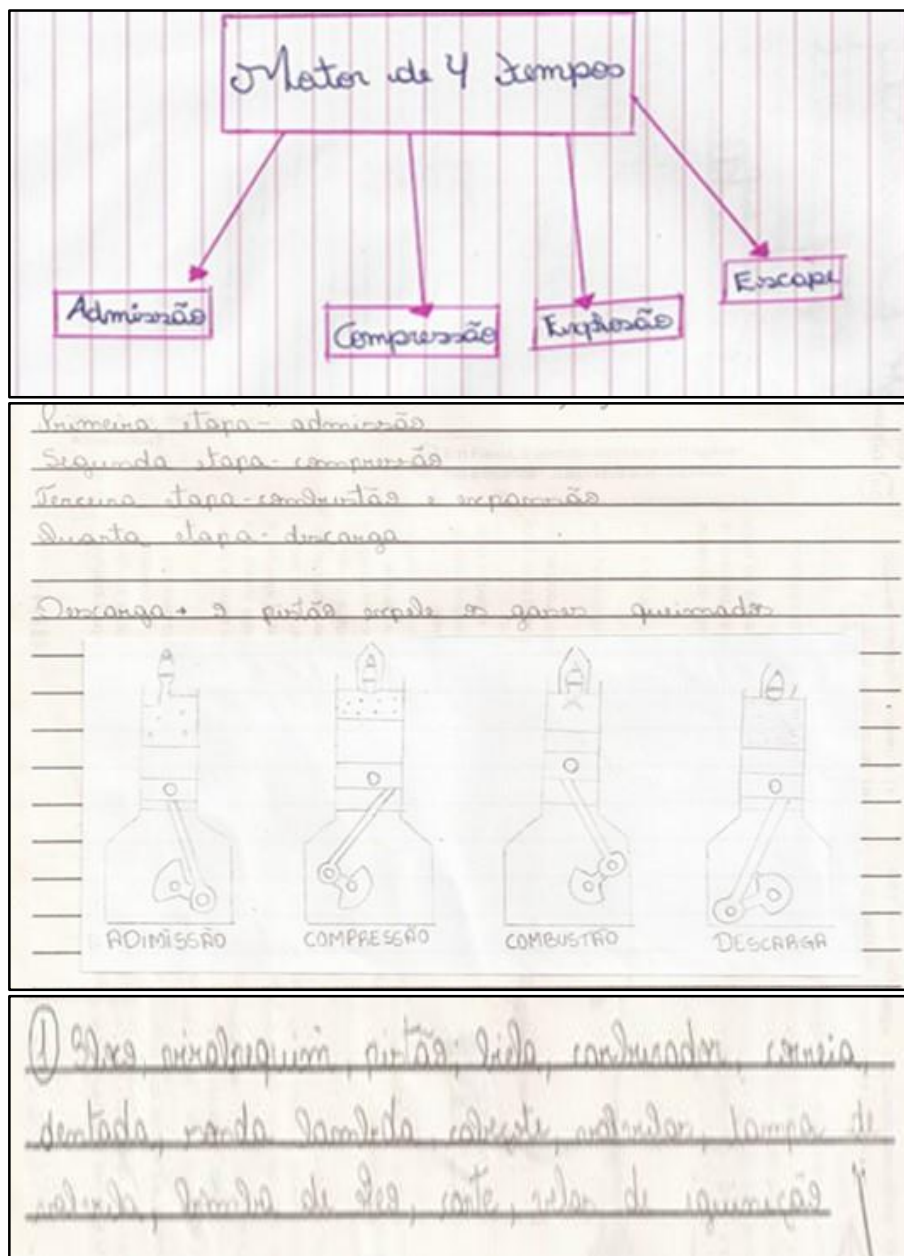


Fonte: Dados da pesquisa, 2018.

Analisando as respostas dos estudantes, observa-se que eles estabeleceram ligações entre os conceitos estudados e os que já possuíam em sua estrutura cognitiva, pois os diferenciaram de forma progressiva e os reconciliaram, ampliando, assim, seus conhecimentos em relação ao tema. É possível identificar, ainda, indícios de aprendizagem nos mapas conceituais sobre o funcionamento do motor, nos desenhos e nas citações acerca das principais peças e de seu funcionamento (Figura 28).

Figura 28 - Resoluções elaboradas em grupos pelos estudantes





Fonte: dados da pesquisa 2018.

No final da terceira etapa da sequência didática, na tentativa de extrair indícios da aprendizagem significativa sobre Termodinâmica, solicitou-se aos estudantes que elaborassem um texto contemplando os conceitos estudados. Para Ausubel (1980), há evidências de aprendizagem significativa quando o estudante consegue dissertar com suas próprias palavras sobre os assuntos abordados dentro do contexto escolar. Nesse sentido, elaborar um texto relacionando os conceitos estudados na sequência didática com a obra de Júlio Verne e os avanços tecnológicos dos meios de transporte e das máquinas térmicas ao longo do tempo e do desenvolvimento da sociedade contemporânea mostrou-se como um modo diferenciado de investigar esses indícios.

Com essa concepção, os resultados apontaram evidências da aprendizagem almejada na proposta desenvolvida. No texto contido na Figura 29, os estudantes indicam ter compreendido os conceitos de calor, energia interna e trabalho, estabelecendo relações entre períodos históricos e os avanços dos meios de transporte, bem como definindo conceitos referentes às Leis da Termodinâmica e aplicações em seu dia a dia.

Figura 29 - Texto final elaborado pelo estudante

A termodinâmica estuda a transferência de energia, a relação entre calor, energia e trabalho. A fonte de calor é o fogo e este para que seja criado é necessário três elementos: o oxigênio, combustível e calor, o combustível fornece energia para a queima, o combustível que é a substância que reage quimicamente com o combustível e o calor é necessário para iniciar a reação. Essa ciência foi desenvolvida no período da Revolução Industrial, que buscaram uma forma de aperfeiçoar as máquinas a vapor e a locomotiva a vapor são exemplos de máquinas criadas naquele tempo. Hoje a termodinâmica está muito presente em nosso cotidiano em motores, ar condicionado, geladeira e forno. Dentro desta ciência existem:

- A primeira lei da termodinâmica que se relaciona com o princípio da conservação da energia.
- A segunda lei da termodinâmica fala sobre as transferências de calor sempre do corpo mais quente para o mais frio, de forma espontânea.

O Motor de 4 tempos é um exemplo bem específico de termodinâmica. Admissão, compressão, explosão e expulsão são os passos do motor.

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Em outro texto (Figura 30), os estudantes diferenciam os conceitos abordados, demonstrando compreensão sobre as Leis da Termodinâmica e a identificação desses conceitos no seu cotidiano, assim como na história escrita por Verne. Esse é um elemento que Aububel (1980) diz indicar a assimilação e a diferenciação dos conceitos estudados, uma vez que, para o autor, a aprendizagem significativa constitui-se na aquisição de significados e no estabelecimento de ligações conceituais significativas.

Figura 30 - Texto final elaborado pelo estudante

Termodinâmica

Observa-se que a termodinâmica tem origem a partir do fogo, onde a energia não pode ser criada nem destruída. Diante dele se tem duas leis que estudam os processos reversíveis e irreversíveis. No livro que escrevi de Júlio Verne podemos entender o funcionamento da locomotiva.

A termodinâmica é o ramo da física que estuda as relações de troca entre o calor e o trabalho realizadas na transformação de energia. Desse modo, ela estuda a variação de temperatura, da pressão e do volume. O estudo e o desenvolvimento da termodinâmica surgiram da necessidade de criar máquinas a vapor, com isso a eficiência de energia aumentou.

Na primeira lei da termodinâmica se fala em um aspecto da conservação de energia, a conservação de energia na natureza diz que nada se perde nada se cria tudo se transforma. Já na segunda lei os aspectos de processos em sistemas físicos não que tudo pode ocorrer tanto em uma direção como em outra.

Diante de tudo se que vimos perceber a evolução dos motores, observe-se que as máquinas a vapor naquela época foram muito importantes. A partir das máquinas a vapor começa a surgir os motores de 4 tempos.

Para podemos entender como eles funcionam tivemos uma palestra com o Gabriel Faude, ele explicou de tudo um pouco, do ciclo de 4 tempos a evolução dos motores, que tem como principal diferença, é que os sistemas foram evoluindo de mecânicos para o elétricos.

Conclui-se que a termodinâmica é importante em nossas vidas pois ela está relacionada com tudo, na geologia, na engenharia, na agricultura, na medicina, na física e principalmente nos motores de 4 tempos, contribuindo no desenvolvimento da sociedade e facilitando o trabalho do homem.

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

No texto da Figura 31, pode-se avaliar a organização de conceitos sobre as Leis da Termodinâmica; o funcionamento dos motores a vapor e de combustão interna; as transformações termodinâmicas, interligando os conteúdos com a história de Júlio Verne e a importância de ampliar os conhecimentos acerca de Termodinâmica nos dias atuais, compreendendo esses avanços ao longo da história. Infere-se, neste caso, que o estudante conseguiu promover a reconciliação integradora dos conceitos, reunindo-os e descrevendo-os em seu texto, o que revela indícios de aprendizagem significativa.

Figura 31 - Texto final elaborado pelo estudante

Termodinâmica

A Termodinâmica é o ramo da física que estuda a troca de energia entre sistemas. Possui duas leis, sendo a primeira a conservação de energia e a segunda sobre processos reversíveis e irreversíveis. Na obra de Júlio Verne observa-se a evolução dos meios de transporte.

A primeira Lei da Termodinâmica estabelece que a energia não pode ser criada nem destruída, pode-se apenas transformá-la em outra. Com essas transformações, pode-se converter energia térmica em mecânica, a qual é utilizada principalmente em meios de transporte e indústrias.

Com o passar do tempo, o homem observou que uma fonte quente passa de forma espontânea para a fonte fria, notando então que o processo inverso não era possível, disso surge a necessidade do aprofundamento dos estudos, chegando assim na Segunda Lei da Termodinâmica.

Ainda na Segunda Lei, descreve-se que há processos reversíveis e irreversíveis, e, com eles chega-se à conclusão que é impossível construir uma máquina térmica que, ao operar em ciclos, transforme integralmente em trabalho todo calor recebido.

Todas essas descobertas foram possíveis graças à Primeira Revolução Industrial, pois com ela houve a evolução das máquinas térmicas. Mostrado também no livro "A volta ao mundo em 80 dias" que os percursos ficaram mais rápidos devido

à essa evolução.

Por fim, conclui-se que a termodinâmica facilitou a vida das pessoas, e hoje é impossível imaginar-se sem esses dispositivos, que a cada dia estão sendo aprimorados.

Fonte: dados da pesquisa, 2018.

Destaca-se, em todos os textos produzidos, que houve a diferenciação progressiva dos conceitos ao longo das etapas, promovendo a reconciliação integradora do conteúdo com o cotidiano. Também, é perceptível o estabelecimento de conexões, por parte dos estudantes, da história *A volta ao mundo em 80 dias*, de Júlio Verne, com a Revolução Industrial e os avanços das máquinas térmicas.

Ausubel (1980) destaca que, para ocorrer a aprendizagem, duas condições são necessárias: a primeira consiste no material de ensino, que deve ser relacionável à estrutura cognitiva do estudante, ressaltando a importância de identificar os conceitos subsunçores, no

caso, de Termodinâmica, e de ensinar a partir deles; a segunda condição, independentemente de o material ser potencialmente significativo ou não, reside no fato de o estudante querer aprender de forma significativa. Diante disso, observou-se, no decorrer das aulas, interesse e motivação dos participantes em realizar as atividades propostas.

Frente aos resultados apresentados neste capítulo, e considerando a transposição dos assuntos estudados para contextos diferentes dos abordados no decorrer do desenvolvimento da proposta, conclui-se que os estudantes compreenderam, de fato, os conteúdos de forma hierárquica, diferenciando, reconciliando e integrando os conceitos. Esses elementos sinalizam para indícios de aprendizagem significativa, promovida pela implementação da proposta, o que vai ao encontro dos preceitos defendidos por Ausubel a respeito da aprendizagem significativa.

Dessa forma, com base nos resultados encontrados, é possível afirmar que a pesquisa estruturada neste trabalho confirma a hipótese H0, que considera o material potencialmente significativo e produz indícios de aprendizagem significativa.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer desta dissertação, buscou-se desenvolver uma proposta de ensino de conceitos básicos de Termodinâmica, sustentada no contexto da história escrita por Júlio Verne e na relação com os conhecimentos prévios, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa, de David Ausubel, tendo como atores dessa experiência os estudantes do segundo ano do ensino médio da Escola Estadual Cláudio Antônio Benvegnú, localizada no município de Água Santa/RS.

No estudo, evidenciou-se que, normalmente, os estudantes consideram a Física difícil de compreender, com conteúdo distante da sua realidade e cujo processo metodológico pode ser um dos desafios para o processo de ensino da atualidade (DE CARLI, 2014). Por esse motivo, os PCNEM ressaltam que devemos repensar qual Física queremos ensinar, almejando alcançar um ensino direcionado à investigação, reflexão e autonomia, na perspectiva de formar um sujeito ativo, responsável e envolvido com a realidade que o cerca, sendo, ainda, capaz de utilizar os conhecimentos adquiridos para a resolução de situações problema presentes na realidade onde está inserido (BRASIL, 1999).

Nesse sentido, a proposta visou oferecer uma metodologia alternativa para o ensino de Termodinâmica, a partir da leitura da obra *A volta ao mundo em 80 dias*, de Júlio Verne, fundamentada na TAS, de Ausubel. Buscou-se, com esta proposta, investigar a eficácia da sequência didática para a promoção da aprendizagem significativa, unindo os conceitos de Termodinâmica e a Literatura, mais especificamente a obra de Júlio Verne, identificando, ainda, as contribuições dessa relação, que pode ser uma forma de despertar o interesse dos estudantes.

Tal experiência permitiu confirmar que uma metodologia estruturada em um conteúdo significativo ao estudante é fundamental para despertar o interesse e a curiosidade pelos temas abordados em sala, proporcionando firmeza, segurança e um maior conhecimento dos conceitos. Para tanto, é necessário desenvolver uma metodologia adequada e que facilite a ocorrência da aprendizagem significativa. Isso ficou evidenciado nos encontros, pois os estudantes envolveram-se nas atividades propostas, discutindo e debatendo ideias e relações entre conceitos de Termodinâmica, tendo como parâmetro de sustento partes da obra e exemplos do dia a dia.

Ao elaborar a proposta didática, tomou-se o cuidado de estruturá-la a partir da história criada por Júlio Verne e em conformidade com a TAS. Portanto, os encontros foram organizados de maneira a aplicar instrumentos que identificassem os conhecimentos prévios

presentes na estrutura cognitiva do estudante. No decorrer da análise de tais instrumentos, foi identificado que os alunos possuíam em sua estrutura cognitiva alguns conhecimentos de Termodinâmica; entretanto, na maioria das vezes, esse conhecimento apresentava-se incompleto ou errôneo, situação que leva o professor a ficar atento, para que não ocorram compreensões equivocadas, resultantes de aplicações fornecidas pelo senso comum. Tendo como ponto de partida a identificação desses conhecimentos, desenvolveram-se todas as atividades da proposta.

No que concerne ao tema em estudo, acredita-se ser um assunto indispensável e necessário, pois utilizamos e percebemos o resultado desses processos no nosso dia a dia e, muitas vezes, não lhes damos tanta importância. No decorrer dos encontros, observaram-se o interesse e a motivação dos participantes acerca do que estava sendo trabalhado. Nas atividades referentes aos conceitos e à sua aplicação nas situações vivenciadas, os alunos percebiam a importância de compreender, de forma significativa, esse conteúdo, e, frequentemente, debatiam, indagavam, refletiam e relacionavam os seus conhecimentos prévios com os novos conteúdos, contribuindo para a modificação dos conceitos subsunçores, desencadeando o processo de assimilação sugerido por Ausubel.

Os dez encontros foram suficientes para desenvolver a proposta, sendo, em alguns deles, possível avançar mais nas atividades programadas, e em outros, menos. Nesse contexto, sugere-se um tempo maior para a palestra, pois os estudantes questionaram e participaram do momento, envolvendo-se verdadeiramente na atividade. Acredita-se, porém, que, quando fazemos uma aprendizagem significativa, isso não influencia na conclusão das etapas.

A leitura da obra de Júlio Verne foi um elemento indispensável para estabelecer os conceitos subsunçores na estrutura cognitiva do estudante. Considera-se, também, de grande importância para o desenvolvimento desta proposta a leitura da obra antes do seu estudo. Isso contribuiu muito nas atividades. Ainda, ao trabalhar com os materiais utilizados, tais como vídeos, *gifs*, questionários, textos e atividade experimental, os estudantes relacionaram os conteúdos com partes da obra, facilitando a aprendizagem e ampliando o seu conhecimento. O produto proporcionou aos estudantes uma forma diferente de aprendizagem, levando-os a expor seus conhecimentos prévios ligados a situações cotidianas.

Pelos resultados obtidos, acredita-se que a proposta desenvolvida alcançou os seus objetivos. Isto é, pelos dados extraídos do diário de bordo e das entrevistas semiestruturadas, percebeu-se que o material construído pode ser considerado potencialmente significativo, uma vez que demonstrou ser capaz de relacionar os conteúdos estudados com os conhecimentos anteriores dos estudantes, além de promover a diferenciação progressiva e a reconciliação

integradora, proporcionando outros contextos para aplicação dos conceitos abordados. Em síntese, identificou-se que a forma metodológica estimulou os estudantes a quererem aprender mais, demonstrando, em suas falas, a importância de utilizar estratégias criativas. Com isso, a elaboração do material, partindo de seus conhecimentos prévios, passa a ser mais significativa para o aprendiz.

Ainda, os estudantes obtiveram resultados satisfatórios nos instrumentos utilizados para evidenciar índices de aprendizagem, tanto nos textos elaborados, questionários, desenhos, mapas conceituais, como no relatório do experimento. Os participantes expressaram a compreensão autêntica dos conceitos estudados, pois conseguiram identificar, diferenciar e transferir a novos contextos o conteúdo de Termodinâmica. No texto final, foi possível identificar como os estudantes o estruturaram de forma hierárquica, estabelecendo ligações, diferenciando progressivamente e reconciliando, de forma integrada, os conceitos. Todos esses elementos demonstram que os estudantes apresentaram indícios de aprendizagem significativa sobre o tema abordado.

Também se destacam a relação com a história de Júlio Verne, a Revolução Industrial, a compreensão do conhecimento de Termodinâmica nos dias atuais e os avanços tecnológicos ocorridos ao longo da história. De acordo com Zanitic (2006), a interação entre a Literatura e o ensino de Física possibilita um entendimento amplo e objetivo do mundo. Na mesma direção, Piassi (2007) ressalta que utilizar textos de ficção científica pode ser um componente articulador que estabelece vínculos para a motivação e o interesse dos estudantes por temas científicos e conteúdos programáticos de ensino. O estudo demonstrou, ainda, que integrar a obra de Verne e o ensino da Termodinâmica auxiliou os estudantes a compreenderem, de forma ampla e significativa, o tema abordado, possibilitando o estabelecimento de ligações entre os conteúdos e a história narrada. Tal resultado vai ao encontro da concepção de Ferreira (2011), que destaca que as obras de ficção de Verne proporcionam a contextualização de conceitos, levando os estudantes a compreenderem e preencherem lacunas entre os conceitos físicos e as situações vivenciais.

Acredita-se que, devido à longa participação anterior em aulas centradas na fala do professor, os estudantes apresentaram certa dificuldade no início do desenvolvimento da proposta. Alguns evidenciaram um pouco de resistência em expor suas ideias e chegar a um consenso nos grupos. Como Moreira (1999) salienta, os conceitos subsunçores são conhecimentos adquiridos, muitas vezes, na vivência através de aprendizagens que podem ser consideradas significativas. Ainda, houve dificuldades na elaboração de textos e resoluções de questões, o que demandou um tempo maior para adaptação dos estudantes à proposta. Porém,

apesar de alguns contratemplos, a duração prevista para os encontros ficou de acordo com o que se esperava, sendo possível a implementação da sequência planejada.

Frente a todo o exposto, observa-se que a proposta teve êxito na sua aplicação, pois os estudantes demonstraram interesse, motivação e participação nas atividades, ficando evidente, nos instrumentos utilizados e analisados, a ocorrência de aprendizagem, sendo possível afirmar que o material é considerado potencialmente significativo e produziu indícios de aprendizagem significativa. Salienta-se, por fim, que a experiência pode ser repetida, na convicção de sucesso, com estudantes do segundo ano do ensino médio. No entanto, nada impede que ela seja adaptada e desenvolvida com turmas de ensino fundamental ou outras turmas do ensino médio.

REFERÊNCIAS

- ALVES, Maria Francisca da Silva. *Leitura de mundo, leitura da palavra: construção da competência leitora*. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências da Educação) - Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias Instituto de Educação, Lisboa, 2012.
- ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176-194, jun. 2003.
- AUSUBEL, David Paul. *Educational psychology: a cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston, 1968.
- _____. *Retenção e aquisição de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Tradução de Lígia Teopisto. Lisboa: Plátano, 2003.
- _____.; NOVAK, Joseph D.; HANESIAN, Helen. *Psicologia educacional*. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.
- BRASIL. Ministério da Educação. *Lei nº 9.394: Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional, de 20/12/1996*. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Disponível em: <encurtador.com.br/nyW03>. Acesso em: 9 ago. 2018.
- _____. _____. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais: ensino médio*. Brasília: Ministério da Educação, 1999.
- _____. _____. Secretaria de Educação Básica. Diretoria de Currículos e Educação Integral. *Diretrizes Curriculares Nacionais Gerais da Educação Básica*. Brasília: MEC, SEB, DICEI, 2013. Disponível em: <encurtador.com.br/bmyO9>. Acesso em: 9 out. 2018.
- BULEGON, Ana Marli. *Contribuições dos objetos de aprendizagem, no ensino de Física, para o desenvolvimento do pensamento crítico e da Aprendizagem Significativa*. 2011. Tese (Doutorado em Informática na Educação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011.
- CHARTIER, Roger. *Cultura escrita, literatura e história*. Porto Alegre: Artmed Editora, 2001.
- CRESWEL, John W. *Projeto de pesquisa: método qualitativo, quantitativo e misto*. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2007.
- DALMÉDICO, Danieli. *Entre textos literários, não literários e vídeos: a formação do jovem leitor*. 2017. Dissertação (Mestrado em Letras) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.
- DE CARLI, Eloir. *Utilizando demonstrações em vídeo para o ensino de Física Térmica no ensino*. 2014. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

DELIZOICOV, Demétrio. *Concepção problematizadora do ensino de ciências na educação formal: relato e análise de uma prática educacional na Guiné Bissau*. 1982. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1982.

FACCIN, Francieli. *Implementação de unidades de ensino potencialmente significativas sobre Física Térmica para alunos do 2º ano do ensino médio*. 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2015.

FARES, Mohamad Imad Escobar. *Aplicação da Lei de Lenz-Faraday em experimentos potencialmente significativos para o ensino aprendizagem*. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá, 2017.

FAZENDA, Ivani Catarina Arantes. *Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa*. Campinas, SP: Papirus, 1994.

FERNEDA, Túlio. *A ciência em romances de ficção científica: leituras e caminhos para a educação em Ciências*. 2015. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2015.

FERREIRA, Júlio César D. *Aproximações entre a obra de Júlio Verne e o ensino de física*. 2011. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2011.

FRANCO, Maria Amélia Santoro. *Pedagogia da pesquisa-ação*. *Revista Educação e Pesquisa*, São Paulo, v. 31, n. 3, p. 483-502, set./dez. 2005.

GOOGLE. *Imagens*. *Livro A volta ao mundo em 80 dias*. Imagem 16 X 23 cm. Disponível em: <<https://goo.gl/75ScCZ>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

_____. _____. *Locomotivas a vapor*. Disponível em: <<https://bit.ly/2MStQU5>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. _____. *Navio a vapor*. Disponível em: <<https://bit.ly/2ufcmJZ>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

GREGIO, Nivaldo de Oliveira. *Termodinâmica, um tutorial para entendimento do conceito de entropia*. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.

GIL, Antonio Carlos. *Métodos e técnicas de pesquisa em ciência social*. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

KLEIN, Jaime André. *Leitura e ensino de literatura contemporânea no ensino médio: um olhar crítico sobre os livros didáticos do PNL 2015*. 2015. Dissertação (Mestrado em Letras) - Universidade Regional do Alto Uruguai e das Missões, Frederico Westphalen, 2015.

LIMA, Joslaine de. *Sequência didática para o ensino da termodinâmica*. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

LISBOA, Eliana Alcantara. *Inserção da interdisciplinaridade na formação de licenciados em Física*. 2017. Tese (Doutorado em Ensino, Filosofia e História das Ciências) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2017.

LORENZETTI, Leonir. *Alfabetização científica no contexto das séries iniciais*. Dissertação (Mestrado em Educação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

LÜDKE, Menga; ANDRÉ, Marli E. D. A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.

MICHELENA, Juleane Boeira. *Física térmica: uma abordagem histórica e experimental*. 2008. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2008.

MARTINI, Gloria et al. *Conexões com a Física*. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2013.

MAZARO, Simone Bonora; DARROZ, Luiz Marcelo. Atividades experimentais: um caminho para o ensino de Termodinâmica no Ensino Médio. *Caderno de Física da UEFS*, v. 15, n. 2, p. 2201.1-2201.11, 2017.

MOREIRA, Marco Antônio. *Aprendizagem significativa*. 2. ed. São Paulo: E.P.U, 1999.

_____. Ensino de Física no Brasil: retrospectiva e perspectivas. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 1, mar. 2000.

_____. *Aprendizagem significativa*. 2. ed. São Paulo: E.P.U, 2011.

_____. *Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas e unidades de ensino potencialmente significativas*. 2012. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2012.

_____.; MASINI, Elcie F. Salzano. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. 2. ed. São Paulo: Centauro, 2001.

OTERO, Leo Godoy. *Introdução a uma história da ficção científica*. São Paulo: Lua Nova, 1987.

PEDROSA, David Pedro. *O uso das tecnologias de informação e comunicação na promoção da aprendizagem da termodinâmica*. 2015. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) - Universidade Federal do Vale São Francisco, Juazeiro da Bahia, 2015.

PINTO NETO, Pedro da Cunha. Júlio Verne: o propagandista das ciências. *Ciência & Ensino*, n. 12, p. 10-15, dez. 2004.

PIASSI, Luís Paulo C. *Contatos: a ficção científica no ensino de ciências em um contexto sociocultural*. 2007. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

PIERI, Helena da Gloria. *Abordagem do conteúdo “ondas” no ensino médio na perspectiva CTS estruturada a partir dos três momentos pedagógicos*. 2017. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2017.

QRA VOLANTÃO. *Como funciona o motor 4 tempos?* Animação. 5:25min. 15 dez. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/7NR3n3>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

RAMOS, João Eduardo Fernandes. *A ciência e o insólito: o conto de literatura fantástica no ensino de Física*. 2012. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências na Modalidade Ensino de Física) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

ROBERS, Adam. Defining science fiction. In: _____. *Science Fiction*. London; New York: Routledge, 2002a.

_____. The history of science fiction: from beginning to the.1960s. In: _____. *Science Fiction*. London; New York: Routledge, 2002b.

ROMANOWSKI, Joana P. *As licenciaturas no Brasil: um balanço das teses e dissertações dos anos 90*. 2002. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

SANTANA, Ilair. *Maria-fumaça*. Vídeo 1:36min. 15 set. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/ZU7iqd>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

SCHIVANI, Milton. *Contextualização no ensino de Física à luz da teoria antropológica do didático: o caso da robótica educacional*. 2014. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

TOR, Roberval. *Princípio motor a vapor*. Vídeo 0:36min. 11 set. 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/MdmXnQ>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

TORRES, Carlos Magno A. et al. *Física: ciência e tecnologia*. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2013.

TRIVIÑOS, Augusto N. S. *Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação*. São Paulo: Atlas, 1987.

_____. *Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação*. 23. reimp. São Paulo: Atlas, 2015.

VERNE Júlio. *A volta ao mundo em 80 dias: texto condensado*. Adaptação de Margaret Fiorini; ilustração de Suzy Braz Reijado. São Paulo: Rideel, 2001 (Coleção Júlio Verne).

VOLTA AO MUNDO EM 80 DIAS (AROUND THE WORLD IN 80 DAYS). Diretor: Frank Coraci. Irlanda: Europa Filmes, 2004. Filme completo 120,6min. Disponível em: <<https://goo.gl/ZTQCd2>>. Acesso em: 28 maio 2018.

ZABALZA, Miguel. *Diários de aula: um instrumento de pesquisa e desenvolvimento profissional*. Porto Alegre: Artmed, 2004.

ZANETIC, João. *Física também é cultura*. 1989. Tese (Doutorado em Educação) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

_____. Física e arte: uma ponte entre duas culturas. *Pro-Posições*, v. 17, n. 1, p. 39-57, 2006.

ANEXO A - Termo de consentimento livre e esclarecido**TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO**

Você está sendo convidado/a a participar da pesquisa “Aprendizagem significativa de Termodinâmica a partir da obra *A volta ao mundo em 80 dias* de Júlio Verne”, de responsabilidade dos pesquisadores Simone Bonora Mazaro e Dr. Luiz Marcelo Darroz. Esta pesquisa é desenvolvida em razão da necessidade de qualificação do processo ensino-aprendizagem em Física no ensino médio. O objetivo do trabalho é desenvolver uma forma metodológica para relacionar Termodinâmica com o contexto histórico e atual através de uma sequência didática baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa, de Ausubel, a partir da obra de Júlio Verne, *A volta ao mundo em 80 dias*. A atividade será desenvolvida durante a disciplina de Física e envolve registros por parte da professora referentes ao andamento das aulas, coleta de material escrito dos alunos, realização de atividade experimental, mapas conceituais e entrevistas, todas essas atividades desenvolvidas nas dependências da própria escola.

Esclarecemos que a sua participação não é obrigatória e, portanto, poderá desistir a qualquer momento, retirando seu consentimento. Além disso, garantimos que receberá esclarecimentos sobre qualquer dúvida relacionada à pesquisa e que poderá ter acesso aos seus dados em qualquer etapa do estudo. As informações serão transcritas e não envolverão a identificação do nome dos sujeitos. Tais dados serão utilizados apenas para fins acadêmicos, sendo garantido o sigilo das informações.

Informamos que a sua participação nesta pesquisa não traz complicações legais, não envolve qualquer tipo de risco físico, material, moral ou psicológico. Ao participar desta pesquisa, você não terá nenhum benefício direto. Entretanto, esperamos que este estudo o auxilie no processo de construção do conhecimento científico. Você não terá nenhum tipo de despesa, bem como nada será pago pela sua participação.

Caso você tenha dúvida sobre o comportamento dos pesquisadores ou sobre as mudanças ocorridas na pesquisa que não constam no TCLE, ou caso se considere prejudicado/a na sua dignidade e autonomia, poderá entrar em contato com o pesquisador Dr. Luiz Marcelo Darroz pelo telefone (54) 999390599, ou com a Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, da Universidade de Passo Fundo, pelo telefone (54) 3316 8363. Poderá, ainda, sendo este o seu desejo, consultar o Comitê de Ética em Pesquisa da UPF pelo telefone (54) 3316-8157, no horário das 8h às 12h e das 13h30min às 17h30min, de segunda a sexta-feira.

Dessa forma, se você concorda em participar da pesquisa, em conformidade com as explicações e orientações contidas neste Termo, pedimos que registre abaixo a sua autorização. Informamos que este Termo também será assinado pelos pesquisadores responsáveis, emitido em duas vias, das quais uma ficará com você e a outra com os pesquisadores.

Água Santa, _____ de agosto de 2018.

Nome do/a participante: _____

Data de nascimento: ____/____/____.

Assinatura do responsável legal: _____

Pesquisadores: _____ e _____

APÊNDICE A - Autorização fornecida pela escola

ESCOLA ESTADUAL DE ENSINO MÉDIO CLÁUDIO ANTÔNIO BENVENEGÚ
Avenida Dario Romam, 742 - Bairro Centro – Água Santa/RS
Fone 54 3348-1063 CEP: 99965-000
E-mail: eembvenegnu@yahoo.com.br

AUTORIZAÇÃO DA ESCOLA

Declaramos, para os devidos fins, que cedemos à pesquisadora Simone Bonora Mazaro o espaço da Escola Estadual de Ensino Médio Cláudio Antônio Benvenegú, bem como a 2ª série do ensino médio, turma A, para serem utilizadas na pesquisa “Aprendizagem significativa de Termodinâmica a partir da obra *A volta ao mundo em 80 dias* de Júlio Verne”, de responsabilidade dos pesquisadores Simone Bonora Mazaro e Dr. Luiz Marcelo Darroz. Esta pesquisa é desenvolvida em razão da necessidade de qualificação do processo ensino-aprendizagem em Física no ensino médio, como trabalho de conclusão do curso de mestrado profissional do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM) da Universidade de Passo Fundo. O objetivo do trabalho é desenvolver uma forma metodológica para relacionar Termodinâmica com o contexto histórico e atual através de uma sequência didática baseada na Teoria da Aprendizagem Significativa, de Ausubel, a partir da obra de Júlio Verne, *A volta ao mundo em 80 dias*.

As atividades serão desenvolvidas nas dependências da própria escola, durante os períodos destinados ao componente curricular de Física, de 09 de agosto a 25 de outubro de 2018, e envolverão registros por parte da professora referentes ao andamento das aulas, coleta de material escrito pelos alunos, realização de atividade experimental, elaboração de mapas conceituais e aplicação de entrevistas.

Dessa forma, registramos abaixo a autorização da Escola Estadual de Ensino Médio Cláudio Antônio Benvenegú. Informamos que este Termo, também assinado pela diretora, pela coordenadora e pela professora pesquisadora, é emitido em duas vias, das quais uma ficará com a Escola e outra com os pesquisadores.

Água Santa, 09 de agosto de 2018.

Diretora

Coordenadora pedagógica

Professora pesquisadora

APÊNDICE B - Questões para auxiliar na construção do texto que busca identificar os conceitos subsunçores

Questões para auxiliar na construção do texto que busca identificar os conceitos subsunçores.

Questão 1 – Você sabe dizer onde é possível perceber a existência de energia?

Questão 2 – É possível converter um tipo de energia em outro? Explique.

Questão 3 – Como funciona o motor de um carro?

Questão 4 – Para funcionar, um motor à gasolina transforma energia? De que forma?

Questão 5 – Existem outros motores como o motor à gasolina? Quais? Como funcionam?

APÊNDICE C - Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais?

Texto: Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais?

Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais?



Fonte: GOOGLE. Imagens. *A volta ao mundo nos dias atuais*. Disponível em: <<https://goo.gl/ohWpcq>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

A obra conta que, em 1872, um refinado cavalheiro inglês, cuja vida era conduzida de forma correta, dentro de horários programados, fez uma aposta com seus companheiros do grande e exclusivo Reform Club, em que afirmou ser possível dar a volta ao mundo em 80 dias, em troca de vinte mil libras (cerca de três milhões de reais), mas estava mais preocupado em manter sua palavra. Phileas Fogg partiu mundo afora com seu recém-contratado mordomo, Passepartout.

Essa história foi escrita por Júlio Verne em *A volta ao mundo em 80 dias*. Esse livro pode ser o precursor da vontade de se aventurar pelo globo terrestre. Os personagens vivem diversas aventuras e muitas vezes precisam improvisar vários meios de transporte, como trens a vapor, navio a vapor, trenó à vela, entre outras, percorrendo um trajeto de quase nove mil quilômetros.

Atualmente o mesmo trajeto levaria cerca de seis dias, ou menos tempo ainda. Com os avanços tecnológicos e a evolução dos meios de transporte desde a primeira Revolução Industrial, isso se tornou uma realidade.

Outra curiosidade que podemos citar sobre o livro é que, já em 1872, as pessoas achavam que o mundo havia ficado menor, isto é, que as distâncias eram percorridas em menos tempo, graças à evolução dos meios de transporte e da tecnologia. De fato, isso fez com que diminuísse bastante o tempo de percurso a longas distâncias.

Pode ser que as futuras gerações, daqui a alguns anos, digam que, em 2018, as pessoas levavam muito tempo para ir à escola, ao trabalho naqueles carros lentos movidos à gasolina, da mesma forma que tinham paciência para viajar várias horas em aviões. Como serão os meios de transporte do futuro?

A sociedade atual, suas indústrias e as novas tecnologias vêm produzindo inúmeros efeitos sobre a humanidade e o meio ambiente, com a emissão de gases poluentes produzidos por usinas termelétricas, automóveis e fábricas. Um dos principais causadores desses gases é o motor de combustão interna, que queima combustíveis para alimentá-lo e gera gases na emissão do escape.

Esses dispositivos são capazes de converter energia térmica em energia mecânica, sendo utilizados principalmente nos meios de transporte e na indústria. Podemos citar como exemplos a máquina a vapor, a turbina a vapor, os veículos automotores, a geladeira, o ar-condicionado. A liberação de energia pode ser usada para promover calor quando um combustível queima em um motor, produzindo trabalho mecânico. É impossível imaginarmos nossa vida sem esses dispositivos, que a cada dia estão sendo aprimorados.

Do motor do automóvel à panela de pressão, a Termodinâmica está presente em muitos fenômenos do dia a dia. Desde as antigas máquinas a vapor, fundamentais para a Revolução Industrial ocorrida na Inglaterra em meados do século XVIII, os estudos da Termodinâmica possibilitaram a análise dos fenômenos e das propriedades da matéria em condições específicas de variações macroscópicas e microscópicas, incluindo a mudança de temperatura, calor e pressão de um conjunto de partículas.

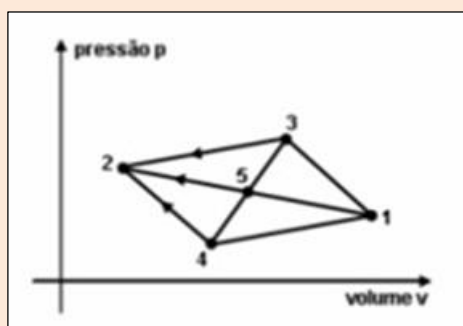
Hoje em dia a Termodinâmica é aplicada desde as máquinas térmicas à meteorologia, com a medição de temperatura, pressão, umidade relativa do ar, nos automóveis, nas turbinas de aviões, nas usinas termelétricas que se utilizam do calor produzido pela fissão atômica. Enfim, está presente em várias situações do cotidiano.

Fonte: PIMENTEL, 2013.

APÊNDICE D - Questões para promover a reconciliação integradora

Questões para promover a reconciliação integradora.

Questão 1 - Um sistema pode seguir por diferentes caminhos durante a transformação gasosa de um estado termodinâmico (1) a um estado (2), como nas locomotivas e barcos a vapor citados no livro. Na figura, estão representados, em um diagrama, pressão por volume, alguns desses trajetos para determinar massa gasosa.



Em qual dos seguintes trajetos:

- $1 \rightarrow 3 \rightarrow 2$
- $1 \rightarrow 4 \rightarrow 2$
- $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 2$
- $1 \rightarrow 5 \rightarrow 2$
- $1 \rightarrow 3 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 2$

o trabalho realizado sobre o gás:

- a) é máximo?
- b) é mínimo? Por quê?

Questão 2 - Por que o ar no interior de uma bomba usada para encher bolas ou pneus de bicicleta se aquece durante o processo de calibração desses objetos? Poderíamos relacionar esse processo com o funcionamento da locomotiva presente no livro?

APÊNDICE E - Questões para direcionar a reflexão

Questões para direcionar a reflexão.

Questão 1 - Que conceitos estão envolvidos nesta cena?



Fonte: GOOGLE. Imagens. *Volta ao mundo em 80 dias – cenas do filme.*

Disponível em: <<https://goo.gl/7BySY2>>. Acesso em: 19 maio 2018.

Questão 2 - É possível relacionar conceitos estudados até o momento com os vistos na cena?

Questão 3 - Conseguimos compreender todos os conceitos envolvidos na cena?

APÊNDICE F - Comportamento das diferentes transformações termodinâmicas

Tabela: Comportamento das diferentes transformações termodinâmicas.

Transformação gasosa	Descrição	Primeira Lei da Termodinâmica	Exemplos relacionados
Isotérmica	A transformação ocorre com a temperatura constante. $\Delta U=0$	$Q = \tau$ Todo calor fornecido ao sistema é integralmente transformado em trabalho.	O movimento do êmbolo de um pistão.
Isométrica	A transformação ocorre com o volume constante. $\tau = 0$	$Q = \Delta U$ Todo calor fornecido ao sistema é integralmente transformado em energia interna.	Na bomba de um motor a vapor, a água é comprimida, aumentando sua pressão até se igualar à pressão da caldeira.
Isobárica	A transformação ocorre com a pressão constante.	$Q = \tau + \Delta U$ Uma parte do calor fornecido ao sistema será transformado em trabalho, e o restante, em energia interna.	A água na caldeira vaporiza-se sob pressão constante, aumentando seu volume.
Adiabática	Não há trocas de calor entre o sistema termodinâmico e o meio externo. $Q=0$	$\tau = -\Delta U$ Todo trabalho recebido ou realizado é convertido em energia interna do próprio gás.	Nas turbinas usadas nos barcos a vapor, o vapor se expande e realiza trabalho fazendo as hélices girarem. O vapor e as hélices estão na mesma temperatura e a transformação é rápida não ocorrendo trocas de calor.

Fonte: adaptado de MARTINI et al., 2016, p. 113-115.

APÊNDICE G - Questões

Questões.

Questão 1 - De acordo com os conceitos estudados até o momento, as transformações de energia que ocorrem no funcionamento do motor de uma locomotiva a vapor, como a descrita por Júlio Verne, discuta o que está contido nas seguintes afirmações:



Fonte: GOOGLE. Imagens. *Locomotivas a vapor.*

Disponível em: <<https://goo.gl/s9wK4i>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

- a) A força expansiva do vapor, que é uma energia térmica, convenientemente aproveitada, pode transformar-se em energia mecânica ou de movimento e ser empregada nas máquinas a vapor como força motriz.
- b) A conversão integral de calor em trabalho é impossível.
- c) A transformação de energia térmica em cinética é impossível.
- d) A locomotiva a vapor e um conjunto de elementos mecânicos têm por objetivo transformar a energia calorífica dos combustíveis em energias mecânicas, transmitir o movimento resultante dos êmbolos aos eixos motrizes e, finalmente, transformar esse movimento retilíneo alternado em circular contínuo para as rodas.

Questão 2 - Quem fornece a energia interna para o vapor de água em uma locomotiva a vapor como a da figura da Questão 1?

APÊNDICE H - Indagações: diálogo entre estudantes

Indagações: diálogo entre estudantes

Questão 1 – Comente a afirmação: “o motor de um automóvel é uma máquina térmica perfeita”.

Questão 2 – O funcionamento dos motores de carro e de geladeira ou ar-condicionado ocorre em ciclos? Por quê?

Questão 3 – Você já ouviu a expressão “o calor gera trabalho mecânico”? Comente o que interpreta sobre essa expressão.

Questão 4 – Explique o funcionamento desse equipamento.

Questão 5 – Que outros equipamentos do seu cotidiano operam como a geladeira?

APÊNDICE I - Questões referentes à imagem da figura 5

Questões referentes à imagem da Figura 5.

Questão 1 - Observando a imagem, é impossível passar energia de um estado para outro sem haver perda associada?

Questão 2 - Podemos observar na imagem o funcionamento da locomotiva, a energia que está operando no sistema tem 100% de eficiência?

Questão 3 - O funcionamento da locomotiva é espontâneo?

APÊNDICE J - Trecho da história a volta ao mundo em 80 dias

Trecho da história A volta ao mundo em 80 dias.

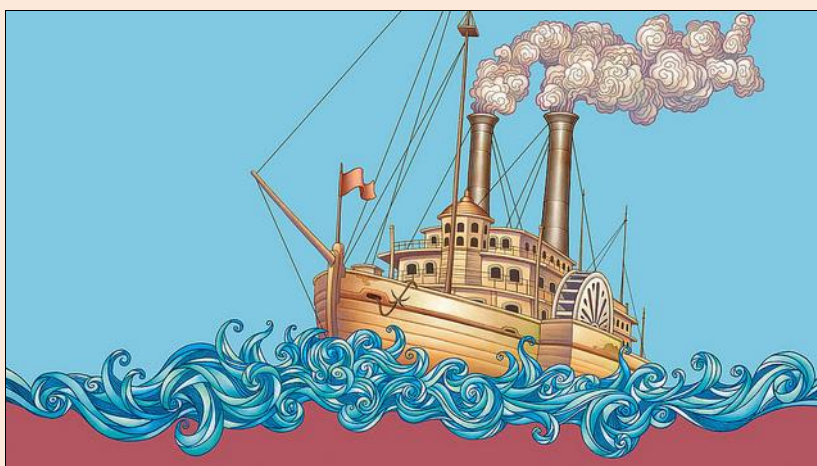
A volta ao mundo em 80 dias



Fonte: GOOGLE. Imagens. *Livro A volta ao mundo em 80 dias*. Disponível em: <<https://goo.gl/Yh9GC2>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

A volta ao mundo em 80 dias é uma incrível aventura pelos mais diversos locais, culturas e situações. Verne era um escritor muito além de seu tempo, pois citava vários avanços científicos e tecnológicos.

Durante essa emocionante viagem os personagens tiveram muitos contratempos, um deles foi quando não conseguiram chegar a tempo para a partida do vapor China para Liverpool. No dia seguinte embarcam no navio de carga Henrietta rumo a Bourdeaux, onde Fogg oferece dois mil dólares para cada um, mas o capitão do navio se recusa a levá-los para a Inglaterra.



Fonte: GOOGLE. Imagens. *Livro A volta ao mundo em 80 dias*. Disponível em: <<https://goo.gl/L6h5uo>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

Fogg, então, suborna os marinheiros, eles prendem o capitão na cabine e Fogg assume o comando; porém, o carvão não era suficiente para alcançar Liverpool. Fogg compra a embarcação por sessenta mil dólares e manda para a caldeira toda a madeira do navio, deixando-o apenas com o casco de ferro e o motor. Durante os primeiros dias, a navegação se fez em excelentes condições. O mar não estava muito duro; o vento parecia fixo a nordeste; largaram-se as velas, e, sob suas goletas, o Henrietta andou como um verdadeiro transatlântico.

Um contratempo, Fogg, para não se afastar de sua rota, teve de ferrar as velas e forçar o vapor. Contudo, o andamento do navio foi diminuindo, tendo em conta o estado do mar, cujas imensas ondas quebravam contra a roda de proa. O navio começou a arfar violentamente, em prejuízo da sua velocidade. O vento virava pouco a pouco furacão, e já se previa o momento em que o Henrietta não pudesse mais se manter sobre as ondas. Ora, se fosse preciso fugir diante do temporal, surgiria o desconhecido com todas as suas consequências.

Contudo o vento não soprou tão forte quanto poderiam ter esperado. Não se tornou um destes tufões que passam a uma velocidade de noventa milhas por hora. Soprou suportavelmente, mas infelizmente soprou com obstinação do sudeste e não permitiu que se largasse o pano. E, contudo, como veremos, teria sido muito útil que tivesse vindo em auxílio do vapor.

Ora, naquele dia, o maquinista, tendo subido à coberta, encontrou Fogg e falou acaloradamente com ele.

— Tem certeza do que disse?, perguntou Fogg.

— Certeza absoluta, senhor, respondeu o maquinista. Não se esqueça de que, desde nossa partida, temos tido as fornalhas sempre acesas, e que se temos suficiente carvão para ir a pouco vapor de Nova York a Bordeaux, não temos o bastante para ir a todo o vapor de Nova York a Liverpool.

— Pensarei nisso, respondeu Fogg.

E agora que decisão iria tomar Phileas Fogg? Era difícil de imaginar! Entretanto pareceu que o fleumático gentleman tinha tomado uma, porque naquela mesma tarde mandou chamar o maquinista, e lhe disse:

— Atice o fogo e vá em frente até acabar completamente o combustível.

Instantes depois, a chaminé do Henrietta vomitava turbilhões de fumaça. O navio continuou assim a andar a todo vapor; mas, como tinha sido avisado, dois dias mais tarde, dia 18, o maquinista fez saber que o carvão acabaria naquele dia.

— Que não deixem o fogo baixar, respondeu Fogg. Pelo contrário. Abram as válvulas.

Naquele dia, por volta do meio dia, depois de ter tomado a altura do sol, e calculado a posição do navio, Phileas Fogg fez vir Passepartout, e deu-lhe a ordem de ir buscar o capitão Speedy. Era como se tivessem mandado o bom moço desacorrentar um tigre, e ele desceu ao tombadilho, se dizendo:

— Positivamente ficará raivoso!

Com efeito, alguns minutos mais tarde, em meio a gritos e pragas, uma bomba chegava ao tombadilho. Esta bomba, era o capitão Speedy. E era evidente que ela iria explodir.

— Onde estamos?

Tais foram as primeiras palavras que pronunciou no meio das sufocações de cólera, e se não ficasse apoplético, jamais ficaria.

— Onde estamos?

Repetiu, a face congestionada.

A setecentas e setenta milhas de Liverpool (300 léguas), respondeu Mr. Fogg com uma calma imperturbável.

— Pirata! exclamou Andrew Speedy.

— Mandei-o chamar, senhor...

— Corsário!

— ...senhor, retomou Phileas Fogg, para pedir que me venda o seu navio.

— Não! Por todos os diabos, não!

— É que vou ser obrigado a queimá-lo.

— Queimar meu navio!

— Sim, pelo menos seus altos, porque estamos sem combustível.

— Queimar meu navio!, gritou o capitão Speedy, que já nem podia mais sequer pronunciar as sílabas. Um navio que vale cinquenta mil dólares.

— Aqui tem sessenta mil!, respondeu Phileas Fogg, oferecendo ao capitão um maço de bank-notes.

Isso teve um efeito mágico sobre Andrew Speedy. Não se é americano sem que a visão de sessenta mil dólares lhe cause uma certa emoção. O capitão esqueceu em um instante sua cólera, seu encarceramento, todas as queixas contra seu passageiro. O navio tinha vinte anos. Aquilo poderia vir a ser uma mina de ouro!... A bomba não poderia mais explodir. Mr. Fogg arrancara seu estopim.

— E o casco de ferro ficará para mim, disse em um tom singularmente doce.

— O casco de ferro e a máquina, senhor. Fechado?

— Fechado.

E Andrew Speedy, pegando o maço de bank-notes, contou e embolsou.

Quando Andrew Speedy tinha embolsado o dinheiro:

— Senhor, disse Fogg, que tudo isso não lhe cause admiração. Saiba que perco vinte mil libras se não estiver em Londres dia 21 de dezembro, às oito e quarenta e cinco da noite. Ora, perdi o pacote de Nova York, e como se recusava a me levar a Liverpool...

— E fiz bem, pelos cinquenta mil diabos do inferno, exclamou Andrew Speedy, pois com isso ganhei pelo menos quarenta mil dólares.

Depois, mais pausadamente:

— Sabe uma coisa, acrescentou, capitão?...

— Fogg.

— Capitão Fogg, pois bem, há um yankee no senhor.

E depois de ter feito ao seu passageiro o que ele julgava um cumprimento, ia embora, quando Phileas Fogg lhe disse:

— Agora este navio me pertence?

— Claro, da quilha até à ponta dos mastros; tudo o que for madeira, claro.

— Bem. Faça demolir as divisões internas e aquecer a caldeira com os destroços.

Imaginem o que foi preciso consumir de madeira seca para conservar o vapor com suficiente pressão. Naquele dia, o tombadilho, os camarotes de convés, as cabinas, os alojamentos, a falsa cobertura, tudo foi abaixo.

No dia seguinte, queimou-se a mastreação, as peças de substituição, as antenas. Abateram-se os mastros, foram cortados a machadadas. Passepartout, rachando, cortando, serrando, fazia o trabalho de dez homens. Era um furor de demolição.

Ao meio em 21 de dezembro, Phileas Fogg desembarcou afinal no cais de Liverpool. Não estava a mais de seis horas de Londres.

APÊNDICE K - Transpor conceitos em diferentes contextos, através de questionário

Transpor conceitos em diferentes contextos, através de questionário.

Questão 1 - Qual o princípio básico de funcionamento da locomotiva a vapor presente na figura abaixo?



Fonte: GOOGLE. Imagens. *Locomotivas a vapor*.
Disponível em: <<https://goo.gl/tDS1kS>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Questão 2 - Observando a figura da questão 1, explique qual a condição necessária para converter água em vapor.

Questão 3 - Comente as proposições a seguir referentes à Segunda Lei da Termodinâmica.

- a) Máquina térmica é um sistema que realiza transformação cíclica: depois de sofrer uma série de transformações, ela retorna ao estado inicial.
- b) É impossível construir uma máquina térmica que transforme integralmente calor em trabalho.
- c) O calor é uma forma de energia que se transfere espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

Questão 4 - A Segunda Lei da Termodinâmica, em um de seus enunciados, descreve que: “É impossível construir uma máquina térmica operando em ciclos, cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e convertê-lo integralmente em trabalho.” Explique com suas palavras o que compreendeu sobre esse enunciado.

Questão 5 - A Segunda Lei tem, em um de seus enunciados, proposto por Clausius, o seguinte: “O calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente.” No funcionamento de um refrigerador, observa-se a transferência de calor. Explique por que o funcionamento do refrigerador não contraria esse enunciado.



Fonte: GOOGLE. Imagens. *Funcionamento do refrigerador.*

Disponível em: <<https://goo.gl/4JTBKi>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Questão 6 - Uma locomotiva a vapor, citada no texto e visualizada na figura abaixo, transforma integralmente calor em trabalho?



Fonte: GOOGLE. Imagens. *Locomotiva a vapor do filme A volta ao mundo em 80 dias.*

Disponível em: <<https://goo.gl/tmXE8C>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

APÊNDICE L - Indagações sobre máquinas térmicas

Indagações sobre máquinas térmicas.

Questão 1 - Reflita no grupo sobre o que você sabe acerca de máquinas térmicas, seu funcionamento, e dê alguns exemplos.

Questão 2 - Quando ouvimos a expressão “máquinas térmicas”, é comum associá-la à máquina a vapor, como vimos ao longo do livro de Júlio Verne. De fato, os barcos a vapor, certas locomotivas e as panelas de pressão são máquinas térmicas. Mas você sabia que carros também são máquinas térmicas? Comente.

Questão 3 - Já no século XIX se fazia essa pergunta cuja resposta até hoje não é fácil: é possível construir uma máquina com 100% de eficiência? Com tantos avanços tecnológicos, seria possível conseguir isso, como já citava Júlio Verne no livro?

APÊNDICE M - A locomotiva a vapor

A locomotiva a vapor.

Questão 1 - A maria-fumaça, locomotiva a vapor utilizada no livro como meio de transporte dos personagens, é uma máquina térmica. Considerando que ela queima lenha para seu funcionamento, você é capaz de reconhecer seus elementos constituintes?

- a) Qual é o fluido de trabalho?
- b) Qual é a fonte quente?
- c) Qual é a fonte fria?



Fonte: GOOGLE. Imagens. *Locomotiva a vapor do filme A volta ao mundo em 80 dias*. Disponível em: <<https://goo.gl/XbEbXB>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

APÊNDICE N - Texto “da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade”

Texto “Da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade”.

Da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade

A magnitude da utilização do fogo como instrumento para a transformação e evolução da sociedade acelerou o desenvolvimento da humanidade.

Um dos primeiros dispositivos que utilizavam o fogo eram as máquinas térmicas capazes de transformar a energia na forma de calor em trabalho mecânico. O primeiro aparelho que podemos considerar ser uma máquina térmica foi construído por Herão de Alexandria no século I d.C (Figura 1).

Figura 1 – Aparelho de Herão de Alexandria.



Fonte: GOOGLE. Imagens. *Aparelho de Herão de Alexandria*. Disponível em: <<https://goo.gl/kEJTws>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Essa máquina funciona a partir da transformação de energia térmica em energia mecânica. No entanto, esse dispositivo não foi criado com o objetivo de obter grande quantidade de trabalho mecânico.

Um grande avanço no desenvolvimento tecnológico aconteceu com a máquina a vapor, dando início à Revolução Industrial, no final do século XIII. Uma das primeiras máquinas térmicas que visavam uma aplicação prática foi construída pelo inglês Thomas Newcomen. O objetivo dessa máquina era bombear água para retirá-la das minas de carvão. Neste caso o principal combustível era o carvão e a partir da sua queima, produzindo fogo, transformava a energia liberada em outra, com capacidade de realizar trabalho, ou seja, impulsionar máquinas e equipamentos a fazerem tarefas que antes dependiam do trabalho braçal. Mas logo elas foram aplicadas nas indústrias, nas locomotivas a vapor e nos barcos. Em poucos anos, essas máquinas transformaram o mundo e a humanidade.

O romance de ficção científica de Júlio Verne se insere no contexto da Revolução industrial, que transformou as condições econômicas e sociais do século XIX. O trabalho do homem se tornou mais fácil e mais rápido graças às máquinas (motores, cabos de transmissão, prensas), as estradas, os canais e as ferrovias facilitavam a tarefa de Phileas Fogg em dar a volta ao mundo.

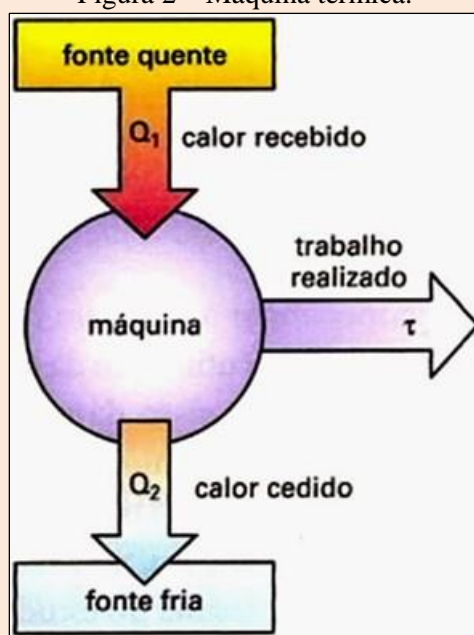
A navegação marítima era dominada pelos ingleses. Os vapores, com a invenção dos cascos de ferro, com a potência das caldeiras e com a adoção da hélice, os navios a vapor superaram os veleiros em virtude de sua maior velocidade, o que facilitou a viagem de Phileas Fogg.

Desde aquele tempo tinha-se a preocupação em desenvolver uma máquina térmica mais eficiente para aproveitar a energia, ou seja, que operasse com eficiência máxima. De fato, já no século XIX se perguntava: é possível construir uma máquina com 100% de eficiência? Seria possível conseguir isso nos dias atuais com tantos avanços tecnológicos?

A resposta desta indagação nos mostra que não depende somente de limitações tecnológicas, mas sim de uma limitação da natureza. Os estudos referentes às máquinas térmicas levaram ao desenvolvimento do ramo da Física conhecido como Termodinâmica e suas leis.

Para a transformação contínua de calor em trabalho mecânico, as máquinas térmicas operam em ciclos. Pode-se definir, por exemplo, que se aplica ao esquema representativo (Figura 2) a locomotiva movida a carvão em que a substância de trabalho é a água. A água na máquina realiza um ciclo no qual primeiramente evapora numa caldeira e, então, expande-se de encontro a um pistão. Depois que o vapor é condensado com água de refrigeração, retorna à caldeira, e o processo se repete, no qual a caldeira representa a fonte quente, o ar atmosférico a fonte fria e o movimento da locomotiva o trabalho realizado sobre o sistema, que transforma parte do calor fornecido pela caldeira em trabalho.

Figura 2 – Máquina térmica.



Fonte: GOOGLE. Imagens. *Máquinas térmicas*.

Disponível em: <<https://goo.gl/woY8NY>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Sendo impossível construir uma máquina térmica que, ao operar em ciclos, transforme integralmente em trabalho todo o calor que recebe, pode-se associar a cada máquina térmica uma grandeza para medir seu grau de eficiência. Essa grandeza denomina-se rendimento (η), indicado pela expressão:

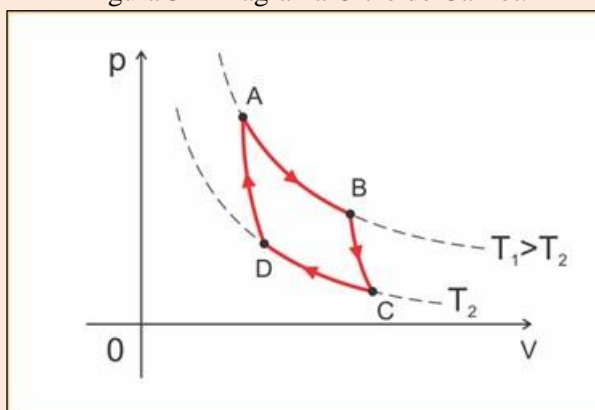
$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Isso indica que o rendimento de uma máquina térmica é sempre menor que 1, ou seja, é sempre menor que 100%. Mas qual seria o rendimento máximo de uma máquina térmica? Como seria a sequência de transformações para que esse rendimento pudesse ser atingido? Essas questões nos levam ao ciclo de Carnot.

Engenheiro e matemático francês, Nicolas Léonard Sadi Carnot, ao estudar o desenvolvimento de máquinas térmicas, chegou à conclusão que seria impossível construir uma máquina térmica com 100% de eficiência, levando à Segunda Lei da Termodinâmica.

O rendimento no ciclo de Carnot é função exclusiva das temperaturas absolutas das fontes quente e fria. É constituído por duas transformações isotérmicas (AB e CD), alternadas com duas transformações adiabáticas (BC e DA) (Figura 3):

Figura 3 – Diagrama Ciclo de Carnot.



Fonte: FUNDAMENTOS da física. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2Pj90if>>. Acesso em: 07 out. 2018.

Carnot provou que o rendimento dessa máquina corresponde ao máximo rendimento que pode ser obtido por uma máquina térmica operando entre duas temperaturas (T_1 quente e T_2 fria).

Durante a expansão isotérmica AB, o gás recebe a quantidade de calor Q_1 da fonte quente, cuja temperatura é T_1 . Durante a compressão isotérmica CD, o gás rejeita a quantidade de calor Q_2 para a fonte fria, cuja temperatura é T_2 .

Assim, o rendimento da máquina é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Conclui-se que:

O rendimento de uma máquina de Carnot não depende do fluido de trabalho;
depende apenas das temperaturas das fontes quente e fria.

Os processos observados na Figura 3 podem se relacionar ao funcionamento da locomotiva presente em muitas partes do livro de Júlio Verne, conforme segue:

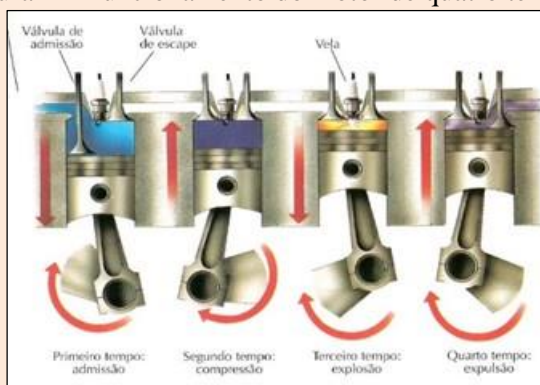
- expansão isotérmica de A até B, que ocorre quando o gás retira calor da fonte quente;
- expansão adiabática de B até C, sendo que o gás não troca calor;
- compressão isotérmica de C até D, pois o gás rejeita calor para a fonte fria;
- compressão adiabática de D para A, pois não ocorre troca de calor.

Com o surgimento da máquina a vapor, usando o fogo como fonte de energia, ocorreu o grande processo de industrialização que nos levou ao atual período tecnológico, como previa Júlio Verne em seu livro. Durante a viagem, Phileas Fog e seu mordomo Passepartout empregaram vários meios de transporte para a época, vapores, *railways*, carruagens, botes, embarcações de carga, trenós, elefante. Os progressos extraordinários eram citados ao longo da obra. Com o aperfeiçoamento dessas máquinas térmicas, surge uma evolução nos meios de transporte e nos equipamentos das indústrias. Sabemos que o motor do automóvel foi um desses avanços. Ele é composto de vários ciclos e, no interior de cada um, desloca-se um êmbolo móvel chamado pistão. A maioria dos carros brasileiros utiliza motores de quatro tempos.

No motor do automóvel a mistura ar-combustível entra no cilindro pela válvula de admissão. Pressionada pelo movimento do pistão e comprimida em um pequeno espaço, a mistura explode devido a uma faísca produzida pela vela. Com o aumento de pressão provocado pela expansão dos gases, o pistão é violentamente empurrado, ou seja, o gás resultante da combustão da mistura ar-combustível aplica uma força sobre o pistão, deslocando-o e, portanto, realizando trabalho. Como os pistões estão ligados a um eixo de manivelas (o virabrequim), o trabalho é convertido em movimento de rotação das rodas por meio do eixo de tração do automóvel. Assim a energia térmica é transformada em energia mecânica, o que define o carro como uma máquina térmica.

Os motores de combustão interna podem operar em ciclos de quatro tempos ou em ciclos de dois tempos. A maioria dos carros, caminhões e ônibus é de combustão interna, que completam um ciclo em quatro tempos: admissão, compressão, combustão e expansão, e descarga. Completando um ciclo a cada volta completa do virabrequim, conforme se observa na Figura 4.

Figura 4 – Funcionamento do motor de quatro tempos.



Fonte: GOOGLE. Imagens. *Motor 4 tempos*.

Disponível em: <<https://goo.gl/1QWhXF>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Prossegue-se lembrando que a Primeira Lei da Termodinâmica estabelece que a energia não pode ser criada nem destruída, trata-se da quantidade de energia. Na Segunda Lei da Termodinâmica, qualifica-se isso, acrescentando que a forma que a energia assume nas diversas transformações acaba se degradando em formas menos úteis de energia.

Refere-se à qualidade da energia, considerando que essa energia acaba se degenerando em dissipação, pois é através da Segunda Lei que chegamos ao conceito de entropia. Diz-se que a existência da ordem /desordem está relacionada com uma propriedade essencial da natureza conhecida como entropia. A entropia relaciona-se à característica intrínseca de todo e qualquer sistema, aumenta à medida que a desordem dos fenômenos aumenta. Pode-se converter energia ordenada em energia térmica, mas o contrário é mais difícil. Por exemplo, se queimarmos madeira (lenha), como combustível de uma locomotiva a vapor ou num barco a vapor presentes no livro de Verne, convertemos a energia química de ligação das moléculas em energia térmica das moléculas, mas recriar a madeira a partir da energia térmica das moléculas é impossível, embora esteja em concordância com a lei de conservação da energia.

A entropia geralmente associa-se ao "grau de desordem" de um sistema termodinâmico, e o trabalho pode ser totalmente convertido em calor, e conseqüentemente em energia térmica, mas a energia térmica não pode ser completamente convertida em trabalho, pois a Segunda Lei da Termodinâmica diz que a maioria dos processos na natureza é irreversível, o combustível queimado na fornalha da locomotiva, por exemplo, não pode ser recriado, máquinas isoladas não podem permanecer em movimento perpétuo, e assim por diante.

O domínio do fogo pelo homem foi primordial para a sobrevivência humana. Utilizando o fogo ao longo dos anos o homem produziu muitos instrumentos que foram sendo aperfeiçoados e instigaram o desenvolvimento da sociedade como um todo na indústria e nos meios de transporte, nos levando ao atual estágio tecnológico.

A Termodinâmica presente nesse contexto estabelece-se como um dos mais significativos ramos do conhecimento da Física, pois se aplica nas máquinas a vapor, usinas termoelétricas e nucleares, máquinas frigoríferas, e até aos automóveis mais modernos utilizados pelo homem. Sem dúvida o estudo da Termodinâmica despertou a curiosidade humana, contribuindo como uma mola propulsora ao progresso da sociedade contemporânea.

Fonte: OLIVEIRA, 2010.

APÊNDICE O - Questionamentos para auxiliar na reconciliação integradora

Questionamentos para auxiliar na reconciliação integradora.

Questão 1 - Com relação às máquinas térmicas e à Segunda Lei da Termodinâmica, analise as proposições a seguir. E comente cada uma delas estabelecendo relações com as imagens abaixo:



Fonte: GOOGLE. Imagens⁸.

I. Máquinas térmicas são dispositivos usados para converter energia mecânica em energia térmica com consequente realização de trabalho.

II. O enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica, proposto por Clausius, afirma que o calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente, a não ser forçado por um agente externo como é o caso do refrigerador.

III. É possível construir uma máquina térmica que, operando em transformações cíclicas, tenha como único efeito transformar completamente em trabalho a energia térmica de uma fonte quente.

IV. Nenhuma máquina térmica operando entre duas temperaturas fixadas pode ter rendimento maior que a máquina ideal de Carnot, operando entre essas mesmas temperaturas.

V. Os motores de combustão externa são aqueles onde a queima de combustível ocorre fora do motor. O motor de uma locomotiva a vapor é um exemplo típico. Nesse caso, a queima do combustível ocorre externamente para o aquecimento da caldeira, que produz o vapor que movimenta os pistões do motor.

⁸ Disponíveis em: <<https://goo.gl/s9wK4i>>, <<https://bit.ly/2zeQJ1V>>, <<https://bit.ly/2MRibot>>, <<https://bit.ly/2KAhYcA>>, <<https://bit.ly/2u9TDiR>> e <<https://bit.ly/2iTECCr>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

Questão 2 - Descreva e ilustre o funcionamento de um motor de quatro tempos.

Questão 3 - Você considera que os estudos sobre Termodinâmica contribuíram de alguma forma com o desenvolvimento da Revolução Industrial? Explique.

Questão 4 - É possível que uma locomotiva a vapor como a da figura abaixo consiga transformar em trabalho toda a energia que recebe? Explique em que você se baseou para dar sua resposta.



Fonte: GOOGLE. Imagens. *Locomotivas a vapor*.
Disponível em: <<https://goo.gl/bJPsdL>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

APÊNDICE P - Indagações referentes ao princípio do motor a vapor

Indagações referentes ao princípio do motor a vapor.

Questão 1 - Descreva o princípio de funcionamento do motor a vapor que você visualizou ao assistir o vídeo.

Questão 2 - Cite as partes que constituem o motor a vapor, responsável pelo funcionamento de uma locomotiva, observado no vídeo.

Questão 3 - Desenhe o que observou no vídeo, comentando as partes do desenho.

APÊNDICE Q - Questões da Entrevista Semiestruturada

QUESTÕES DA ENTREVISTA SEMIESTRUTURADA

1 - Você percebeu a diferença entre a metodologia aplicada e as metodologias utilizadas regularmente? Como? De que forma?

2 - Com esse material foi possível relacionar os conteúdos com seu cotidiano? De que forma? De algum exemplo.

3 - Avalie a utilização da leitura do livro A Volta ao Mundo em 80 Dias no processo de ensino? Te ajudou? Como?

4 - Vídeos, animações, textos, auxiliou no processo de aprendizagem Termodinâmica? Como?

5 - Quanto atividades, os exercícios, os mapas, o experimento, os desenhos e os textos produzidos como avaliaria? Conseguiu realizar com facilidade?

6 - Cite ou nomeie uma situação do cotidiano em que você possa aplicar os conteúdos abordados. De que forma?

7 - Qual sua opinião sobre integrar A Volta ao Mundo em 80 dias com o conteúdo de Termodinâmica? Te ajudou? Como?

PRODUTO EDUCACIONAL

O Produto Educacional encontra-se disponível nos endereços:

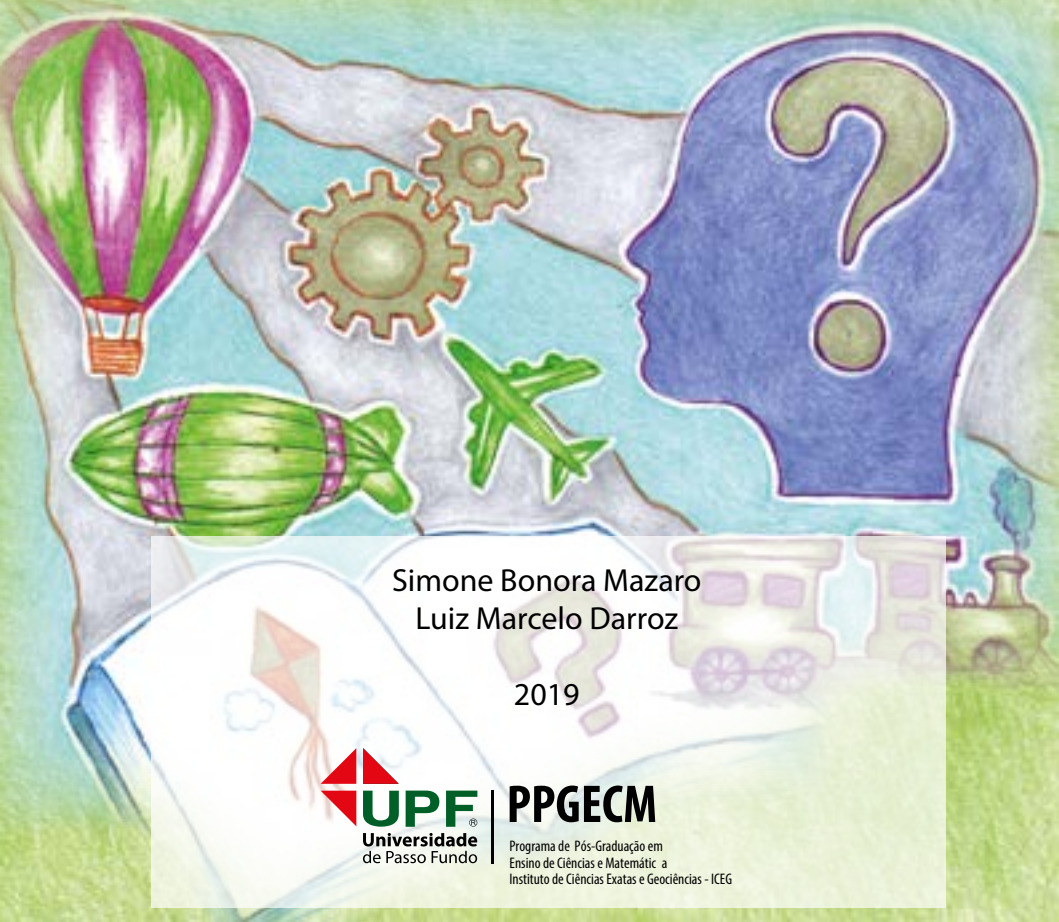
<http://docs.upf.br/download/ppgecm/Simone_PRODUTO.pdf>

<<https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/431761>>

UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE
CIÊNCIAS E MATEMÁTICA

PRODUTO EDUCACIONAL

***A VOLTA AO MUNDO EM OITENTA DIAS:
UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE
TERMODINÂMICA***



Simone Bonora Mazaro
Luiz Marcelo Darroz

2019

**UPF**
Universidade
de Passo Fundo

PPGECM

Programa de Pós-Graduação em
Ensino de Ciências e Matemática
Instituto de Ciências Exatas e Geociências - ICEG

Nossos colaboradores:

Sirlete Regina da Silva

Designer gráfico

Nathalia Sabino Ribas

Revisão de texto

Valdir dos Santos (Badu)

Ilustrações

CIP – Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

M475v Mazaro, Simone Bonora

A volta ao mundo em oitenta dias [recurso eletrônico]: uma aprendizagem significativa de termodinâmica / Simone Bonora Mazaro, Luiz Marcelo Darroz. – Passo Fundo: Ed. Universidade de Passo Fundo, 2019.

15 Mb ; PDF. – (Produtos Educacionais do PPGECM).

Inclui bibliografia.

ISSN 2595-3672

Modo de acesso gratuito: <<http://www.upf.br/ppgecm>>

Este material integra os estudos desenvolvidos junto ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática (PPGECM), na Universidade de Passo Fundo (UPF), sob orientação do Prof. Dr. Luiz Marcelo Darroz.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Termodinâmica. 3. Prática de ensino. 4. Aprendizagem. I. Darroz, Luiz Marcelo. II. Título. III. Série.

CDU: 372.853

Bibliotecária responsável Jucelei Rodrigues Domingues - CRB 10/1569



PRODUTO EDUCACIONAL

***A VOLTA AO MUNDO EM OITENTA DIAS:
UMA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DE
TERMODINÂMICA***



SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	7
A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA.....	9
<i>A VOLTA AO MUNDO EM 80 DIAS</i> , DE JÚLIO VERNE	13
PRIMEIRA ETAPA: PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA.....	17
SEGUNDA ETAPA DA SEQUÊNCIA: SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA.....	41
TERCEIRA ETAPA DA SEQUÊNCIA: MÁQUINAS TÉRMICAS.....	56
REFERÊNCIAS.....	71
SOBRE OS AUTORES.....	74



APRESENTAÇÃO

A educação é um processo universal de transformação do qual todos acabam fazendo parte, em maior ou menor grau, de acordo com o contexto em que estão inseridos. No âmbito do ensino de Física, o processo educacional deve partir da curiosidade, do interesse, da motivação dos estudantes em compreender os fenômenos físicos, ou, ainda, de estímulos externos que favoreçam uma aprendizagem significativa dos conceitos estudados.

Nesse sentido, o presente trabalho apresenta uma sequência didática para o ensino da Termodinâmica, destinada, especialmente, a professores de Física do ensino médio, fundamentada na Teoria da Aprendizagem Significativa (TAS), de David Ausubel, e estruturada com base na obra *A volta ao mundo em 80 dias*, de Júlio Verne.

Este produto educacional está vinculado à dissertação de mestrado intitulada *Aprendizagem significativa de termodinâmica a partir da leitura da obra A Volta ao Mundo em 80 Dias de Júlio Verne*, desenvolvida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, do Instituto de Ciências Exatas e Geociências, da Universidade de Passo Fundo, na linha de pesquisa Fundamentos Teórico-Methodológico para o Ensino de Ciências e Matemática.

A sequência divide-se em três etapas, nas quais são apresentadas situações capazes de relacionar os conhecimentos escolares com o contexto da história narrada por Verne e o mundo vivencial dos estudantes. Assim, a primeira etapa inicia pela identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre Termodinâmica, por meio de

um trabalho com o texto “Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais”, a fim de relacionar os assuntos estudados aos conceitos subsunçores para, mais tarde, trabalhar conceitos referentes à Primeira Lei da Termodinâmica. A segunda etapa busca desenvolver os conceitos da Segunda Lei da Termodinâmica, interpretando-os e relacionando-os com determinadas partes da obra literária. Finalmente, a terceira etapa envolve os conceitos de máquinas térmicas, proporcionando aos estudantes sua compreensão, embasada no texto “Da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade”.

Para atingir os objetivos propostos, este texto está organizado da seguinte forma: no próximo capítulo discutem-se resumidamente os pressupostos básicos da Teoria da Aprendizagem Significativa, de Ausubel; no segundo capítulo sintetiza-se a história do romance de ficção escrito por Júlio Verne, protagonizado pelo personagem Phileas Fogg; e na continuidade, em três capítulos, apresenta-se a sequência didática. Ao final, registram-se as referências citadas e consultadas para a elaboração deste material.

A TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA

David Paul Ausubel (Nova Iorque, 1918 – Nova Iorque, 2008) frequentou as Universidades de Pensilvânia e Middlesex, graduando-se em Psicologia e em Medicina, fez três residências em diferentes centros de psiquiatria e doutorou-se em Psicologia do Desenvolvimento pela Universidade de Columbia, na qual foi professor por muitos anos. Também atuou como professor nas Faculdades de Educação das Universidades de Illinois, Toronto, Berna, Munique e Salesiana de Roma. Aposentado, passou a dedicar-se à psiquiatria e, nos últimos anos de vida, à literatura.

Representante do cognitivismo, Ausubel defendia as melhorias necessárias ao verdadeiro aprendizado, ou seja, o aprendizado significativo. Do seu ponto de vista, a aprendizagem é um processo de armazenamento de informações e conhecimentos que são incorporados na estrutura cognitiva do aprendiz para serem utilizados quando necessário. Em outras palavras, trata-se da habilidade de organizar e utilizar o conhecimento.

A ideia central da TAS parte de identificar aquilo que o aprendiz já possui em sua estrutura cognitiva, podendo ser um conjunto de ideias ou conhecimentos que se processam de forma organizada nessa estrutura. Segundo ele (1980), para que a aprendizagem significativa ocorra, dois requisitos são importantes: o aprendiz deve querer aprender, e o material ou aula precisa ser potencialmente significativo. Além disso, esse material deve ativar os conceitos

subsunçores e interligar conhecimentos, dando ao aprendiz condições de transformar esse conhecimento de maneira significativa.

De acordo com a Teoria da Aprendizagem Significativa, uma nova informação se ancora em conceitos relevantes (subsunçores) já existentes na estrutura cognitiva do aprendiz. Ausubel destaca as estruturas cognitivas como estruturas hierárquicas de conceitos que correspondem a representações de experiências vivenciais do indivíduo. A ocorrência da aprendizagem significativa resulta na ampliação e modificação do conceito subsunçor. A partir de um conceito mais amplo que se direciona aos específicos, o conhecimento pode ser construído de modo a relacionar-se com novos conceitos, facilitando a compreensão das novas informações, o que dá significado real ao conhecimento adquirido.

Os organizadores prévios, segundo o teórico, consistem em informações e recursos introdutórios que devem ser apresentados aos estudantes antes dos conteúdos curriculares específicos, para servir de ponte entre o que eles já sabem e o que irão aprender de forma significativa. Esses organizadores são mais eficazes quando apresentados no início das atividades e têm por objetivo provocar o interesse e o desejo de aprender. Sua formulação deve primar por um vocabulário bastante familiar ao público a que se destinam, além de clareza e objetividade, a fim de que possam proporcionar a aprendizagem e seu valor pedagógico. Outra característica importante da TAS refere-se ao fato de que o material deve ser potencialmente significativo e relacionável com a estrutura cognitiva do estudante, que, por sua vez, precisa estar disposto a relacioná-lo a essa estrutura.



Ausubel estabelece, ainda, alguns princípios que considera facilitadores da aprendizagem significativa: a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora. A diferenciação progressiva representa as ideias mais gerais inclusivas da matéria, que devem ser apresentadas no início da atividade de ensino e, progressivamente, diferenciadas em termos de detalhes e especificidades. Ou seja, para ele, deve-se partir do amplo para o específico. Já a reconciliação integradora diz respeito à matéria de ensino propriamente dita, que, além de proporcionar a diferenciação progressiva, precisa explorar explicitamente relações entre conceitos e

preposições, destacar as diferenças e semelhanças e reconciliá-los. A reconciliação integradora representa, portanto, a relação entre conhecimentos, dando-lhes novos significados.

Na aprendizagem significativa, os novos conhecimentos vão se tornando significativos para o sujeito de modo progressivo. Por isso, a avaliação deve buscar evidências desse processo. Aprendizagem significativa implica compreensão. Portanto, a avaliação deve identificar indícios de compreensão, não de forma mecânica, “decorada” – que, muitas vezes, pode ser resultante dessa aprendizagem –, mas sim de forma reflexiva e dialogada, que possibilite perceber a diferenciação progressiva de conceitos adquiridos significativamente pelo estudante.

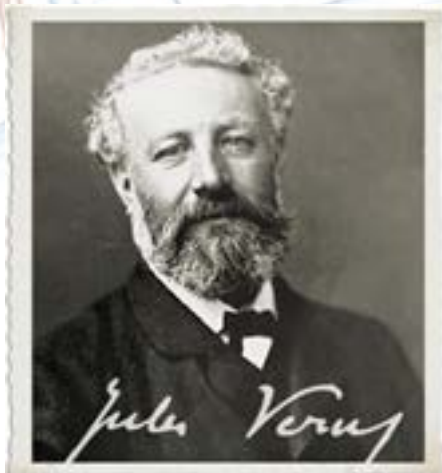
Para Ausubel, a aprendizagem significativa contrapõe fundamentalmente a aprendizagem mecânica. Enquanto na primeira o aprendiz consegue integrar um novo conhecimento com aquilo que já sabia e, assim, estabelecer conexões, na segunda ele recebe a informação, mas não interage, isto é, ele sabe o conteúdo de um único modo. Destaca-se, porém, que as duas formas constituem uma contínua, pois quando o aprendiz não traz em sua estrutura cognitiva determinado conhecimento, ele aprende primeiramente de forma mecânica, e criam-se conceitos subsunçores, ou seja, organizadores prévios, para, após, poderem se relacionar com o novo conhecimento.

Segundo Ausubel, na TAS, é muito importante o papel do professor, que precisa preparar bem o material e ter clareza do que deve ensinar e do que deve saber, além de auxiliar o estudante a assimilar o conteúdo e organizar a sua própria estrutura de ensino cognitivo. Ainda, cabe-lhe motivar o aprendiz para querer aprender através do material potencialmente significativo, com histórias, vídeos, jogos, pesquisas, reflexões, levando-o a sair do estado passivo para o ativo.

A VOLTA AO MUNDO EM 80 DIAS, DE JÚLIO VERNE

Júlio Verne nasceu em Nantes, na França, em 8 de fevereiro de 1828. Precursor da ficção científica e escritor, dedicou a maior parte de sua obra à chamada “literatura de antecipação”, ou seja, de ficção científica, e aos romances de aventura, nos quais mostra como compreendeu o mundo em que vivia e os progressos nos meios de transporte e de comunicação.

Figura 1 – O escritor Júlio Verne.



Fonte: Biblioteca Júlio Verne. Disponível em: <<https://goo.gl/FFz6x6>>. Acesso em: 30 maio 2018.

A volta ao mundo em 80 dias, publicado em 1872, é um dos seus livros mais famosos. Esse romance de ficção científica insere-se no contexto da revolução industrial, que iria mudar as condições econômicas e sociais do século XIX, e

revela uma sociedade em pleno vapor, nos quais são nítidos os sinais de globalização.

Em 1872, Phileas Fogg, inglês metódico e distinto, membro do famoso Reform Club de Londres, faz uma aposta, no valor de 20 mil libras, em que se compromete a dar a volta ao mundo em 80 dias, ainda que, em sua época, realizar tal feito fosse praticamente impossível. Acompanhado de seu mordomo, Passepartout, e seguido pelo detetive Fix, da polícia londrina, que o julga como o ladrão do Banco de Londres, o destemido protagonista vivencia diversas aventuras pelo globo terrestre.

Mesmo não tendo saído por muitos anos da capital britânica, Fogg demonstra conhecer todos os trajetos dessa viagem. Junto com Passepartout, parte de Londres no primeiro trem. Durante a viagem, andam em muitos meios de transporte, como trens, navios a vapor e trenós à vela. Os três personagens passam por Suez, Bombaim, Calcultá, Hong Kong, Yokohama, São Francisco e Nova York.

No entanto, quase ao final da viagem, surge um imprevisto que absolutamente pode pôr tudo a perder:

Depois de ter percorrido quase todo o percurso com afinco, ter rompido muitos obstáculos, enfrentando diversos perigos, ter encontrado tempo para fazer algo de bom nesta viagem, conhecer Auda, perder todo este esforço seria um fato brutal, que ele não poderia ter previsto, e contra o qual estava desarmado: isso seria terrível. (2001, p. 36-37)

Fogg perde o trem e viaja de trenó à vela até a estação mais próxima. Os personagens partem para Nova York, e, lá chegando, descobrem que o navio China já havia partido para Liverpool. No dia seguinte, ele contrata o navio Henrietta, mas o capitão não concorda em desviar a rota

para deixá-lo em Liverpool. Fogg embarca mesmo assim e, no meio do percurso, tranca o capitão no compartimento, assumindo o seu lugar. Alguns dias antes de chegarem ao destino, o carvão acaba, e, para garantir a continuidade da viagem, partes de madeira do Henrietta são queimadas para servir de combustível. Fogg devolve o casco do navio ao capitão, acalmando-o.

Quando chegam a Liverpool, o apostador é preso pelo detetive Fix, que o liberta após se dar conta do lamentável equívoco. Como esse episódio atrasa a viagem, Fogg aluga um trem ultrarrápido, opção que se revela inútil, pois a chegada a Londres se dá com cinco minutos de atraso. Isso o deixa muito desapontado, pois, em vista disso, a aposta estaria perdida.

À noite, Fogg pede Auda em casamento. São 20h5min, e Passepartout vai até a paróquia chamar o reverendo para realizar a cerimônia. Às 20h25min, os cavalheiros do Reform Club estão reunidos no salão, já considerando ganha a aposta. As ruas próximas ao Club estão tomadas de gente. E qual não é a surpresa de todos quando, pontualmente, às 20h45min, Phileas Fogg entra no salão? Sim, ele havia sido o ganhador.

Como? Quando o mordomo foi à igreja, descobriu que ele e Fogg haviam desembarcado em Londres com um dia de antecedência. Assim, voltou correndo e avisou o patrão, que conseguiu chegar em tempo de ganhar a aposta.

É possível um homem como Fogg se enganar tanto? A explicação é simples: dando a volta ao mundo pelo leste, Fogg ganhou um dia. De fato, os dias diminuem à razão de quatro minutos por meridiano quando se vai ao encontro do Sol.

Então, na verdade, Fogg provou que é possível dar a volta ao mundo em 79 dias, e não em 80 dias como havia apostado.

Ao longo da sequência didática, foram utilizadas diferentes traduções da obra de Júlio Verne, optando-se por livros ilustrados, em quadrinhos e com escrita simplificada, adaptações que consideram a faixa etária e os interesses dos estudantes.

PRIMEIRA ETAPA: PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA

A primeira etapa tem como objetivo analisar a relação entre as variáveis termodinâmicas calor, trabalho e energia interna, em uma transformação gasosa, e aplicá-las à Primeira Lei da Termodinâmica. O tempo estimado para a sua aplicação é de oito períodos de cinquenta minutos cada.

Professor, antes de iniciar esta etapa, é interessante que os alunos leiam a obra *A volta ao mundo em 80 dias*.

Buscando evidenciar o que os estudantes conhecem sobre o tema e identificar os conceitos subsunçores, o primeiro passo consiste em estabelecer um diálogo em que o professor os instigue a construir individualmente um texto que expresse seus conhecimentos prévios sobre Termodinâmica. Para facilitar essa atividade, distribui-se uma folha contendo indagações voltadas a nortear e auxiliar os estudantes na elaboração do texto (Quadro 1).

Quadro 1 – Questões para auxiliar na construção do texto que busca identificar os conceitos subsunçores.

- Questão 1 – Você sabe dizer onde é possível perceber a existência de energia?
- Questão 2 – É possível converter um tipo de energia em outro? Explique.
- Questão 3 – Como funciona o motor de um carro?
- Questão 4 – Para funcionar, um motor à gasolina transforma energia? De que forma?
- Questão 5 – Existem outros motores como o motor à gasolina? Quais? Como funcionam?

A identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes por meio do texto é seguida da organização da turma em pequenos grupos para assistirem ao trailer do filme *A volta ao mundo em 80 dias*.¹ Nas cenas desse trailer, que tem duração de 1min35s, são apresentados alguns meios de transporte da época. Logo, a sua exibição visa estabelecer a ligação entre os conceitos subsunçores evidenciados anteriormente e os conteúdos propostos para o momento. Após assistirem ao trailer, os estudantes devem, ainda nos grupos, discutir suas ideias em relação ao tema, para em seguida socializar seu entendimento entre todos os colegas.

Professor, assistir ao trailer do filme antes de discutir e identificar conceitos é uma boa dica.

Na intenção de relacionar os assuntos estudados aos conceitos subsunçores, distribui-se para os estudantes o texto “Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais?” (Quadro 2).

Quadro 2 – Texto selecionado para relacionar os assuntos estudados aos conceitos subsunçores.

Continua

Como seria dar a volta ao mundo nos dias atuais?



Fonte: GOOGLE. Imagens. A volta ao mundo nos dias atuais. Disponível em: <<https://goo.gl/ohWpcq>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

A obra conta que, em 1872, um refinado cavalheiro inglês, cuja vida era conduzida de forma correta, dentro de horários programados, fez uma aposta com seus companheiros do grande e exclusivo Reform Club, em que afirmou ser possível dar a volta ao mundo em 80 dias, em troca de vinte mil libras (cerca de três milhões de reais), mas estava mais preocupado em manter sua palavra. Phileas Fogg partiu mundo afora com seu recém-contratado mordomo, Passepartout.

¹ Disponível em: <<https://goo.gl/Du8zjs>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

Conclusão

Essa história foi escrita por Júlio Verne em *A volta ao mundo em 80 dias*. Esse livro pode ser o precursor da vontade de se aventurar pelo globo terrestre. Os personagens vivem diversas aventuras e muitas vezes precisam improvisar vários meios de transporte, como trens a vapor, navio a vapor, trenó à vela, entre outras, percorrendo um trajeto de quase nove mil quilômetros.

Atualmente o mesmo trajeto levaria cerca de seis dias, ou menos tempo ainda. Com os avanços tecnológicos e a evolução dos meios de transporte desde a primeira Revolução Industrial, isso se tornou uma realidade.

Outra curiosidade que podemos citar sobre o livro é que, já em 1872, as pessoas achavam que o mundo havia ficado menor, isto é, que as distâncias eram percorridas em menos tempo, graças à evolução dos meios de transporte e da tecnologia. De fato, isso fez com que diminuísse bastante o tempo de percurso a longas distâncias.

Pode ser que as futuras gerações, daqui a alguns anos, digam que, em 2018, as pessoas levavam muito tempo para ir à escola, ao trabalho naqueles carros lentos movidos à gasolina, da mesma forma que tinham paciência para viajar várias horas em aviões. Como serão os meios de transporte do futuro?

A sociedade atual, suas indústrias e as novas tecnologias vêm produzindo inúmeros efeitos sobre a humanidade e o meio ambiente, com a emissão de gases poluentes produzidos por usinas termoeletricas, automóveis e fábricas. Um dos principais causadores desses gases é o motor de combustão interna, que queima combustíveis para alimentá-lo e gera gases na emissão do escape.

Esses dispositivos são capazes de converter energia térmica em energia mecânica, sendo utilizados principalmente nos meios de transporte e na indústria. Podemos citar como exemplos a máquina a vapor, a turbina a vapor, os veículos automotores, a geladeira, o ar-condicionado. A liberação de energia pode ser usada para promover calor quando um combustível queima em um motor, produzindo trabalho mecânico. É impossível imaginarmos nossa vida sem esses dispositivos, que a cada dia estão sendo aprimorados.

Do motor do automóvel à panela de pressão, a Termodinâmica está presente em muitos fenômenos do dia a dia. Desde as antigas máquinas a vapor, fundamentais para a Revolução Industrial ocorrida na Inglaterra em meados do século XVIII, os estudos da Termodinâmica possibilitaram a análise dos fenômenos e das propriedades da matéria em condições específicas de variações macroscópicas e microscópicas, incluindo a mudança de temperatura, calor e pressão de um conjunto de partículas.

Hoje em dia a Termodinâmica é aplicada desde as máquinas térmicas à meteorologia, com a medição de temperatura, pressão, umidade relativa do ar, nos automóveis, nas turbinas de aviões, nas usinas termoeletricas que se utilizam do calor produzido pela fissão atômica. Enfim, está presente em várias situações do cotidiano.

Fonte: PIMENTEL, 2013.

Após a leitura, solicita-se aos estudantes que grifem, no próprio texto, os conceitos termodinâmicos. Tendo como ponto de partida os conceitos destacados e visando estabelecer a diferenciação progressiva, os conceitos passam a ser trabalhados a partir de algumas situações problemas que envolvem a Termodinâmica.

Para dar início ao conteúdo de trabalho em uma transformação gasosa, propõe-se aos estudantes que, em grupos, assistam a um vídeo² envolvendo conhecimentos físicos sobre o tópico. Espera-se que eles compreendam a expansão e a compressão realizadas pelo gás, assim como o funcionamento de um pistão. Encerrado o vídeo, abre-se espaço para discussões, a fim de identificar o que os estudantes já sabem sobre o conceito de trabalho.

Professor, aqui pode ser útil fornecer uma explicação sobre os pistões que são usados em diversas situações descritas na história e em muitas aplicações mecânicas ao nosso redor, como, por exemplo, no funcionamento de um motor à gasolina.

A discussão pode ser facilitada por meio de alguns questionamentos, como, por exemplo: o que foi possível observar no vídeo? Você conseguiria explicar quais conceitos físicos estão envolvidos?

É importante que o professor não esclareça as questões neste momento, somente instigue a discussão, que irá culminar com a socialização das respostas entre os próprios colegas. Depois dessa reflexão, insere-se a linguagem matemática referente ao conceito de trabalho em uma transformação gasosa. Para isso, é necessário que os estudantes percebam que o aumento da temperatura causa um aumento da pressão interna, levando à variação do volume

² SIERRA, 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/i6BZzZ>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

do gás (ΔV) e resultando no deslocamento do êmbolo. Esse deslocamento empurra o êmbolo até igualar a pressão externa.

Força e deslocamento estão diretamente relacionados à realização de trabalho mecânico. A grandeza escalar trabalho ($\Delta \tau$) é definida como o produto escalar entre os vetores força e o deslocamento resultante devido à força F e constante aplicada num trecho ΔS . O trabalho pode ser calculado por meio da expressão:

$$\tau = F \cdot \Delta S \cdot \cos \alpha$$

onde F é a força constante medida em newtons, ΔS é o deslocamento medido em metros, τ é o trabalho medido em joules, e α é o ângulo entre a direção da força aplicada e o deslocamento considerado.

Essa expressão pode ser escrita nos termos das grandezas pressão e volume, que estão associadas às transformações gasosas. Como a expressão p é obtida pela razão entre o módulo da força F e a área A , ou seja,

$$p = \frac{F}{A}$$

o módulo da força F pode ser obtido pelo produto da pressão p pela área A :

$$F = p \cdot A$$

Professor, nesta parte é recomendável estabelecer relações entre os conceitos subseqüentes e os conteúdos relativos a trabalho, energia interna, aplicações da Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica, máquinas térmicas e outros que já fazem parte da estrutura cognitiva do estudante.

Considerando que $\alpha = 0^\circ$, uma vez que a força e o deslocamento têm a mesma direção e sentido, e que o produto $A \cdot \Delta S$ é equivalente a ΔV , tem-se:

$$\tau = F \Delta S \cos \alpha \Rightarrow \tau = p \cdot A \cdot \Delta S \cdot \cos 0^\circ \Rightarrow \tau = p \cdot \Delta V$$

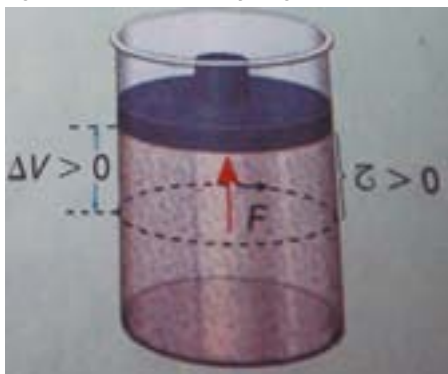
A expressão

$$\tau = p \cdot \Delta V = p \cdot (V_f - V_0)$$

permite calcular o trabalho realizado em transformações gasosas, em que a pressão do gás é mantida constante. A análise deve levar os estudantes a observarem que:

- havendo aumento do volume do gás, como em uma expansão isobárica, então $\Delta V > 0$ e, conseqüentemente, o trabalho será motor ($\tau > 0$), isto é, realizado pelo gás sobre o pistão e sobre o meio externo (Figura 2);

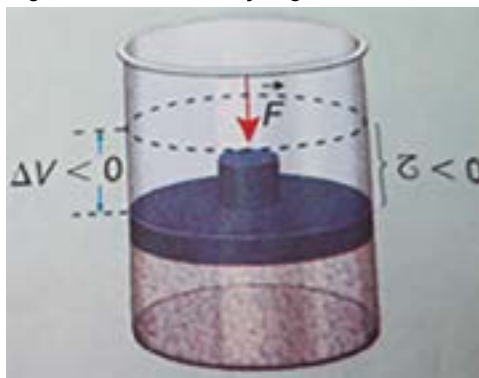
Figura 2 – Transformação gasosa.



Fonte: MARTINI et al., 2016, p. 107.

- havendo redução no volume ocupado pelo gás no recipiente, como em uma compressão isobárica, então $\Delta V < 0$ e, assim, o trabalho será resistente ($\tau < 0$), isto é, realizado sobre o gás, ou seja, o meio externo realizará trabalho sobre o gás (Figura 3).

Figura 3 – Transformação gasosa.



Fonte: MARTINI et al., 2016, p. 107.

Nesta parte, para promover a reconciliação integradora dos conceitos, é necessário comentar com os estudantes que, no trabalho realizado pelo gás, há uma energia que é transferida do gás para o meio externo e, portanto, é perdida por ele, e que, no caso do trabalho realizado sobre o gás, há uma entrada de energia no sistema proveniente do meio externo. A intenção é que os estudantes compreendam que a parte inferior do pistão pode se mover para cima e para baixo à medida que a pressão dentro do pistão muda, conforme visualizado no vídeo.

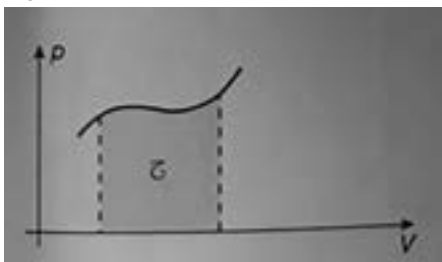
A reconciliação integradora é fortalecida com base no resgate, feito pelo professor, sobre o funcionamento do motor da locomotiva da história de Júlio Verne: o vapor pressurizado gerado na caldeira segue até a câmara da válvu-

la, onde é direcionado pelo espaço livre até o pistão, sendo empurrado até a outra extremidade de sua câmara. O movimento do pistão faz a roda girar sobre seu eixo. A roda movimenta a válvula, mudando o curso do vapor pressurizado e do vapor despressurizado. O pistão retorna ao ponto inicial empurrado pelo vapor pressurizado, porém pelo lado contrário. E assim o ciclo continua movendo a locomotiva enquanto houver vapor para alimentar o motor.

A partir do resgate da cena da história e da compreensão do fato que move a locomotiva, passa-se a construir com os estudantes o entendimento de que, quando se aquece o gás, ele adiciona energia às suas moléculas. Pode-se observar o aumento de energia cinética média das moléculas medindo o aumento de temperatura. À medida que as moléculas se movem mais rapidamente, elas também colidem com o pistão com maior frequência. As colisões cada vez mais frequentes transferem energia para o pistão e o movem contra uma pressão externa, aumentando o volume geral do gás. Nesse exemplo, o gás realizou trabalho sobre o meio exterior, que corresponde ao pistão e ao meio.

A expressão $\tau = p.\Delta V = p.(V_f - V_0)$ só pode ser aplicada se a pressão p for constante. No caso de pressões variáveis, o trabalho realizado na transformação gasosa pode ser obtido calculando a área da curva sob o gráfico da pressão p em função do volume V em um plano p em função de V . Caso ocorra uma compressão, é preciso lembrar que o trabalho é negativo ($\tau < 0$).

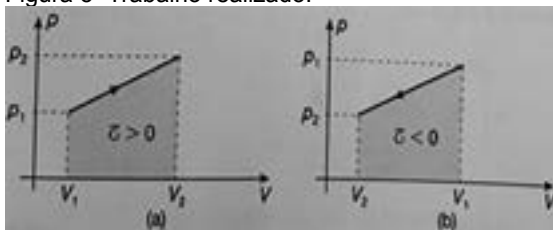
Figura 4 – Trabalho realizado.



Fonte: MARTINI et al., 2016, p. 108.

Professor, lembre-se que, nas transformações em que a pressão é variável, o trabalho pode ser calculado determinando-se a área sob a curva em um gráfico $p \times V$.

Figura 5- Trabalho realizado.



Fonte: MARTINI et al., 2016, p. 108.

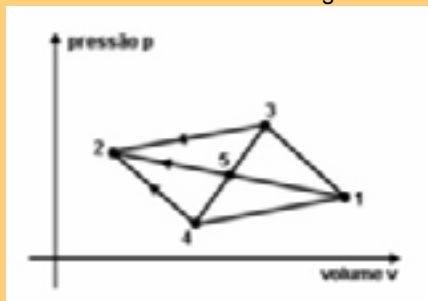
No gráfico (a), o trabalho é realizado pelo gás sobre o meio externo ($\tau > 0$).

No gráfico (b), o trabalho é realizado pelo meio externo sobre o gás ($\tau < 0$).

Na continuidade desta etapa, recomenda-se que os estudantes resolvam algumas situações problemas, para auxiliar no estabelecimento da reconciliação integradora dos conceitos estudados até o momento. Como sugestão, indicam-se as questões contidas no Quadro 3.

Quadro 3 – Questões para promover a reconciliação integradora.

Questão 1 - Um sistema pode seguir por diferentes caminhos durante a transformação gasosa de um estado termodinâmico (1) a um estado (2), como nas locomotivas e barcos a vapor citados no livro. Na figura, estão representados, em um diagrama, pressão por volume, alguns desses trajetos para determinar massa gasosa.



Professor, aproveite para discutir a relação entre o aumento da temperatura e a energia interna do gás dentro do sistema, relacionando-os com a velocidade média das moléculas do gás.

Em qual dos seguintes trajetos:

- 1 → 3 → 2
- 1 → 4 → 2
- 1 → 3 → 4 → 2
- 1 → 5 → 2
- 1 → 3 → 5 → 4 → 2

o trabalho realizado sobre o gás:

a) é máximo?

b) é mínimo? Por quê? →

Questão 2 - Por que o ar no interior de uma bomba usada para encher bolas ou pneus de bicicleta se aquece durante o processo de calibração desses objetos? Poderíamos relacionar esse processo com o funcionamento da locomotiva presente no livro?

Gabarito:

Questão 1

- a) O trabalho será máximo quando a área for máxima, ou seja, durante o trajeto 1-3-2.
- b) O trabalho mínimo que será realizado sobre o gás é referente ao processo 1-4-2, pois é o trajeto de menor área.

Questão 2

Nas transformações adiabáticas, realiza-se trabalho sobre o gás, diminuindo seu volume. O sistema aproveita a energia interna transferida, aumentando a sua energia interna e a pressão. Essa ação externa é responsável pelo aumento de energia e temperatura. Já no funcionamento das locomotivas, é o contrário: o gás realiza trabalho sobre o meio externo.

Seguindo esta etapa, para integrar os conceitos de energia interna aos já existentes na estrutura cognitiva dos estudantes, apresentam-se alguns questionamentos, a exemplo de: dentro do gás existe energia? Quais os tipos de energia você considera que existe dentro de um gás? O que leva as moléculas a se agitarem mais? Essa agitação proporciona um deslocamento do pistão. Deslocamento significa que tipo de movimento?

A partir das respostas dos estudantes, visando estabelecer a diferenciação progressiva, discute-se com a turma que a energia interna de um sistema (U) é resultante da soma de várias energias, entre as quais, as energias de translação, de rotação e de vibração de suas moléculas. Porém, existe, ainda, outra parcela dessa energia interna, que é a das partículas intra-atômicas. Nessa direção, é importante esclarecer aos estudantes que há, também, a energia potencial associada às forças internas conservativas de suas partículas e, por fim, a energia cinética associada à agitação térmica de suas moléculas.

Com isso, o professor pode dialogar com os estudantes, levando-os a compreender que, conforme a teoria cinética dos gases, todos os gases têm a mesma energia cinética média por molécula desde que estejam à mesma temperatura.

Figura 6 - Energia interna de um sistema



Fonte: ENERGIA interna (U ou E). Disponível em: <<https://bit.ly/2QZM1tT>>. Acesso em: 07 out. 2018.

Isso compreendido, acrescenta-se aos estudantes que essa energia é calculada por meio da expressão:

$$E_c = \frac{3nRT}{2}$$

em que n é o número de mols do sistema gasoso, R é a constante universal dos gases, e T é a temperatura absoluta do sistema.

Como consequência do estudo realizado, os estudantes devem conseguir compreender que se pode, também, determinar a variação da energia interna (ΔU) em uma transformação gasosa calculando a diferença entre as energias cinéticas médias de seus estados final e inicial, e concluir que:

$$\Delta U = E_{cf} - E_{ci} = \frac{3nRT_f}{2} - \frac{3nRT_i}{2} = \frac{3nR\Delta T}{2}$$

Com tudo isso, torna-se possível estabelecer um diálogo que conduza os estudantes à construção da compreensão de que a teoria cinética dos gases também pode ser expressa por meio da expressão da Lei de Joule para os gases ideais. Segundo essa lei, a variação da energia interna de determinada massa gasosa é função única e exclusiva de sua temperatura absoluta.

Assim, existem as seguintes situações possíveis em uma transformação gasosa:

- se a temperatura absoluta aumentar, então $\Delta U > 0$;
- se a temperatura absoluta diminuir, então $\Delta U < 0$;
- se não houver variação de temperatura absoluta, então $\Delta U = 0$, ou seja, não ocorrerá variação da energia interna de uma transformação gasosa.

Prosseguindo nesta etapa, os estudantes são convidados a assistir a um pequeno trecho do filme *A volta ao mundo em 80 dias*,³ para promover outro espaço que favoreça a diferenciação progressiva dos conceitos estudados. Após a visualização do trecho, a intenção é instigá-los a refletir sobre o que assistiram. Para isso, sugere-se o conjunto de questões contidas no Quadro 4.

Professor, é importante lembrar aos estudantes que, em uma transformação gasosa, o trabalho depende dos estágios entre os estados iniciais e finais, o que não ocorre com a grandeza variação de energia interna (ΔU). A teoria cinética depende apenas das temperaturas inicial e final da massa de gás considerada, e não dos estágios intermediários por que passa o gás durante a transformação.



³ VOLTA AO MUNDO EM 80 DIAS (Around the World in 80 Days). Disponível em: <<https://goo.gl/ZTQCd2>>. Acesso em: 28 maio 2018.

Quadro 4 – Questões para direcionar a reflexão.

Questão 1 - Que conceitos estão envolvidos nesta cena?



Fonte: GOOGLE. Imagens. Volta ao mundo em 80 dias – cenas do filme. Disponível em: <<https://goo.gl/7BySY2>>. Acesso em: 19 maio 2018.

Questão 2 - É possível relacionar conceitos estudados até o momento com os vistos na cena?

Questão 3 - Conseguimos compreender todos os conceitos envolvidos na cena?

Depois de os estudantes refletirem sobre os questionamentos no grande grupo, o professor pode definir a Primeira Lei da Termodinâmica, retomando a Lei da Conservação de Energia, discutida anteriormente, como sendo uma das leis fundamentais da Física e que pode ser enunciada da seguinte maneira:

A energia não pode ser criada nem destruída;
pode apenas ser transformada de uma forma em outra,
e sua quantidade total permanece constante.

Considerando esse princípio de conservação, é necessário que os estudantes percebam que, se dois sistemas estiverem em contato e isolados de outros sistemas, uma forma de energia poderá ser transformada em outra, e se a energia de um diminuir, a de outro terá de aumentar. Nos processos que podem ser considerados reversíveis, a energia final pode ser convertida em energia inicial do processo. No

Professor, reforçe com os estudantes que a Primeira Lei da Termodinâmica expressa o princípio de conservação de energia de um sistema, considerando três formas diferentes de energia: o trabalho mecânico, a variação de energia e o calor.

entanto, a maior parte ou a totalidade dos processos espontâneos são irreversíveis. Nesses processos, ocorre a transformação de uma forma de energia em outra que não pode mais ser reconvertida à forma inicial.

Para exemplificar os conceitos estudados, retoma-se a cena do filme em que aparece o carro movido a vapor, o qual se desloca devido ao funcionamento da caldeira, pois a água aquece e se transforma em vapor, que leva os pistões a se moverem, realizando trabalho e fazendo o carro sair do lugar.

A partir da situação descrita, cabe explicar aos estudantes que, na cena, houve balanço energético e, consequentemente, variação da energia interna do sistema e realização de trabalho. A variação de energia interna pode ser observada, na situação descrita, com o aumento de temperatura do recipiente e seu conteúdo e a realização de trabalho. Ou seja, há uma relação entre o trabalho realizado e a diferença entre calor recebido e a variação de energia interna do sistema. Assim, pode-se concluir com os estudantes que essa relação é a base da Primeira Lei da Termodinâmica, que pode ser enunciada da seguinte forma:

Professor, outro exemplo que pode ser citado é o funcionamento de uma panela de pressão usada na cozinha de casa. A chama do fogão troca calor com a panela. Por condução, a panela aquece a água, e, por convecção, a camada de água mais próxima do fundo da panela aquece o restante de água contida no recipiente. A temperatura no interior da panela aumenta e, desse modo, ocorre variação da energia interna do conteúdo desse recipiente. A água entra em ebulição, e o vapor de água formado nesse aquecimento sob pressão escapa pela válvula da tampa. No deslocamento vertical do pino, ocorre trabalho mecânico. Observe que, após esse deslocamento vertical, a dissipação de energia se dá em forma de calor levado pelo vapor para o meio externo.

A variação de energia interna (ΔU) de um sistema é resultante da diferença entre a quantidade de calor (Q) trocada com o meio externo e o trabalho (τ) realizado no processo termodinâmico, ou seja:

$$\Delta U = Q - \tau$$

Como a Primeira Lei da Termodinâmica se aplica a muitos processos termodinâmicos, visando estabelecer a reconciliação integradora dos conceitos relacionados a essa lei, o professor deve analisar e discutir os dados contidos no Quadro 5.

Professor, que tal solicitar que os estudantes busquem descobrir o significado dos tipos de transformações termodinâmicas contidas no quadro?

Quadro 5 – Comportamento das diferentes transformações termodinâmicas.

Transformação gasosa	Descrição	Primeira Lei da Termodinâmica	Exemplos relacionados
Isotérmica	A transformação ocorre com a temperatura constante. $\Delta U = 0$	$Q = \tau$ Todo calor fornecido ao sistema é integralmente transformado em trabalho.	O movimento do êmbolo de um pistão.
Isométrica	A transformação ocorre com o volume constante. $\tau = 0$	$Q = \Delta U$ Todo calor fornecido ao sistema é integralmente transformado em energia interna.	Na bomba de um motor a vapor, a água é comprimida, aumentando sua pressão até se igualar à pressão da caldeira.
Isobárica	A transformação ocorre com a pressão constante.	$Q = \tau + \Delta U$ Uma parte do calor fornecido ao sistema será transformado em trabalho, e o restante, em energia interna.	A água na caldeira vaporiza-se sob pressão constante, aumentando seu volume.
Adiabática	Não há trocas de calor entre o sistema termodinâmico e o meio externo. $Q = 0$	$\tau = -\Delta U$ Todo trabalho recebido ou realizado é convertido em energia interna do próprio gás.	Nas turbinas usadas nos barcos a vapor, o vapor se expande e realiza trabalho fazendo as hélices girarem. O vapor e as hélices estão na mesma temperatura e a transformação é rápida não ocorrendo trocas de calor.

Fonte: adaptado de MARTINI et al., 2016, p. 113-115.

Para fortalecer a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora dos conceitos estudados até o momento, propõe-se aos estudantes que respondam em duplas às questões disponíveis no Quadro 6.

Quadro 6 – Questões.

Questão 1 - De acordo com os conceitos estudados até o momento, as transformações de energia que ocorrem no funcionamento do motor de uma locomotiva a vapor como a descrita por Júlio Verne, discuta o que está contido nas seguintes afirmações:



Fonte: GOOGLE. Imagens. Locomotivas a vapor.
Disponível em: <<https://goo.gl/s9wK4i>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

- A força expansiva do vapor, que é uma energia térmica, convenientemente aproveitada, pode transformar-se em energia mecânica ou de movimento e ser empregada nas máquinas a vapor como força motriz.
- A conversão integral de calor em trabalho é impossível.
- A transformação de energia térmica em cinética é impossível.
- A locomotiva a vapor e um conjunto de elementos mecânicos têm por objetivo transformar a energia calorífica dos combustíveis em energias mecânicas, transmitir o movimento resultante dos êmbolos aos eixos motrizes e, finalmente, transformar esse movimento retilíneo alternado em circular contínuo para as rodas.

Questão 2 - Quem fornece a energia interna para o vapor de água em uma locomotiva a vapor como a da figura da Questão 1?

Gabarito:

Questão 1

Comentários sobre as alternativas:

- O princípio de funcionamento de uma máquina a vapor é a transformação de energia térmica em energia mecânica, utilizando a expansão do vapor da água, e parte dessa energia em força motriz.
- Em uma máquina térmica como a locomotiva da figura, a fonte quente é a caldeira, e a fonte fria é o ar atmosférico; o calor retirado da caldeira é parcialmente transformado em trabalho motor, que aciona a máquina, e a diferença é rejeitada para a atmosfera.
- É possível, pois em uma locomotiva a vapor o calor retirado da caldeira é transformado parcialmente em trabalho motor, neste caso, movendo a locomotiva.
- Sim, para ocorrer o funcionamento da locomotiva a vapor é necessário um conjunto de elementos mecânicos, resultando num movimento retilíneo alternado em circular contínuo para as rodas.

Questão 2

Pode ser o carvão ou a lenha quando queimados.

Para finalizar esta etapa, buscando promover o processo de assimilação dos conceitos estudados e identificar indícios ou evidências de aprendizagem significativa, sugere-se o desenvolvimento de uma atividade experimental, proposta por Mazaro e Darroz (2017), na qual os estudantes devem construir um barco a vapor (Quadro 7). Essa atividade tem como principal objetivo abordar os conceitos estudados sobre a Primeira Lei da Termodinâmica. Para tal, apresenta a construção de um experimento simples e de baixo custo, que simula o funcionamento de um barco a vapor.

Espera-se, com a proposta, proporcionar aos estudantes momentos de reflexão e discussão, levando-os à compreensão dos conceitos sobre o tema, pois as atividades experimentais são consideradas fundamentais para a construção do conhecimento em ciências.

Quadro 7 – A atividade experimental.

Antes de iniciar a atividade experimental, sugere-se que os estudantes sejam divididos em grupos de três ou quatro componentes. A primeira parte da atividade consiste em uma análise, por parte dos grupos, de duas figuras que contêm imagens de máquinas a vapor.

Figura 1 – Locomotiva a vapor



Fonte: GOOGLE. Imagens. Locomotivas a vapor.
Disponível em: <<https://bit.ly/2MStQU5>>.
Acesso em: 5 jul. 2018.

Figura 2 – Navio a vapor



Fonte: GOOGLE. Imagens. Navio a vapor.
Disponível em: <<https://bit.ly/2ufcmJZ>>.
Acesso em: 5 jul. 2018.

Após a observação das imagens, solicita-se aos estudantes que, em grupo, construam o equipamento da atividade proposta, um barco a vapor feito de materiais alternativos e de baixo custo:

- uma bandeja de isopor;
- uma lata de alumínio de 300 ml;
- dois canudinhos;
- uma vela de bolo de aniversário cortada ao meio;
- dois tubos de cola epoxi;
- uma pistola de cola quente;
- um estilete;
- uma tesoura;
- um alicate;
- uma caneta de escrever em CD;
- um rolo de fita crepe;
- um acendedor tipo isqueiro;
- um pedaço de tábua com 25 cm de comprimento, 8 cm de largura e 2,5 cm de espessura;
- dois atilhos (borrachas de dinheiro);
- uma folha contendo um molde com as medidas para as dobras do alumínio, um molde para confeccionar o triângulo para a dobra dos canudos e um molde com as medidas da placa de isopor com o modelo do barco proposto por Thenório (2012);
- um recipiente com água.

De posse dos materiais, inicia-se a construção do barquinho a vapor.

Para começar, recortam-se as partes superior e inferior da lata de alumínio, como demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Recorte da lata de alumínio.



Fonte: a autora.

Após recortar a latinha, dobram-se as laterais da lata ao meio e colam-se com um pedaço de fita crepe (Figuras 4a e 4b).

Figura 4a – Laterais da lata dobradas. Figura 4b – Laterais da lata coladas.



Fonte: a autora.



Fonte: a autora.

Na outra extremidade, pega-se o pedaço de madeira e força-se para a lata ficar bem dobrada (Figura 5).

Figura 5 – Lata dobrada com um pedaço de madeira.



Fonte: a autora.

Em seguida, pega-se o papel com as medidas e cola-se na lata, cortando as sobras. Dobra-se bem, remove-se o papel, colocam-se os canudos no alumínio, conforme as Figuras 6a e 6b.

Figura 6a – Colar o papel com as medidas. Figura 6b – Dobrar as laterais com auxílio da madeira.



Fonte: a autora.



Fonte: a autora.

Colam-se bem as dobras, para que não vaze água, como mostrado na Figura 7.

Figura 7 – Colar as dobras.



Fonte: a autora.

Marcam-se 4 cm abaixo da dobra dos canudos, conforme a Figura 8, cortando-os e colando-os bem no alumínio, como mostra a Figura 9.

Figura 8 – Cortar os canudos.



Fonte: a autora.

Figura 9 – Colar os canudos no alumínio.



Fonte: a autora.

Após, faz-se um apoio em forma de triângulo com as medidas que estão na folha na Figura 10a. Medem-se 10 cm, e cortam-se os canudos antes de encaixar o alumínio com o canudo (Figura 10b). Cola-se com cola quente na dobra do canudo, conforme Figura 10c.

Figura 10a – Apoio em forma de triângulo. Figura 10b – Medida de 10 cm no canudo.



Fonte: a autora.



Fonte: a autora.

Figura 10c – Colar com cola quente na dobra dos canudos.



Fonte: a autora.

Recorta-se o molde do barco no isopor, conforme a Figura 11a. Em seguida, prepara-se o suporte para a vela com uma sobra de alumínio, como a Figura 11b, fixando o motor e a vela no barco com as borrachas (Figura 12).

Figura 11a – Recorte do molde do barco.



Fonte: a autora.

Figura 11b – Suporte para a vela.



Fonte: a autora.

Figura 12 – Fixar o motor e a vela no barco com as borrachas.



Fonte: a autora.

Durante o processo de construção, deve-se estimular os estudantes a formular hipóteses sobre quais os fatores que podem causar o movimento do barco a vapor. Dessa forma, eles terão a possibilidade de expor seus conhecimentos prévios e pensamentos, demonstrar a forma como articulam suas concepções acerca do assunto e organizar a atividade experimental.

Seguindo nesta etapa, que consiste na execução do planejado, sugere-se que os estudantes encham os canudos do barco com água e que o coloquem em um recipiente com água, ascendendo a vela (Figura 13).

Figura 13 – O barco a vapor se movimenta.



Fonte: a autora.

Na tentativa de testar as hipóteses elencadas na etapa anterior, recomenda-se indagar aos estudantes, na medida em que observam o que está ocorrendo, por que o barquinho a vapor navega. A intenção é que, nos grupos, eles se sintam envolvidos intelectualmente na atividade e, dessa forma, sejam capazes de construir conceitos termodinâmicos implicados no processo.

Através da interação com os colegas, espera-se que os estudantes compreendam que o barquinho anda porque há pequenas gotas de água dentro do compartimento de alumínio. Quando essas gotas esquentam, transformam-se em vapor e “expulsam” a água que está nos canudinhos, criando uma espécie de jato. Quando o vapor está prestes a sair, contudo, o contato com a água gelada leva a que ele esfrie e se transforme em líquido novamente. Com a diminuição da temperatura, diminui também a pressão dentro do compartimento de alumínio, fazendo que a água volte para lá. Aí a água esquentam novamente, e assim o ciclo recomeça.

Nessa etapa, ocorre o fechamento da atividade experimental, quando se busca interpretar o observado e relacioná-lo com a teoria. Para isso, através de uma roda de conversa, os estudantes devem ser indagados sobre: o que as imagens contidas nas Figuras 1 e 2 deste quadro têm em comum com o barco a vapor construído? O que a Termodinâmica tem a ver com nosso cotidiano? Qual a relação entre trabalho e energia? No que tange ao barco a vapor, quem realizou trabalho? Qual a relação entre o barco a vapor e o princípio básico de funcionamento de uma máquina a vapor?

Espera-se que com essa atividade os estudantes confrontem suas hipóteses com o observado e com os conteúdos relacionados à Primeira Lei da Termodinâmica.

Após responder às indagações propostas por Mazaro e Darroz (2017), o professor passa a motivar os estudantes para que eles elaborem individualmente um texto com imagens e explicações sobre as relações entre os conceitos termodinâmicos e a atividade experimental como fechamento da primeira etapa, possibilitando identificar os indícios de aprendizagem significativa no seu decorrer.

Depois de analisados pelo professor, os textos são discutidos em uma roda de conversa na sala de aula, para que ocorram a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora desses conceitos.

SEGUNDA ETAPA DA SEQUÊNCIA: SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA

A segunda etapa tem como objetivo compreender os conceitos da Segunda Lei da Termodinâmica; prever a limitação da conversibilidade de calor em trabalho útil e perceber sua aplicação; interpretar e relacionar o texto com conceitos termodinâmicos. O tempo estimado para esta etapa é de aproximadamente seis períodos de cinquenta minutos cada.

Inicia-se com a identificação dos conceitos subsunções dos estudantes acerca do tema de estudo. Para isso, o professor pode propor um diálogo no qual todos tenham oportunidade de comentar o que sabem sobre o assunto. Para orientar esse diálogo, indagações como as contidas no Quadro 8 são bastante úteis:

Quadro 8 – Indagações: diálogo entre estudantes.

Questão 1 – Comente a afirmação: “o motor de um automóvel é uma máquina térmica perfeita”.

Questão 2 – O funcionamento dos motores de carro e de geladeira ou ar-condicionado ocorre em ciclos? Por quê?

Questão 3 – Você já ouviu a expressão “o calor gera trabalho mecânico”? Comente o que interpreta sobre essa expressão.

Questão 4 – Explique o funcionamento desse equipamento.

Questão 5 – Que outros equipamentos do seu cotidiano operam como a geladeira?

Enquanto os estudantes dialogam, é importante que o professor apresente uma postura de mediador, incentivando-os a expor suas compreensões de maneira tranquila e transparente. Recomenda-se que as ideias centrais sejam anotadas em uma folha.

Ao término do diálogo, propõe-se que os estudantes, em pequenos grupos, construam um mapa conceitual com as ideias anotadas anteriormente. Acredita-se que esse material apresentará os conceitos subsunçores que servirão de âncora para o estudo do conteúdo.

O estabelecimento da relação entre os conceitos subsunçores identificados no mapa conceitual construído e os conceitos relacionados à Segunda Lei da Termodinâmica inicia a partir da visualização da imagem a seguir, projetada à turma.

Figura 7 – Capa da obra *A volta ao mundo em 80 dias* (L&PM, “Clássicos da Literatura em Quadrinhos”, 2016).



Fonte: GOOGLE. Imagens. Livro *A volta ao mundo em 80 dias*. Disponível em: <<https://google/75ScCZ>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

Logo, os estudantes devem falar sobre os conceitos que estão subentendidos na imagem, e o professor pode usar como roteiro as questões contidas no Quadro 9.

Quadro 9 – Questões referentes à imagem da Figura 5.

Questão 1 - Observando a imagem, é impossível passar energia de um estado para outro sem haver perda associada?

Questão 2 - Podemos observar na imagem o funcionamento da locomotiva, a energia que está operando no sistema tem 100% de eficiência?

Questão 3 - O funcionamento da locomotiva é espontâneo?

Professor, discuta as questões como uma forma de instigar o interesse dos estudantes. Cada grupo vai anotar suas respectivas respostas, pois mais adiante elas serão retomadas e comparadas.

Para auxiliar na compreensão, os estudantes recebem uma folha com um trecho de *A volta ao mundo em 80 dias* (Quadro 10), a qual contém os conceitos que serão apresentados ao longo desta etapa.

Quadro 10 – Trecho da história *A volta ao mundo em 80 dias*.

A volta ao mundo em 80 dias

Professor, como os estudantes já devem ter feito a leitura do livro, cabe neste momento apenas problematizar a história.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Livro *A volta ao mundo em 80 dias*. Disponível em: <<https://goo.gl/Yh9GC2>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

A volta ao mundo em 80 dias é uma incrível aventura pelos mais diversos locais, culturas e situações. Verne era um escritor muito além de seu tempo, pois citava vários avanços científicos e tecnológicos.

Durante essa emocionante viagem os personagens tiveram muitos contratemplos, um deles foi quando não conseguiram chegar a tempo para a partida do vapor China para Liverpool. No dia seguinte embarcam no navio de carga Henrietta rumo a Bourdeaux, onde Fogg oferece dois mil dólares para cada um, mas o capitão do navio se recusa a levá-los para a Inglaterra.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Livro A volta ao mundo em 80 dias.
Disponível em: <<https://goo.gl/L6h5uo>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

Fogg, então, suborna os marinheiros, eles prendem o capitão na cabine e Fogg assume o comando; porém, o carvão não era suficiente para alcançar Liverpool. Fogg compra a embarcação por sessenta mil dólares e manda para a caldeira toda a madeira do navio, deixando-o apenas com o casco de ferro e o motor. Durante os primeiros dias, a navegação se fez em excelentes condições. O mar não estava muito duro; o vento parecia fixo a nordeste; largaram-se as velas, e, sob suas goletas, o Henrietta andou como um verdadeiro transatlântico.

Um contratempo, Fogg, para não se afastar de sua rota, teve de ferrar as velas e forçar o vapor. Contudo, o andamento do navio foi diminuindo, tendo em conta o estado do mar, cujas imensas ondas quebravam contra a roda de proa. O navio começou a arfar violentamente, em prejuízo da sua velocidade. O vento virava pouco a pouco furacão, e já se previa o momento em que o Henrietta não pudesse mais se manter sobre as ondas. Ora, se fosse preciso fugir diante do temporal, surgiria o desconhecido com todas as suas consequências.

Contudo o vento não soprou tão forte quanto poderiam ter esperado. Não se tornou um destes tufões que passam a uma velocidade de noventa milhas por hora. Soprou suportavelmente, mas infelizmente soprou com obstinação do sudeste e não permitiu que se largasse o pano. E, contudo, como veremos, teria sido muito útil que tivesse vindo em auxílio do vapor.

Ora, naquele dia, o maquinista, tendo subido à coberta, encontrou Fogg e falou acaloradamente com ele.

— Tem certeza do que disse?, perguntou Fogg.

— Certeza absoluta, senhor, respondeu o maquinista. Não se esqueça de que, desde nossa partida, temos tido as fornalhas sempre acesas, e que se temos suficiente carvão para ir a pouco vapor de Nova York a Bordeaux, não temos o bastante para ir a todo o vapor de Nova York a Liverpool.

— Pensarei nisso, respondeu Fogg.

E agora que decisão iria tomar Phileas Fogg? Era difícil de imaginar! Entretanto pareceu que o fleumático gentleman tinha tomado uma, porque naquela mesma tarde mandou chamar o maquinista, e lhe disse:

— Atice o fogo e vá em frente até acabar completamente o combustível.

Instantes depois, a chaminé do Henrietta vomitava turbilhões de fumaça. O navio continuou assim a andar a todo vapor; mas, como tinha sido avisado, dois dias mais tarde, dia 18, o maquinista fez saber que o carvão acabaria naquele dia.

— Que não deixem o fogo baixar, respondeu Fogg. Pelo contrário. Abram as válvulas.

Naquele dia, por volta do meio dia, depois de ter tomado a altura do sol, e calculado a posição do navio, Phileas Fogg fez vir Passepartout, e deu-lhe a ordem de ir buscar o capitão Speedy. Era como se tivessem mandado o bom moço desacorrentar um tigre, e ele desceu ao tombadilho, se dizendo:

— Positivamente ficará raivoso!

Com efeito, alguns minutos mais tarde, em meio a gritos e pragas, uma bomba chegava ao tombadilho. Esta bomba, era o capitão Speedy. E era evidente que ela iria explodir.

— Onde estamos?

Tais foram as primeiras palavras que pronunciou no meio das sufocações de cólera, e se não ficasse apoplético, jamais ficaria.

— Onde estamos?

Repetiu, a face congestionada.

A setecentas e setenta milhas de Liverpool (300 léguas), respondeu Mr. Fogg com uma calma imperturbável.

— Pirata! exclamou Andrew Speedy.

— Mandei-o chamar, senhor...

— Corsário!

— ...senhor, retomou Phileas Fogg, para pedir que me venda o seu navio.

— Não! Por todos os diabos, não!

— É que vou ser obrigado a queimá-lo.

— Queimar meu navio!

— Sim, pelo menos seus altos, porque estamos sem combustível.

— Queimar meu navio!, gritou o capitão Speedy, que já nem podia mais sequer pronunciar as sílabas. Um navio que vale cinquenta mil dólares.

— Aqui tem sessenta mil!, respondeu Phileas Fogg, oferecendo ao capitão um maço de bank-notes.

Isso teve um efeito mágico sobre Andrew Speedy. Não se é americano sem que a visão de sessenta mil dólares lhe cause uma certa emoção. O capitão esqueceu em um instante sua cólera, seu encarceramento, todas as queixas contra seu passageiro. O navio tinha vinte anos. Aquilo poderia vir a ser uma mina de ouro!... A bomba não poderia mais explodir. Mr. Fogg arrancara seu estopim.

— E o casco de ferro ficará para mim, disse em um tom singularmente doce.

— O casco de ferro e a máquina, senhor. Fechado?

— Fechado.

E Andrew Speedy, pegando o maço de bank-notes, contou e embolsou.

Quando Andrew Speedy tinha embolsado o dinheiro:

— Senhor, disse Fogg, que tudo isso não lhe cause admiração. Saiba que perco vinte mil libras se não estiver em Londres dia 21 de dezembro, às oito e quarenta e cinco da noite. Ora, perdi o pacote de Nova York, e como se recusava a me levar a Liverpool...

— E fiz bem, pelos cinqüenta mil diabos do inferno, exclamou Andrew Speedy, pois com isso ganhei pelo menos quarenta mil dólares.

Depois, mais pausadamente:

— Sabe uma coisa, acrescentou, capitão?...

— Fogg.

— Capitão Fogg, pois bem, há um yankee no senhor.

E depois de ter feito ao seu passageiro o que ele julgava um cumprimento, ia embora, quando Phileas Fogg lhe disse:

— Agora este navio me pertence?

— Claro, da quilha até à ponta dos mastros; tudo o que for madeira, claro.

— Bem. Faça demolir as divisões internas e aquecer a caldeira com os destroços. Imaginem o que foi preciso consumir de madeira seca para conservar o vapor com suficiente pressão. Naquele dia, o tombadilho, os camarotes de convés, as cabinas, os alojamentos, a falsa cobertura, tudo foi abaixo.

No dia seguinte, queimou-se a mastreação, as peças de substituição, as antenas. Abateram-se os mastros, foram cortados a machadadas. Passepartout, rachando, cortando, serrando, fazia o trabalho de dez homens. Era um furor de demolição.

Ao meio em 21 de dezembro, Phileas Fogg desembarcou afinal no cais de Liverpool. Não estava a mais de seis horas de Londres.

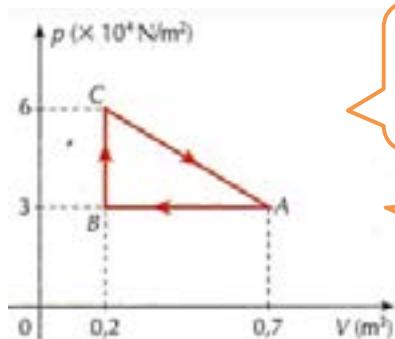
Fonte: adaptado da edição eBook Libris, 2006.

Após a leitura do trecho, iniciam-se as reflexões sobre a Segunda Lei da Termodinâmica. Para isso, parte-se da passagem da história em que o personagem faz o navio andar a todo vapor, através da queima de carvão em suas turbinas. Acredita-se que essa parte do texto apresenta subsídios gerais amplos, capazes de promover a diferenciação progressiva dos conceitos envolvidos. Assim, para iniciar essa diferenciação em relação à Segunda Lei da Termodinâmica, o professor pode desenvolver um diálogo com os estudantes no qual eles sejam indagados sobre o que acreditam ser ciclos ou transformações cíclicas, e se compreendem esses fenômenos como reversíveis ou não.

A partir das respostas dadas, é possível explicar que, desde as locomotivas a vapor até os motores à explosão dos veículos atuais, as máquinas térmicas projetadas e cons-

truídas ao longo da história operam em ciclos nos quais o calor é transformado em trabalho mecânico. Nesses ciclos, um gás parte de um estado inicial e, após uma sequência de estágios de transformação, atinge um estado final, em que as variáveis do estado inicial coincidem com as do estado final. Todas essas transformações podem ser representadas por diagramas que relacionam a pressão e o volume de um gás, como demonstrado na Figura 8.

Figura 8 – Transformação cíclica.



Professor, atente para o fato de que o gráfico representa a transformação cíclica (no sentido horário) de uma massa gasosa.

Professor, você pode relacionar o diagrama com o que ocorreu no barco a vapor do experimento da primeira etapa.

Fonte: GOOGLE. Imagens. Transformações cíclicas. Disponível em: <<https://bit.ly/2tTqWr5>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

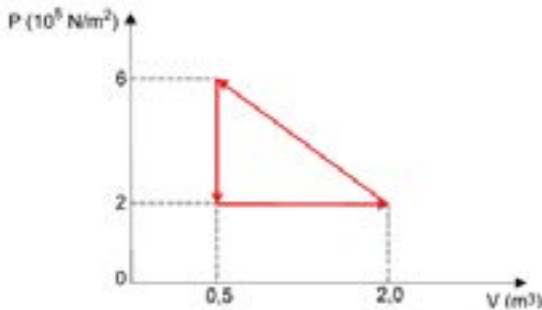
Com base no diagrama, o professor passa a orientar os estudantes para que observem no gráfico que a variação total de energia interna do gás é nula, pois ela está dada em função da variação de temperatura do gás, que, no caso, não se alterou. Portanto:

Em qualquer transformação cíclica, $\Delta T=0$ e, portanto, $\Delta U=0$.

Nas máquinas térmicas, como os barcos a vapor da história de Júlio Verne, há conservação de calor em trabalho mecânico. Um motor a vapor consiste em um dispositivo que transforma a energia interna do vapor em energia mecânica. Nos barcos a vapor, a instalação propulsora é dividida em duas partes: a caldeira e a turbina. Na turbina, um jato de vapor de água em alta pressão e temperatura é direcionado a uma hélice com lâminas de certa área; durante a passagem do vapor entre as lâminas da hélice, esta expande e esfria, fazendo girar a hélice colocada no eixo de saída da turbina, movimentando o barco. A caldeira alimenta o vapor da turbina. O trabalho é realizado pelo gás ($\tau > 0$), e não ocorre variação de energia interna, pois se trata de uma transformação em que o gás sai de um estado e a ele retorna. Para realizar esse trabalho, o gás necessita de energia (calor). Como o gás recebe calor, $Q > 0$.

Na continuidade da explicação sobre a transformação cíclica, mostra-se pertinente esclarecer aos alunos que é possível representar esse tipo de transformação em sentido anti-horário (Figura 9).

Figura 9 – Transformação cíclica.



Fonte: GOOGLE. Diagrama transformações cíclicas. Disponível em: <<https://bit.ly/2KO9wFN>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

Professor, lembre-se que esta etapa tem por objetivo promover a diferenciação progressiva dos conceitos relacionados à transformação de energia.

Ao longo do debate, é necessário que o professor saliente que esse ciclo não é constituído das mesmas transformações que o anterior. Neste, o trabalho total realizado é resultante da soma dos trabalhos em cada uma das

etapas, concluindo que o trabalho total se dá sobre o gás e, portanto, é negativo ($\tau < 0$). O sistema cede calor ao meio, como ocorre, por exemplo, em freezers, aparelhos de ar-condicionado e geladeiras (Figura 10).

Figura 10 – Funcionamento de uma máquina frigorífica.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Máquinas frigoríficas em funcionamento. Disponível em: <<https://goo.gl/639S3q>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

Professor, observe a Figura 8 e lembre aos estudantes que o calor se dá do sistema mais frio (interior da geladeira) para o mais quente (meio externo).

Conforme a Primeira Lei da Termodinâmica, $\Delta U = Q - \tau$.
Uma vez que, nos ciclos, $\Delta U = 0$, tem-se:

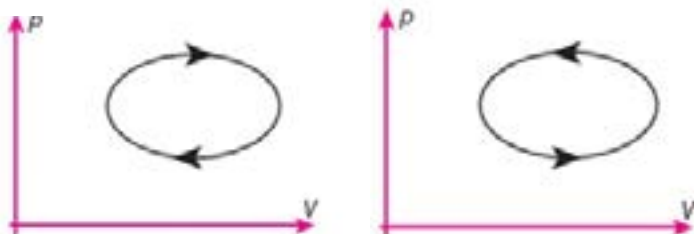
$$Q - \tau = 0 \Rightarrow Q = \tau$$

Para concluir as discussões sobre uma transformação cíclica, o professor pode acrescentar que esse tipo de transformação tem as seguintes características:

- Se durante o ciclo o gás realiza trabalho, este deve receber calor de uma fonte. A representação do ciclo no diagrama (Figura 9) é uma curva fechada orientada no sentido horário. Ocorre transformação de calor em trabalho mecânico. Exemplo: máquinas térmicas (máquinas a vapor e motores de combustão).
- Se durante o ciclo for realizado trabalho sobre o gás, este cede calor ao meio. A representação do ciclo no diagrama (Figura 9) é uma curva fechada orientada no sentido anti-horário. Ocorre transformação de trabalho mecânico em calor. Exemplo: refrigeradores e aparelhos de ar-condicionado.

Representação do diagrama $p \times V$ de transformações cíclicas.

Figura 11 - Transformação Cíclica.



Fonte: MARTINI et al., 2016, p. 122.

Para fortalecer a ligação entre os conceitos subsunçores identificados na primeira parte da etapa e os conceitos da Segunda Lei da Termodinâmica, uma alternativa consiste em retornar ao questionamento do Quadro 11, procu-

rando indícios da aprendizagem significativa. Afinal, nesta etapa, espera-se que os estudantes estabeleçam algumas relações entre os conceitos estudados e aquilo que já traziam em sua estrutura cognitiva.

Neste ponto, o professor terá condições de comparar o que cada grupo de estudantes produziu, referente a esse questionamento, entre as reflexões do Quadro 9 e as do Quadro 11, a seguir:

Quadro 11 – Indagações para estabelecer relações entre conceitos.

Questão 1 - Observando a imagem (Figura 5), é impossível passar energia de um estado para outro sem haver perda associada?

Questão 2 - Podemos observar na imagem o funcionamento da locomotiva, a energia que está operando no sistema tem 100% de eficiência?

Questão 3 - O funcionamento da locomotiva é espontâneo?

A partir disso, cabe ao professor construir com os estudantes a concepção de que a Segunda Lei da Termodinâmica descreve aquilo que não pode ocorrer de forma espontânea. Trata-se, portanto, de uma lei limitante. Isto é, deve ficar claro que, enquanto a Primeira Lei da Termodinâmica é regida pelo princípio de conservação de energia e pode ser aplicada a processos reversíveis ou não, em qualquer um dos sentidos desses processos, a Segunda Lei determina as ocorrências, apontando os limites da natureza. Com essa diferenciação, o professor pode apresentar o enunciado da Segunda Lei, proposto por Rudolf Clausius (1822-1888), e promover, finalmente, a reconciliação integradora.

O calor não passa espontaneamente de um corpo de menor temperatura para um de maior temperatura.

Mediante esse enunciado, o professor pode promover uma nova discussão, elaborando com os estudantes a concepção de que o fluxo de calor entre dois corpos não ocorre de forma espontânea e, assim, apresentar o proposto por William Thomson:

É impossível a construção de uma máquina que, operando em um ciclo termodinâmico, converta integralmente toda a quantidade de calor recebido em trabalho.

Tal enunciado deve servir como base para a discussão de máquinas térmicas como a locomotiva a carvão presente na cena da história protagonizada por Fogg.

Ao professor, recomenda-se, ainda, orientar a discussão para que através dos enunciados os estudantes percebam que não é possível um dispositivo térmico ter um rendimento de 100%, ou seja, por menor que seja, sempre há uma quantidade de calor que não se transforma em trabalho efetivo.

Para concretizar a reconciliação integradora dos conceitos relacionados à Segunda Lei da Termodinâmica, solicita-se aos estudantes a resolução de algumas questões como as contidas no Quadro 12. Para isso, a instrução é que trabalhem em duplas e, após a resolução, socializem com toda a turma. Essa atividade de socialização também tem como objetivo perceber se os estudantes conseguem transpor os conceitos estudados para contextos diferentes dos que foram abordados ao longo da etapa.

Professor, chegando ao final desta etapa, os estudantes terão que transpor os conceitos presentes em sua estrutura cognitiva a novos contextos, demonstrando que apresentam indícios de aprendizagem significativa.

Quadro 12 – Transpor conceitos em diferentes contextos, através de questionário.

Questão 1 - Qual o princípio básico de funcionamento da locomotiva a vapor presente na figura abaixo?



Fonte: GOOGLE. Imagens. Locomotivas a vapor.
Disponível em: <<https://goo.gl/tDS1kS>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Questão 2 - Observando a figura da questão 1, explique qual a condição necessária para converter água em vapor.

Questão 3 - Comente as proposições a seguir referentes à Segunda Lei da Termodinâmica.

- a) Máquina térmica é um sistema que realiza transformação cíclica: depois de sofrer uma série de transformações, ela retorna ao estado inicial.
- b) É impossível construir uma máquina térmica que transforme integralmente calor em trabalho.
- c) O calor é uma forma de energia que se transfere espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

Questão 4 - A Segunda Lei da Termodinâmica, em um de seus enunciados, descreve que: “É impossível construir uma máquina térmica operando em ciclos, cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e convertê-lo integralmente em trabalho.” Explique com suas palavras o que compreendeu sobre esse enunciado.

Questão 5 - A Segunda Lei tem, em um de seus enunciados, proposto por Clausius, o seguinte: “O calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente.” No funcionamento de um refrigerador, observa-se a transferência de calor. Explique por que o funcionamento do refrigerador não contraria esse enunciado.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Funcionamento do refrigerador.
Disponível em: <<https://goo.gl/4JTBKi>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Questão 6 - Uma locomotiva a vapor, citada no texto e visualizada na figura abaixo, transforma integralmente calor em trabalho?



Fonte: GOOGLE. Imagens. Locomotiva a vapor do filme A volta ao mundo em 80 dias.
Disponível em: <<https://goo.gl/tmXE8C>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Gabarito:

Questão 1

O funcionamento da locomotiva a vapor é propulsionado por um motor a vapor composto de três partes: a caldeira que produz o vapor; a máquina térmica que transforma a energia do vapor em trabalho mecânico; o vagão responsável por transportar o combustível (carvão) e a água para alimentar a máquina.

Questão 2

Fornecendo calor à água, variamos sua quantidade de energia e seu estado físico. A formação de vapor depende da intensidade de calor fornecido para a água.

Questão 3

Respostas comentadas:

Sim, a máquina térmica é um sistema mecânico que realiza transformações cíclicas e, após sofrer consecutivas transformações, retorna ao seu estado inicial. Sim, é impossível construir uma máquina térmica que, operando em ciclos, converta integralmente o calor em trabalho, conforme cita um dos enunciados da Segunda Lei da Termodinâmica.

Sim, o calor é uma forma de energia que se transfere espontaneamente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura.

Questão 4

Resposta pessoal.

Questão 5

O funcionamento do refrigerador baseia-se em um processo de transferência de calor de uma fonte fria para a fonte quente. Não é espontâneo, pois necessita de uma quantidade de energia externa, que ocorre na forma de trabalho. A fonte fria seria o congelador, e a fonte quente, o condensador.

Questão 6

Não, pois isso contraria a Segunda Lei da Termodinâmica. "Não é possível um dispositivo térmico ter um rendimento de 100% de eficiência."



TERCEIRA ETAPA DA SEQUÊNCIA: MÁQUINAS TÉRMICAS

A terceira etapa tem como objetivo relacionar a Segunda Lei da Termodinâmica com o funcionamento das máquinas a vapor e sua presença no mundo vivencial, estabelecer pontes cognitivas entre as etapas anteriores e explorar o funcionamento do ciclo de Carnot e os motores à combustão interna. O tempo previsto para essa etapa é de seis períodos de cinquenta minutos.

Esta etapa tem início com a identificação dos conhecimentos prévios dos estudantes sobre os temas em estudo. Uma alternativa para isso é que o professor encaminhe uma aula dialogada e reflexiva sobre máquinas térmicas através dos questionamentos do Quadro 13.

Quadro 13 – Indagações sobre máquinas térmicas.

Questão 1 - Reflita no grupo sobre o que você sabe acerca de máquinas térmicas, seu funcionamento, e dê alguns exemplos.

Questão 2 - Quando ouvimos a expressão “máquinas térmicas”, é comum associá-la à máquina a vapor, como vimos ao longo do livro de Júlio Verne. De fato, os barcos a vapor, certas locomotivas e as painéis de pressão são máquinas térmicas. Mas você sabia que carros também são máquinas térmicas? Comente.

Questão 3 - Já no século XIX se fazia essa pergunta cuja resposta até hoje não é fácil: é possível construir uma máquina com 100% de eficiência? Com tantos avanços tecnológicos, seria possível conseguir isso, como já citava Júlio Verne no livro?

Após a reflexão e o diálogo nos grupos, o professor faz a mediação, incentivando os estudantes a exporem suas concepções a respeito das indagações do Quadro 13 para toda a turma. É importante que as respostas desse questionário sejam anotadas, para que mais tarde se torne possível estabelecer relações entre conceitos, pois se acredita que os conhecimentos prévios serão modificados e assimilados ao longo das atividades.

Buscando estabelecer relações entre os conceitos subsunçores identificados nas indagações anteriores e os conceitos relacionados com máquinas térmicas, apresenta-se como organizador prévio

Professor, sugere-se instigá-los a identificar alguns conceitos presentes no vídeo, como, por exemplo, o que gera o movimento da locomotiva.

um vídeo,⁴ com a duração de 1min36s, que mostra uma máquina locomotiva em funcionamento.

A seguir, os estudantes devem discutir e refletir no grupo sobre algumas questões presentes no Quadro 14, a fim de organizar as ideias a respeito do tema. Após, será aberto um espaço para que todos os grupos exponham suas conclusões a respeito.

⁴ SANTANA, 2015.

Quadro 14 – A locomotiva a vapor.

Questão 1 - A maria-fumaça, locomotiva a vapor utilizada no livro como meio de transporte dos personagens, é uma máquina térmica. Considerando que ela queima lenha para seu funcionamento, você é capaz de reconhecer seus elementos constituintes?

- a) Qual é o fluido de trabalho?
- b) Qual é a fonte quente?
- c) Qual é a fonte fria?

Professor, é válido questionar aos estudantes se eles conseguem identificar esses elementos no vídeo.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Locomotiva a vapor do filme A volta ao mundo em 80 dias. Disponível em: <<https://google.com/search?q=locomotiva+a+vapor+do+filme+a+volta+ao+mundo+em+80+dias>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Gabarito:

- a) O fluido de trabalho utilizado é o vapor d'água.
- b) A fonte quente é a fornalha responsável pela queima da lenha.
- c) A fonte fria é o próprio ar atmosférico.

Com o intuito de promover a diferenciação progressiva dos conceitos referentes a esta etapa, entrega-se aos estudantes, ainda em grupos, o texto “Da criação a evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade”, transcrito no Quadro 15.

Quadro 15 – Texto “Da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade”.

Da criação à evolução da máquina térmica e sua contribuição para o desenvolvimento da humanidade

A magnitude da utilização do fogo como instrumento para a transformação e evolução da sociedade acelerou o desenvolvimento da humanidade.

Um dos primeiros dispositivos que utilizavam o fogo eram as máquinas térmicas capazes de transformar a energia na forma de calor em trabalho mecânico. O primeiro aparelho que podemos considerar ser uma máquina térmica foi construído por Herão de Alexandria no século I d.C (Figura 1).

Figura 1 – Aparelho de Herão de Alexandria.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Aparelho de Herão de Alexandria. Disponível em: <<https://goo.gl/kEJTWS>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Essa máquina funciona a partir da transformação de energia térmica em energia mecânica. No entanto, esse dispositivo não foi criado com o objetivo de obter grande quantidade de trabalho mecânico.

Um grande avanço no desenvolvimento tecnológico aconteceu com a máquina a vapor, dando início à Revolução Industrial, no final do século XIII. Uma das primeiras máquinas térmicas que visavam uma aplicação prática foi construída pelo inglês Thomas Newcomen. O objetivo dessa máquina era bombear água para retirá-la das minas de carvão. Neste caso o principal combustível era o carvão e a partir da sua queima, produzindo fogo, transformava a energia liberada em outra, com capacidade de realizar trabalho, ou seja, impulsar máquinas e equipamentos a fazerem tarefas que antes dependiam do trabalho braçal. Mas logo elas foram aplicadas nas indústrias, nas locomotivas a vapor e nos barcos. Em poucos anos, essas máquinas transformaram o mundo e a humanidade. O romance de ficção científica de Júlio Verne se insere no contexto da Revolução industrial, que transformou as condições econômicas e sociais do século XIX. O trabalho do homem se tornou mais fácil e mais rápido graças às máquinas (motores, cabos de transmissão, prensas), as estradas, os canais e as ferrovias facilitavam a tarefa de Phileas Fogg em dar a volta ao mundo.

A navegação marítima era dominada pelos ingleses. Os vapores, com a invenção dos cascos de ferro, com a potência das caldeiras e com a adoção da hélice, os navios a vapor superaram os veleiros em virtude de sua maior velocidade, o que facilitou a viagem de Phileas Fogg.

Desde aquele tempo tinha-se a preocupação em desenvolver uma máquina térmica mais eficiente para aproveitar a energia, ou seja, que operasse com eficiência máxima. De fato, já no século XIX se perguntava: é possível construir uma máquina com 100% de eficiência? Seria possível conseguir isso nos dias atuais com tantos avanços tecnológicos?

A resposta desta indagação nos mostra que não depende somente de limitações tecnológicas, mas sim de uma limitação da natureza. Os estudos referentes às máquinas térmicas levaram ao desenvolvimento do ramo da Física conhecido como Termodinâmica e suas leis.

Para a transformação contínua de calor em trabalho mecânico, as máquinas térmicas operam em ciclos. Pode-se definir, por exemplo, que se aplica ao esquema representativo (Figura 2) a locomotiva movida a carvão em que a substância de trabalho é a água. A água na máquina realiza um ciclo no qual primeiramente evapora numa caldeira e, então, expande-se de encontro a um pistão. Depois que o vapor é condensado com água de refrigeração, retorna à caldeira, e o processo se repete, no qual a caldeira representa a fonte quente, o ar atmosférico a fonte fria e o movimento da locomotiva o trabalho realizado sobre o sistema, que transforma parte do calor fornecido pela caldeira em trabalho.

Figura 2 – Máquina térmica.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Máquinas térmicas.

Disponível em: <<https://goo.gl/woY8NY>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Sendo impossível construir uma máquina térmica que, ao operar em ciclos, transforme integralmente em trabalho todo o calor que recebe, pode-se associar a cada máquina térmica uma grandeza para medir seu grau de eficiência. Essa grandeza denomina-se rendimento (η), indicado pela expressão:

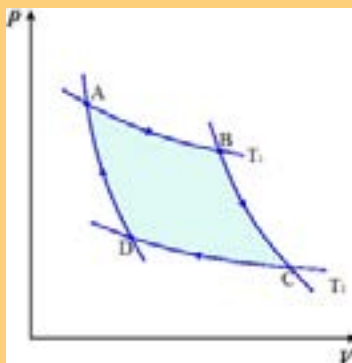
$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Isso indica que o rendimento de uma máquina térmica é sempre menor que 1, ou seja, é sempre menor que 100%. Mas qual seria o rendimento máximo de uma máquina térmica? Como seria a sequência de transformações para que esse rendimento pudesse ser atingido? Essas questões nos levam ao ciclo de Carnot.

Engenheiro e matemático francês, Nicolas Léonard Sadi Carnot, ao estudar o desenvolvimento de máquinas térmicas, chegou à conclusão que seria impossível construir uma máquina térmica com 100% de eficiência, levando à Segunda Lei da Termodinâmica.

O rendimento no ciclo de Carnot é função exclusiva das temperaturas absolutas das fontes quente e fria. É constituído por duas transformações isotérmicas (AB e CD), alternadas com duas transformações adiabáticas (BC e DA) (Figura 3):

Figura 3 – Diagrama Ciclo de Carnot.



Fonte: FUNDAMENTOS da física. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2Pj90if>>. Acesso em: 07 out. 2018.

Carnot provou que o rendimento dessa máquina corresponde ao máximo rendimento que pode ser obtido por uma máquina térmica operando entre duas temperaturas (T_1 quente e T_2 fria).

Durante a expansão isotérmica AB, o gás recebe a quantidade de calor Q_1 da fonte quente, cuja temperatura é T_1 . Durante a compressão isotérmica CD, o gás rejeita a quantidade de calor Q_2 para a fonte fria, cuja temperatura é T_2 .

Assim, o rendimento da máquina é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Professor, aqui, sugere-se lembrar que o rendimento de uma locomotiva a vapor é de aproximadamente 8%.

Conclui-se que:

O rendimento de uma máquina de Carnot não depende do fluido de trabalho; depende apenas das temperaturas das fontes quente e fria.

Os processos observados na Figura 3 podem se relacionar ao funcionamento da locomotiva presente em muitas partes do livro de Júlio Verne, conforme segue:

- expansão isotérmica de A até B, que ocorre quando o gás retira calor da fonte quente;
- expansão adiabática de B até C, sendo que o gás não troca calor;
- compressão isotérmica de C até D, pois o gás rejeita calor para a fonte fria;
- compressão adiabática de D para A, pois não ocorre troca de calor.

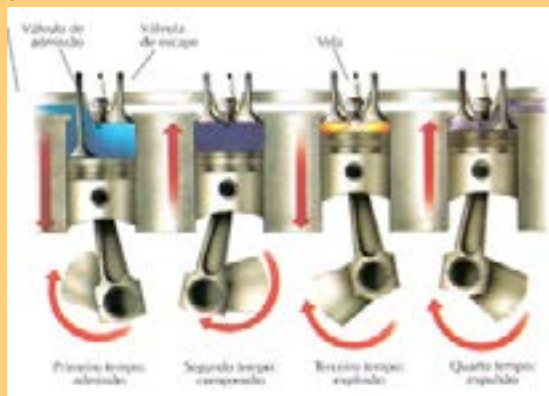
Com o surgimento da máquina a vapor, usando o fogo como fonte de energia, ocorreu o grande processo de industrialização que nos levou ao atual período tecnológico, como previa Júlio Verne em seu livro. Durante a viagem, Phileas Fog e seu mordomo Passepartout empregaram vários meios de transporte para a época, vapores, railways, carruagens, botes, embarcações de carga, trenós, elefante. Os progressos extraordinários eram citados ao longo da obra. Com o aperfeiçoamento dessas máquinas térmicas, surge uma evolução nos meios de transporte e nos equipamentos das indústrias. Sabemos que o motor do automóvel foi um desses avanços. Ele é composto de vários ciclos e, no interior de cada um, desloca-se um êmbolo móvel chamado pistão. A maioria dos carros brasileiros utiliza motores de quatro tempos.

No motor do automóvel a mistura ar-combustível entra no cilindro pela válvula de admissão. Pressionada pelo movimento do pistão e comprimida em um pequeno espaço, a mistura explode devido a uma faísca produzida pela vela. Com o aumento de pressão provocado pela expansão dos gases, o pistão é violentamente empurrado, ou seja, o gás resultante da combustão da mistura ar-combustível aplica uma força sobre o pistão, deslocando-o e, portanto, realizando trabalho. Como os pistões estão ligados a um eixo de manivelas (o virabrequim), o trabalho é convertido em movimento de rotação das rodas por meio do eixo de tração do automóvel. Assim a energia térmica é transformada em energia mecânica, o que define o carro como uma máquina térmica.

Os motores de combustão interna podem operar em ciclos de quatro tempos ou em ciclos de dois tempos. A maioria dos carros, caminhões e ônibus é de combustão interna, que completam um ciclo em quatro tempos: admissão, compressão, combustão e expansão, e descarga. Completando um ciclo a cada volta completa do virabrequim, conforme se observa na Figura 4.

Professor, aproveite para indagar os estudantes a respeito dos motores de dois tempos, se utilizam algum em seu dia a dia, pois se sabe que motores de barcos, jet-skis, motosserras, roçadeiras e alguns tipos de motocicletas mais antigas são de dois tempos.

Figura 4 – Funcionamento do motor de quatro tempos.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Motor 4 tempos.
Disponível em: <<https://goo.gl/1QWhXF>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Prossegue-se lembrando que a Primeira Lei da Termodinâmica estabelece que a energia não pode ser criada nem destruída, trata-se da quantidade de energia. Na Segunda Lei da Termodinâmica, qualifica-se isso, acrescentando que a forma que a energia assume nas diversas transformações acaba se degradando em formas menos úteis de energia.

Professor, comente com os estudantes que a entropia é um conceito essencial ao estudo das máquinas térmicas.

Refere-se à qualidade da energia, considerando que essa energia acaba se degenerando em dissipação, pois é através da Segunda Lei que chegamos ao conceito de entropia. Diz-se que a existência da ordem / desordem está relacionada com uma propriedade essencial da natureza conhecida como entropia. A entropia relaciona-se à característica intrínseca de todo e qualquer sistema, aumenta à medida que a desordem dos fenômenos aumenta. Pode-se converter energia ordenada em energia térmica, mas o contrário é mais difícil. Por exemplo, se queirmos madeira (lenha), como combustível de uma locomotiva a vapor ou num barco a vapor presentes no livro de Verne, convertemos a energia química de ligação das moléculas em energia térmica das moléculas, mas recriar a madeira a partir da energia térmica das moléculas é impossível, embora esteja em concordância com a lei de conservação da energia.

A entropia geralmente associa-se ao “grau de desordem” de um sistema termodinâmico, e o trabalho pode ser totalmente convertido em calor, e consequentemente em energia térmica, mas a energia térmica não pode ser completamente convertida em trabalho, pois a Segunda Lei da Termodinâmica diz que a maioria dos processos na natureza é irreversível, o combustível queimado na fornalha da locomotiva, por exemplo, não pode ser recriado, máquinas isoladas não podem permanecer em movimento perpétuo, e assim por diante.

O domínio do fogo pelo homem foi primordial para a sobrevivência humana. Utilizando o fogo ao longo dos anos o homem produziu muitos instrumentos que foram sendo aperfeiçoados e instigaram o desenvolvimento da sociedade como um todo na indústria e nos meios de transporte, nos levando ao atual estágio tecnológico.

A Termodinâmica presente nesse contexto estabelece-se como um dos mais significativos ramos do conhecimento da Física, pois se aplica nas máquinas a vapor, usinas termoeletricas e nucleares, máquinas frigoríferas, e até aos automóveis mais modernos utilizados pelo homem. Sem dúvida o estudo da Termodinâmica despertou a curiosidade humana, contribuindo como uma mola propulsora ao progresso da sociedade contemporânea.

Fonte: OLIVEIRA, 2010.

Concluída a leitura do texto, os estudantes são convidados a destacar os conceitos referentes a máquinas térmicas, ciclo de Carnot, funcionamento de motores à combustão interna e entropia, a fim de estabelecer relações entre os conceitos subsunçores e auxiliar no estabelecimento da reconciliação integradora entre os tópicos estudados até o momento. Para isso, pode-se estabelecer um diálogo entre os estudantes, tendo como eixo norteador as questões contidas no Quadro 16.⁵

Quadro 16 – Questionamentos para auxiliar na reconciliação integradora.

Questão 1 - Com relação às máquinas térmicas e à Segunda Lei da Termodinâmica, analise as proposições a seguir. E comente cada uma delas estabelecendo relações com as imagens abaixo:



Fonte: GOOGLE. Imagens .

- I. Máquinas térmicas são dispositivos usados para converter energia mecânica em energia térmica com conseqüente realização de trabalho.
- II. O enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica, proposto por Clausius, afirma que o calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente, a não ser forçado por um agente externo como é o caso do refrigerador.
- III. É possível construir uma máquina térmica que, operando em transformações cíclicas, tenha como único efeito transformar completamente em trabalho a energia térmica de uma fonte quente.

⁵ Disponíveis em: <<https://goo.gl/s9wK4i>>, <<https://bit.ly/2zeQJ1V>>, <<https://bit.ly/2MRibot>>, <<https://bit.ly/2KAhYcA>>, <<https://bit.ly/2u9TDiR>> e <<https://bit.ly/2tTECCr>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

IV. Nenhuma máquina térmica operando entre duas temperaturas fixadas pode ter rendimento maior que a máquina ideal de Carnot, operando entre essas mesmas temperaturas.

V. Os motores de combustão externa são aqueles onde a queima de combustível ocorre fora do motor. O motor de uma locomotiva a vapor é um exemplo típico. Nesse caso, a queima do combustível ocorre externamente para o aquecimento da caldeira, que produz o vapor que movimentam os pistões do motor.

Questão 2 - Descreva e ilustre o funcionamento de um motor de quatro tempos.

Questão 3 - Você considera que os estudos sobre Termodinâmica contribuíram de alguma forma com o desenvolvimento da Revolução Industrial? Explique.

Questão 4 - É possível que uma locomotiva a vapor como a da figura abaixo consiga transformar em trabalho toda a energia que recebe? Explique em que você se baseou para dar sua resposta.



Fonte: GOOGLE. Imagens. Locomotivas a vapor.

Disponível em: <<https://goo.gl/bJPsDL>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

Gabarito:

Questão 1

Respostas comentadas:

- I. Incorreto, pois as máquinas térmicas são dispositivos usados para converter energia térmica em realização de trabalho.
- II. Correto, pois ocorre de forma espontânea na natureza, sempre de quem tem maior temperatura para quem tem menor temperatura. No caso da energia, o mais quente possui mais energia, logo o processo natural seria o calor passar para o corpo mais frio, caso contrário é preciso a realização de trabalho, exemplo em todas as imagens.
- III. Incorreto, pois isso vai contra o enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica.
- IV. Correto, a máquina ideal de Carnot é uma máquina que tem um funcionamento apenas teórico. Nenhuma máquina possui um rendimento maior que ela.
- V. Correto, pois os motores de combustão externa são aqueles onde a queima de combustível ocorre fora do motor.

Questão 2

A resposta pode ser pessoal, seguindo a ordem de funcionamento do motor, com ilustrações.

- 1) Admissão. Nessa etapa, a válvula de admissão permite a entrada, na câmara de combustão, de uma mistura de ar e combustível enquanto o pistão se move de forma a aumentar o espaço no interior da câmara.
- 2) Compressão. Nesta, o pistão se move de forma a comprimir a mistura, fazendo seu volume diminuir. Aqui ocorre uma compressão adiabática, e em seguida a máquina térmica recebe calor numa transformação isocórica.
- 3) A terceira etapa denomina-se explosão. No término da compressão, um dispositivo elétrico gera uma centelha que ocasiona a explosão da mistura, ocasionando sua expansão.
- 4) Após, ocorre o quarto tempo, quando a válvula de saída abre e permite a exaustão do gás queimado na explosão. A expansão adiabática leva a máquina ao próximo estado, em que ela perde calor e retorna ao seu estado inicial, onde o ciclo se reinicia.

Questão 3

Resposta pessoal.

Questão 4

Conforme a Segunda Lei da Termodinâmica, não é possível uma máquina térmica operando em ciclos ter rendimento de 100% de eficiência.

Seguindo as atividades desta etapa, os estudantes devem apresentar suas ideias nos grupos e, após, para toda a turma. Esse momento se destina à busca de indícios de aprendizagem significativa na sua fala e em suas respostas. Afinal, neste ponto da sequência, acredita-se que já terão assimilado e estabelecido relações entre as ideias âncoras e os conceitos, de forma clara e precisa, reconciliando-os e integrando-os, sendo capazes de diferenciá-los e transcrevê-los em um novo contexto, com respeito à hierarquia conceitual. Enfim, nesta fase, é provável que demonstrem domínio dos conceitos estudados.

Prosseguindo esta etapa, sugere-se assistir ao vídeo “Princípio do motor a vapor”,⁶ com duração de 36 segundos. Após, por meio das indagações presentes no Quadro 17, o professor terá condições de mediar uma discussão com os estudantes, identificando a aquisição e o uso dos conceitos apresentados no texto e vinculados ao vídeo, de modo que significados possam ser constituídos e relações com o novo conhecimento possam ser estabelecidas.

Quadro 17 – Indagações referentes ao princípio do motor a vapor.

Questão 1 - Descreva o princípio de funcionamento do motor a vapor que você visualizou ao assistir o vídeo.

Questão 2 - Cite as partes que constituem o motor a vapor, responsável pelo funcionamento de uma locomotiva, observado no vídeo.

Questão 3 - Desenhe o que observou no vídeo, comentando as partes do desenho.

Considerando o vídeo que demonstra o princípio de funcionamento de um motor a vapor e a relação com o texto que descreve o aperfeiçoamento das máquinas térmicas,

⁶ TOR, 2013.

apresenta-se aos estudantes outro vídeo de animação, com duração de 5min26s, que demonstra o funcionamento de um motor de combustão interna de quatro tempos.⁷ O objetivo dessa atividade é proporcionar ao estudante situações significativas sobre os conceitos de Termodinâmica, possibilitando que essas informações se relacionem com o conhecimento que ele já possui, de forma a ligar e assimilar conhecimentos específicos encontrados no texto com conceitos mais gerais.

Para isso, propõe-se que, em cada grupo, os estudantes formulem questões sobre o vídeo e as repassem para o próximo

Professor, instigue os estudantes a desafiar seus colegas na formulação das respostas, através de desenhos, mapas, textos...

grupo responder, até que todos tenham questões para trabalhar e socializar com os demais. Essas questões podem ser resolvidas por meio da elaboração de mapas ou desenhos.

Finalizando esta etapa, realiza-se com os estudantes uma atividade prática para fortalecer a interação dos conceitos subsunçores com os conteúdos relacionados à Primeira Lei, à Segunda Lei e ao funcionamento das máquinas térmicas. Para tanto, um engenheiro mecânico participa da aula para conversar com a turma sobre o funcionamento dos motores e as partes que os compõem.

Nesta atividade, os estudantes são levados a refletir sobre os conhecimentos adquiridos em sala de aula ao longo das etapas. Diante disso, o objetivo consiste em diferenciar e reconciliar conceitos na estrutura cognitiva do estudante. Nesse sentido, eles devem registrar, em grupos, questiona-

⁷ COMO FUNCIONA O MOTOR 4 TEMPOS?. Disponível em: <<https://goo.gl/7NR3n3>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

mentos e dúvidas sobre motores, pois, ao final, o engenheiro irá proporcionar um espaço para debate.

Professor, peça aos estudantes para que, em grupos, elaborem questões ou registrem dúvidas surgidas ao longo da explicação do engenheiro, pois ao final haverá um espaço para debate.

Como forma de evidenciar e identificar indícios de aprendizagem significativa ao longo desta etapa e das anteriores, solicita-se que, individualmente, os estudantes elaborem um texto contemplando e re-

lacionando os conceitos termodinâmicos com a obra de Júlio Verne e os avanços tecnológicos dos meios de transporte e das máquinas térmicas ao longo do tempo e do desenvolvimento da sociedade contemporânea. A intenção é que o professor possa comparar os textos e questionamentos produzidos ao longo de toda a sequência didática.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, J. Psicologia educacional. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BIBLIOTECA JÚLIO VERNE. Disponível em: <<https://goo.gl/FFz6x6>>. Acesso em: 30 maio 2018.

COMO FUNCIONA O MOTOR 4 TEMPOS? Animação. 15 dez. 2017. Disponível em: <<https://goo.gl/7NR3n3>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

ENERGIA interna (U ou E). Disponível em: <<https://bit.ly/2QZM1tT>>. Acesso em: 7 out. 2018.

FUNDAMENTOS da física. 2017. Disponível em: <<https://bit.ly/2P-j90if>>. Acesso em: 07 out. 2018.

GOOGLE. Imagens. A volta ao mundo nos dias atuais. Disponível em: <<https://goo.gl/ohWpcq>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

_____. Aparelho de Herão de Alexandria. Disponível em: <<https://goo.gl/kEJTws>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. Barco. Disponível em: <<https://bit.ly/2zeQJ1V>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Caminhão. Disponível em: <<https://bit.ly/2MRibot>>. Acesso em: 5 jul. 2018

_____. Diagrama transformações cíclicas. Disponível em: <<https://bit.ly/2KO9wFN>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Funcionamento do refrigerador. Disponível em: <<https://goo.gl/4JTBKi>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. Geladeira. Disponível em: <<https://bit.ly/2KAhYcA>>. Acesso em: 5 jul.2018.

_____. Livro A volta ao mundo em 80 dias. Disponível em: <<https://goo.gl/75ScCZ>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

_____. _____. Disponível em: <<https://goo.gl/Yh9GC2>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

_____. _____. Disponível em: <<https://goo.gl/L6h5uo>>. Acesso em: 22 jun. 2018.

_____. Locomotiva a vapor do filme A volta ao mundo em 80 dias. Disponível em: <<https://goo.gl/tmXE8C>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. _____. Disponível em: <<https://goo.gl/XbEbXB>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. Locomotivas a vapor. Disponível em: <<https://goo.gl/s9wK4i>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. _____. Disponível em: <<https://bit.ly/2MStQU5>>. Acesso em: 5 jul. 2018

_____. _____. Disponível em: <<https://goo.gl/tDS1kS>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. _____. Disponível em: <<https://goo.gl/bJPsDL>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. Máquinas frigoríficas em funcionamento. Disponível em: <<https://goo.gl/639S3q>>. Acesso em: 26 jun. 2018.

_____. Máquinas térmicas. Disponível em: <<https://goo.gl/woY8NY>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. Motor 4 tempos. Disponível em: <<https://goo.gl/1QWhXF>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

_____. Navio a vapor. Disponível em: <<https://bit.ly/2ufcmJZ>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Transformações cíclicas. Disponível em <<https://bit.ly/2tT-qWr5>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Trator. Disponível em: <<https://bit.ly/2u9TDiR>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Trens a vapor. Disponível em: <<https://goo.gl/s9wK4i>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Usina nuclear. Disponível em: <<https://bit.ly/2tTECCr>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. Volta ao mundo em 80 dias – cenas do filme. Disponível em: <<https://goo.gl/7BySY2>>. Acesso em: 19 maio 2018.

JESUS, C. B. de. Mapa conceitual como ferramenta para o ensino das leis da termodinâmica. 2015. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) – Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2015.

LIMA, J. Sequência didática para o ensino da termodinâmica. 2016. Dissertação (Mestrado em Ensino de Física) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2016.

MARTINI, G. et al. Conexões com a Física. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2016.

MAZARO, S. B.; DARROZ, L. M. Atividades experimentais: um caminho para o ensino de Termodinâmica no Ensino Médio. Caderno de Física da UEFS, v. 15, n. 2, p. 2201.1-2201.11, 2017. Disponível em: <<http://dfis.uefs.br/caderno/vol15n2/s2Artigo01SimoneDarroz-Atividades-Experimentais.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2108.

MOREIRA, M. A. Aprendizagem significativa, organizadores prévios, mapas conceituais, diagramas V e unidades de ensino potencialmente significativas. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, 2012.

OLIVEIRA, A. A descoberta que mudou a humanidade. *Ciência Hoje*, 16 jul. 2010. Disponível em: <<http://cienciahoje.org.br/coluna/a-descoberta-que-mudou-a-humanidade/>>. Acesso em: 20 abr. 2108.

PIMENTEL, B. Oitenta dias para rodar o mundo. *Ciência Hoje das Crianças*, 24 abr. 2013. Disponível em: <<http://chc.org.br/oitenta-dias-para-rodar-o-mundo>>. Acesso em: 11 mar. 2018.

SANTANA, Ilair. Maria-fumaça. 15 set. 2015. Disponível em: <<https://goo.gl/ZU7iqd>>. Acesso em: 10 jun. 2018.

SIERRA, Tiago. Como funciona uma locomotiva (How A Steam Locomotive Works). 25 out. 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/i6BZZZ>>. Acesso em: 30 abr. 2018.

TEIXEIRA, M. M. Ciclo de Carnot. *Mundo Educação: Física – Terminologia*. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/ciclo-carnot.htm>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

TOR, Roberval. Princípio motor a vapor. 11 set. 2013. Disponível em: <<https://goo.gl/MdmXnQ>>. Acesso em: 10 abr. 2018.

TORRES, A. M. C. et al. Física: Ciência e Tecnologia. 3. ed. São Paulo: Moderna, 2013.

VERNE, J. A volta ao mundo em oitenta dias: texto condensado. Adaptação de Margaret Fiorini; ilustração Suzy Braz Reijado. São Paulo: Rideel, 2001 (Coleção “Júlio Verne”).

_____. A volta ao mundo em oitenta dias. Adaptação e tradução de Teotônio Simões. [s.l.]: eBook Libris, 2006. Disponível em: <<https://bit.ly/2K-DteFe>>. Acesso em: 5 jul. 2018.

_____. A volta ao mundo em oitenta dias. Adaptação e tradução de Waclyr Carrasco. São Paulo: Moderna, 2012.

_____. A volta ao mundo em oitenta dias. Adaptação de Cristina Klein; ilustrações de Belli Studio. Blumenau, SC: Todolivro, 2012 (Coleção “Júlio Verne”).

VOLTA AO MUNDO EM 80 DIAS (AROUND THE WORLD IN 80 DAYS). Trailer. Diretor Frank Coraci. Irlanda: Europa Filmes, 2004. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ZZo4TK9RWVo>>. Acesso em: 14 abr. 2018.

_____. Filme completo. Diretor Frank Coraci. Irlanda: Europa Filmes, 2004. Disponível em: <<https://goo.gl/ZTQCd2>>. Acesso em: 28 maio 2018.



SOBRE OS AUTORES

Simone Bonora Mazaro – Licenciada em Matemática pela Universidade de Passo Fundo (UPF). Especialista em Gestão e Organização da Escola pela Universidade Norte do Paraná e mestranda do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da UPF.

Luiz Marcelo Darroz – Licenciado em Matemática pela Universidade de Passo Fundo-UPF e em Física pela Universidade Federal de Santa Maria. Especialista em Física pela Universidade de Passo Fundo, onde é docente do curso de Física – Licenciatura e do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Mestre em Ensino de Física e doutor em Educação em Ciências pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul.