



UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI – URCA

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

As leis da Termodinâmica com abordagem da Modelagem Científica de Mario Bunge e uma sequência de Ciclos de Modelagens de David Hestenes desenvolvida em uma turma do ensino médio na cidade de Acopiara

Maria Gêssica da Silva

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Regional do Cariri no Curso de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF-Polo31), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador:

Dr. Claudio Rejane da Silva Dantas

Co-orientador:

Dr. Wilson Hugo Cavalcanti Freire

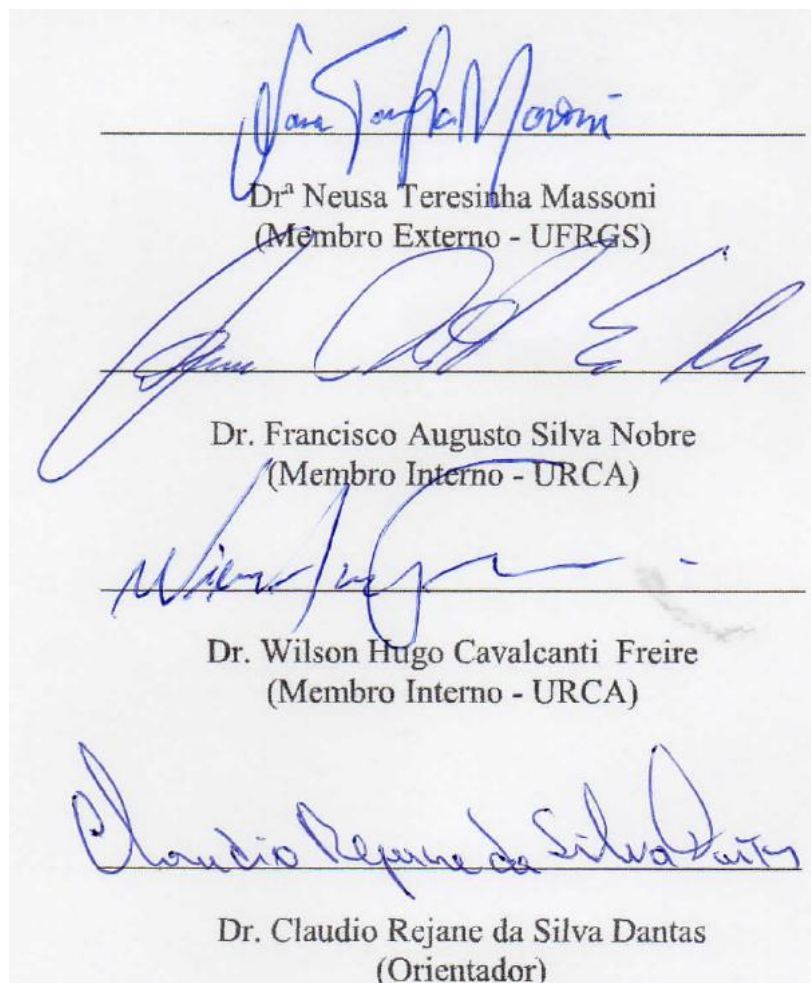
Juazeiro do Norte – CE, 2019

As leis da Termodinâmica com abordagem da Modelagem Científica de Mario Bunge e uma sequência de Ciclos de Modelagens de David Hestenes desenvolvida em uma turma do ensino médio na cidade de Acopiara

Maria Gêssica da Silva

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Regional do Cariri no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Aprovada por:



Dr^a Neusa Teresinha Massoni
(Membro Externo - UFRGS)

Dr. Francisco Augusto Silva Nobre
(Membro Interno - URCA)

Dr. Wilson Hugo Cavalcanti Freire
(Membro Interno - URCA)

Dr. Claudio Rejane da Silva Dantas
(Orientador)

Juazeiro do Norte, CE, 2019

Catálogo na fonte

Cícero Antônio Gomes Silva – CRB-3 nº /1385

S586l

Silva, Maria Géssica da.

As Leis da Termodinâmica Com Abordagem da Modelagem Científica de Mario Bunge e Uma Sequência de Ciclos de Modelagens de David Hestenes Desenvolvida em Uma Turma de Ensino Médio na Cidade de Acopiara./ Maria Géssica da Silva – Juazeiro do Norte - CE, 2019.

119 f.: il.;30cm.

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) – Universidade Regional do Cariri - URCA / Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF .

Orientador: Prof. Dr. Claudio Rejane da Silva Dantas

1.Instrução por Modelagem

2.Modelo Representacional

3.Método Teórico I. Título

CDD:530

Dedico

As pessoas que mais me ajudaram em toda minha trajetória estudantil, desde o tempo que estive cursando Licenciatura em Física, até o término das disciplinas do mestrado, meus pais Ana Maria de Figueiredo e Francisco Fernandes da Silva; meu esposo Francisco Gilvan Estevão de Oliveira.

Agradecimentos

A Deus que no seu infinito amor sempre me cobriu de bênçãos e nas horas mais difíceis me deu força, coragem para nunca desistir.

Ao professor Dr. Cláudio Rejane da URCA, meu orientador, que com toda sua dedicação me ajudou, me ensinou e orientou, a desenvolver este trabalho. Usando sempre da simplicidade e humanidade com os seus alunos, sempre entendendo os problemas pessoais de cada um.

Ao meu esposo Gilvan que sempre esteve do meu lado, desde o momento que decidi me submeter à seleção do mestrado, me dando força nos momentos de cansaço físico e mental.

Aos meus pais Ana Maria e Francisco Fernandes, que sempre trabalharam e lutaram para que eu tivesse oportunidade de estudar, me apoiando e incentivando em toda minha trajetória estudantil.

A todos os meus professores desde o Ensino fundamental até a universidade, que sempre deram o melhor de si, para nos proporcionar o melhor ensino.

A todos os professores do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física da URCA, em nome do professor Francisco Augusto Silva Nobre, que contribuíram diretamente ou indiretamente para um maior aprendizado dos mestrandos.

RESUMO

O trabalho objetiva investigar a aprendizagem de conceitos da Termodinâmica focando um ciclo de modelagem em uma turma do Ensino Médio de uma escola pública estadual do município de Acopiara (região Centro Sul do Ceará). Nessa investigação buscou-se: (i) explorar modelos representacionais com acepção de Mario Bunge acerca das Leis da Termodinâmica e o funcionamento de um motor a combustão interna de uma moto; (II) desenvolver e avaliar uma sequência de ensino para promover o estudo de conhecimentos científicos por trás do funcionamento do motor à combustão baseada na abordagem da instrução por modelagem de David Hestenes; (iii) elaboração de um material de apoio didático (Material Instrucional) para apoiar outros professores que desejem, a partir dos resultados desta experiência, realizar investigações em seu contexto escolar considerando a temática da modelagem científica. Como suporte teórico analítico desta dissertação, usamos as ideias de Mario Bunge (2017) que defende a modelagem científica para o estudo e compreensão da natureza por meio dos conceitos sobre referente, objeto-modelo e modelo conceitual. Procuramos entender as seguintes questões: (a) *A aprendizagem dos estudantes de uma turma do ensino médio sobre as Leis da Termodinâmica poderá ser facilitada com a abordagem da modelagem didática científica, especificamente a partir da construção de um modelo conceitual do funcionamento de um motor a combustão de uma moto?* (b) *O desenvolvimento de uma sequência de ensino por meio da abordagem da modelagem científica poderá despertar interesse dos estudantes e possibilitará a promoção de aspectos conceituais da Termodinâmica?* (c) *É possível o desenvolvimento progressivo dos modelos representacionais dos estudantes em direção à modelagem conceitual de um objeto real de seu cotidiano?* A experiência mostra que os estudantes tiveram dificuldades iniciais de representação de uma situação real do funcionamento do motor da moto, no processo didático foram progredindo e se apropriando de aspectos teóricos conceituais da física por trás desta tecnologia. Todos os estudantes se envolveram de forma ativa na elaboração dos modelos, de forma colaborativa, participando das discussões. Foi percebida uma evolução qualitativa no processo de aprendizagem dos estudantes. Houve o desenvolvimento de aprendizagem, uns aprenderam um pouco mais que outros, mas houve uma melhoria em suas aprendizagens sobre o assunto e um despertar para sempre estarem aprendendo por meio da investigação dentro ou fora da escola.

Palavras-chave: Instrução por modelagem, modelo representacional, modelo teórico, Termodinâmica, Motor de uma moto.

ABSTRACT

The objective of this work is to investigate the learning of thermodynamics concepts focusing on a modeling cycle carried out in a high school class of a state public school in the city of Acopiara (Center South region of Ceará). In this process we sought to: (i) explore students' representational models about the laws of thermodynamics and the operation of an internal combustion engine of a motorcycle; (ii) develop and evaluate a teaching sequence to promote the study of scientific knowledge behind combustion engine operation based on David Hestenes' modeling instruction approach; (iii) preparation of a didactic support material (Instructional Material) to support other teachers who wish, from the results of this experience, to carry out investigations in their school context considering the theme of scientific modeling. As analytical theoretical support of this dissertation, we use the ideas of Mario Bunge (2017) who defends the scientific modeling for the study and understanding of nature through the concepts about referent, object-model and conceptual model. We seek to understand the following questions: (a) The learning of students in a high school class on the Laws of Thermodynamics can be facilitated by approaching scientific didactic modeling, specifically by constructing a conceptual model of the operation of a motor. combustion of a motorcycle? (b) Will the development of a teaching sequence through the approach of scientific modeling arouse students' interest and enable the promotion of conceptual aspects of thermodynamics? (c) Is it possible for the progressive development of students' representational models toward conceptual modeling of a real object in their daily lives? Experience shows that students had initial difficulties of mental representation of a real situation of motorcycle engine operation, in the didactic process were progressing and appropriating conceptual theoretical aspects of physics behind this technology. All students were actively involved in the elaboration of the models, collaboratively, participating in the discussions. A qualitative evolution was noticed in the students learning process. Learning has developed, some have learned a little more than others, but there has been an improvement in their learning on the subject and an awakening forever to be learning through research in or out of school.

Keywords: Instruction by modeling, representational models, theoretical model Thermodynamics, Motor of a motorcycle

Lista de figuras

Figura 1: Diagrama demonstrando o fluxo de energia de uma máquina térmica.....	48
Figura 2: a) e b) Grupo de estudantes trabalhando na construção de um modelo representacional sobre o funcionamento de um motor a combustão interna de uma moto.	59
Figura 3: A construção de um modelo representacional por estudantes que possuem experiência de mecânica de motos em seu cotidiano.	59
Figura 4: (a, b e c) Momentos de interação entre os estudantes e a professora na elaboração dos mapas mentais.....	60
Figura 5: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 01.	61
Figura 6: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 02.	61
Figura 7: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 03.	62
Figura 8: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 04.	62
Figura 9: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 05.	63
Figura 10: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 06.	63
Figura 11: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 07.	63
Figura 12: Fragmentos do livro do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (Gref) que trata da discussão da Termodinâmica para explicar o funcionamento dos motores. Fonte: GREF (1998, p. 78).....	66
Figura 13: Momento de leitura do texto do Gref sobre o motor a combustão.	67
Figura 14: Construção de novas sessões de <i>Whiteboard</i> pelos grupos.....	68
Figura 15: Construção de um modelo conceitual pela equipe 1 após discussões teóricas.	69
Figura 16: Construção de um modelo conceitual pela equipe 2 após discussões teóricas.	69
Figura 17: Construção de um modelo conceitual pela equipe 3 após discussões teóricas.	69
Figura 18: Construção de um modelo conceitual pela equipe 4 após discussões teóricas.	70
Figura 19: Construção de um modelo conceitual pela equipe 5 após discussões teóricas.	70
Figura 20: Construção de um modelo conceitual pela equipe 6 após discussões teóricas.	71
Figura 21: Construção de um modelo conceitual pela equipe 7 após discussões teóricas.	71
Figura 22: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 07.	Erro! Indicador não definido.
Figura 23: Construção de novas sessões de <i>Whiteboard</i> pelos grupos. Erro! Indicador não definido.	
Figura 24: Construção de um modelo conceitual pela equipe 2 após discussões teóricas.	Erro! Indicador não definido.

Figura 25: Construção de um modelo conceitual pela equipe 4 após discussões teóricas
.....**Erro! Indicador não definido.**
Figura 26: Construção de um modelo conceitual pela equipe 5 após discussões teóricas.
.....**Erro! Indicador não definido.**

Sumário

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Algumas considerações sobre minha trajetória docente e a necessidade da permanente formação continuada	12
1.2 Problematização do tema, questões de pesquisa e objetivos.....	15
2 MODELAGEM CIENTÍFICA NA VISÃO DE MARIO BUNGE, A INSTRUÇÃO POR MODELAGEM DE DAVID HESTENES E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE FÍSICA	20
2.1 A modelagem científica na visão de Mario Bunge	20
2.2 A instrução por Modelagem de David Hestenes: modelos representacionais e modelos conceituais	23
2.3 Sequência de ensino seguindo a Instrução por Modelagem de Hestenes	25
2.3.1 Desenvolvimento do modelo	25
2.3.2 Aplicação do modelo: discussão de problemas selecionados vinculados à estrutura sistêmica do modelo conceitual dos estudantes	27
2.4 Breve revisão de literatura sobre modelagem científica em algumas revistas de ensino de Física	27
3 METODOLOGIA.....	32
3.1 A abordagem qualitativa de investigação e a pesquisa ação	32
3.2 O contexto da escola: aspectos da realidade escolar	33
3.3 Os participantes da pesquisa e a escolha do tema de estudo (Termodinâmica).....	35
3.4 Os instrumentos de coleta de dados: diário de campo, entrevista, questionário, observações	35
3.5 A construção de uma sequência de ensino baseado na abordagem de Ciclos de Modelagem de David Hestenes.....	36
3.6 A elaboração de um material de apoio para auxiliar outras experiências didáticas (Produto Educacional)	40

4 DISCUSSÃO CONCEITUAL SOBRE AS LEIS DA TERMODINÂMICA	41
4.1 Calor	41
4.2 Trabalho realizado em um sistema com pressão constante.....	42
4.3 Energia interna	43
4.4 Primeira Lei da Termodinâmica	44
4.4.1 Tipos de processos termodinâmicos	45
4.5 Segunda Lei da Termodinâmica	46
4.5.1 Processos Reversíveis e Irreversíveis	47
4.5.2 Máquinas Térmicas	47
4.5.5 Enunciando a Segunda Lei da Termodinâmica.....	49
4.5.6 Entropia.....	50
5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS DO ESTUDO	51
5. 1 Análise e interpretação de cada uma das etapas da sequência de modelagem	51
5.1.1 Descrevendo sobre a Discussão do tema.....	53
5.1.2 Descrevendo a etapa de Sessão de Laboratório de investigação.....	57
5.1.3 Descrevendo a etapa de Sessão de Whiteboard.....	58
5.1.4 Descrevendo a etapa de Resolução colaborativa	64
5.1.5 Descrevendo a nova etapa de Sessão de Whiteboard.....	67
5.1.6 Descrevendo a etapa da Avaliação.....	72
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	74
7 REFERÊNCIAS	76
APÊNDICES	79
ANEXO A: Questionário inicial para explorar concepções dos estudantes sobre conceitos da Termodinâmica	80
ANEXO B: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido.....	81
ANEXO C: Aulas teóricas de física sobre Termodinâmica	83

1 INTRODUÇÃO

1.1 Algumas considerações sobre minha trajetória docente e a necessidade da permanente formação continuada

A essência do ato de ensinar, baseado em minhas experiências como docente da disciplina de Física na educação básica, é poder despertar a curiosidade e interesse em cada um dos estudantes para promoção da educação científica. Que este conhecimento construído possa servir para apoiar soluções de problemas que cotidianamente aparecem em suas vidas e que possa fornecer subsídios para poder ampliar seus conhecimentos, permanentemente.

Nesta abertura deste trabalho de dissertação considero oportuno dizer que desde pequena sempre gostei de estudar e demonstrei afinidades para a área das ciências da natureza e aspirações para o campo da docência. Ser professora sempre foi um sonho. Considero essa profissão muito nobre, já que os docentes, mesmo enfrentando diariamente desafios, procura atrair os estudantes para o mundo do conhecimento promovendo o desenvolvimento intelectual das futuras gerações e contribuindo com a mudança de suas vidas. Toda minha formação escolar básica foi realizada em escolas públicas do município de Acopiara, CE, entre os anos de 2000 e 2010. Posso dizer que o desejo de seguir a carreira docente foi motivado pela observação das práticas dos professores que tive neste valioso processo de instrução escolar.

Posteriormente, consegui ingressar na faculdade de Física na Universidade Estadual do Ceará - UECE, no campus da Faculdade de Educação, Ciências e Letras (FECLI) no município de Iguatu, região centro sul do Ceará (cidade que fica cerca de 36 km de Acopiara). Durante essa formação, pude perceber que o mundo universitário estava distante da realidade escolar (muitas teorias estudadas apresentavam um discurso ideal de escola, de aprendizagem, do ato de ensinar). Na graduação em física existia uma grande evasão de estudantes. A cada semestre fui notando muitas desistências de colegas. Por exemplo, em uma turma que iniciou com cerca de vinte e cinco pessoas, por volta do quinto semestre, somente permaneceram sete alunos, dentre eles estava eu, a única mulher da turma.

Durante a faculdade fui bolsista da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES. Participei na ocasião do Programa de Bolsas de

Iniciação à Docência - PIBID. A partir da experiência nesse programa de iniciação a docência tive a oportunidade de um primeiro contato, como docente em formação, com uma sala de aula de Física. Oportunidade esta em que pude conhecer alguns aspectos da área do ensino de física, particularmente em relação ao ensino experimental.

Neste período de formação inicial enfrentei muitas dificuldades como, por exemplo, a distância da minha cidade até a Universidade; o cansaço de um dia de trabalho (no sétimo semestre já atuava na área, lecionando em uma extensão de ensino que fica a 20 km da cidade, com estradas de difícil acesso) e a noite precisar ficar até mais tarde estudando. Os setes alunos da minha turma permaneciam juntos e em 2015 colamos grau, com a maior turma já formada em Física pela UECE-FECLI até então. É importante dizer que fui a primeira mulher a obter formação em Licenciatura em Física nesse curso desde sua fundação, no ano de 2000 (UECE, 2000), sendo a primeira turma aberta em 2002.1, onde até o semestre 2018.2 formou-se aproximadamente 35 alunos.

Mesmo antes de concluir o curso de licenciatura, devido ao problema da carência de professores em minha região, iniciei como professora de física em uma escola pública estadual na cidade de Acopiara (com aproximadamente 51.160 habitantes, segundo o ultimo censo do IBGE em 2010, com duas escolas estaduais). Essa escola na qual ainda leciono, em regime de contrato temporário¹, atualmente é a maior escola de ensino médio da região (Em 2015 a matrícula era cerca de mil e quinhentos alunos). A escola possui uma estrutura grandiosa (com 13 salas em pleno funcionamento, 1 laboratório de Física, 1 laboratório de Química e outro de Biologia, sala de Multimeios, quadra poliesportiva). Entretanto, têm-se muitas dificuldades com relação a grande quantidade de alunos por sala e por ter três unidades anexas (salas da escola em distritos distantes da sede). Essas unidades anexas são distantes do município (entre 20 a 40 km), em um deles o acesso é por estradas difíceis, sem asfalto. Durante esses anos conheci a realidade de todos os anexos, pois trabalhei em todos (em 2018, ano de realização do trabalho desta dissertação, estava lotada tanto na escola sede como em um dos anexos). Foi escolhida uma turma da escola sede para o desenvolvimento de uma intervenção didática que fez parte desta investigação como será clareado no capítulo de metodologia desta dissertação).

¹ Fui aprovada como professora efetiva no concurso da Secretaria de Educação do Estado do Ceará realizado no ano de 2018 aguardando a homologação.

Atualmente (ano de 2019) atuo no anexo mais distante da sede, cerca de 40 km. Leciono em dois horários, tarde e noite. Ao todo, atendo 166 alunos distribuídos entre as séries 1º ano, 2º ano e 3º ano do ensino médio.

Uma das maiores dificuldades que enfrento nesta escola é a implementação de aulas experimentais de física. Na escola sede existe um laboratório de Física com diversos experimentos e o suporte de um professor, que atende a muitos estudantes devido as turmas serem bem numerosas (aproximadamente 45 estudantes), mas na Unidade Anexa, onde sou professora, apesar das turmas não serem grandes (cerca de menos de 30 alunos) o maior problema é a não existência de um laboratório de ciências. E esta problemática como será visto foi uma das inspirações para investirmos no campo da modelagem científica para proporcionar um ensino de física mais envolvente para os estudantes. A ausência e pouca consideração para o ensino de aulas experimentais é uma realidade não só na escola em que trabalho, mas presente na maioria das escolas da rede estadual de ensino do Estado do Ceará (opinião baseada em muitas conversas e escutas de outros professores).

Baseada em minha formação docente e experiência reais de ensino, mergulhada no cotidiano escolar, enfrentando diariamente problemas reais e desafios inesperados, fui percebendo que é preciso que o professor possa estar constantemente buscando encontrar formas de inovar suas aulas. Um dos caminhos era a necessária perseguição da formação continuada para melhor aperfeiçoamento de minha prática profissional. Neste contexto foi que despertei o interesse de tentar a seleção para o Programa de Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física – MNPEF (Polo31) da Universidade Regional do Cariri – URCA, campus Crajubar localizado no Município de Juazeiro do Norte- CE, no ano de 2017. Com a realização deste curso pude ter contato e aprofundamentos conceituais na área da Física e contatos com discussões de conhecimentos na área do ensino de física, por exemplo, teorias de aprendizagens para o ensino de física, aspectos teóricos sobre o ensino de física no ensino fundamental e médio, tecnologias da comunicação e informação, práticas experimentais.

É importante dizer que o desafio do professor e da professora no ambiente escolar é estar sempre investigando diferentes estratégias de ensino e aprofundar alternativas que possam auxiliar sua prática, visando impulsionar o desenvolvimento das aprendizagens dos alunos. Estou ciente que não existe uma receita pronta que o

professor deve adotar para obter o êxito em sala de aula, compete tornar estas técnicas adaptáveis à sua realidade (argumento fundamental para pensar estratégias de ensino em caráter do mestrado profissional em ensino de Física). Para isso, entendemos que nós professores precisamos ter uma formação de qualidade na unidade, indissociando a teoria e prática, adquirindo uma formação para interagir, modificar o que for necessário para nossa prática e que se chegue aos objetivos desejados, e que os alunos consigam ampliar suas habilidades a partir dos conhecimentos que possuem.

A seguir esclarecemos melhor a escolha da temática de investigação, problemas e etapas teórico/ metodológico deste trabalho.

1.2 Problematização do tema, questões de pesquisa e objetivos

Ensinar Ciências da Natureza, particularmente o componente física, tem sido um desafio histórico já previsto no discurso da legislação educacional brasileira. Por exemplo, os Parâmetros Curriculares Nacionais - PCN específicos das Ciências da Natureza (BRASIL, 1999) e os Parâmetros Curriculares Nacionais Complementares - PCN+ (BRASIL, 2002) voltados para o Ensino de Física do Ensino Médio apontavam a necessária renovação do ensino de Ciência. Esses documentos já apontavam a necessidade de superação de um ensino de física tradicional (baseado em um ensino memorístico por resolução repetitiva de exercícios e fórmulas, sem compreensão). Documento recente, de caráter obrigatório, tal como a Lei da Base Nacional Comum Curricular – BNCC (BRASIL, 2018) estabelece conteúdos a serem tratados na educação básica e obriga o ensino de Ciências a contemplar o caráter investigativo dos estudantes. Essas legislações educacionais comumente defendem que os conhecimentos científicos possam servir para que os estudantes usem-nos socialmente na resolução de seus problemas cotidianos, assim convergindo como um dos maiores desafios para a formação científica de qualidade de todos os cidadãos.

Desta forma, baseada em minha experiência profissional e, em uma problemática destacada na legislação, a componente física, sendo uma disciplina da área de ciências da natureza, possui suas dificuldades centradas principalmente em dois aspectos: a falta de relação dos conceitos científicos estudados na escola com a realidade (fenômenos reais) vivenciada no dia a dia dos estudantes; também a pouca habilidade dos discentes com o formalismo matemático necessário.

No passado, segundo Maritan (1963), os estudiosos obtinham solução de diversos problemas partindo, principalmente, de observações dos fenômenos do cotidiano em sua volta. Nesse tempo, entretanto, havia uma dificuldade imensa de representar matematicamente esses fenômenos observados, ou seja, uma forma de construção de modelos simples para uma compreensão teórica de um objeto da realidade. O fenômeno, na prática, em geral, era representado por equações matemáticas grandiosas, que contribuía mais para desistência de muitos do que para investirem na área da ciência.

Reiteramos que atualmente o ensino de Física passa por uma situação ainda mais delicada, pois as aulas, muitas vezes se limitam apenas à reprodução de cálculos matemáticos (com muita abstração) sem sentido conceitual para o aluno e distante de sua realidade, como foi discutido anteriormente. Esta lógica, em minha opinião, contribui mais para que os estudantes cheguem à conclusão de que a Física é uma disciplina complicada e que é impossível de aprendê-la.

Ainda baseado em experiências profissionais (docência no ensino de Física na Educação Básica da Secretaria de Educação do Estado do Ceará), em muitos momentos de situações reais de aulas de ciências, o professor se depara com frequência com diversas perguntas lançadas pelos estudantes. Por exemplo: *Qual a finalidade deste conteúdo para minha vida? Para que todo esse conhecimento vai me servir?*

Então o professor, na maioria das ocasiões, fica sem saber o que responder frente à obrigação de transmitir o conteúdo curricular prescritivo. Conjecturamos que esta inquietação dos alunos pode estar diretamente relacionada a um desinteresse deles pelo formalismo matemático que representa muitas explicações dos fenômenos físicos. Por exemplo, no primeiro ano do Ensino Médio, o ensino da cinemática em geral é tratado por meio da valorização de funções e gráficos para representar aspectos dos movimentos de um corpo. Lógica esta que consome uma etapa significativa da carga horária da componente curricular física (em nossa opinião o cálculo não é a parte mais importante do conhecimento dos fenômenos físicos, mas sim uma representação, uma forma de desvendar algumas curiosidades que envolvem estes fenômenos).

Resultados de pesquisas na área do ensino de Ciências revelam diversas alternativas metodológicas voltadas para melhoria do processo de ensino e aprendizagem (exemplos: sequências didáticas; uso de tecnologias digitais; ensino

investigativo; ensino por projetos; uso da história e epistemologia da ciência; metodologias ativas). Dentre a multiplicidade de estratégias didáticas destacamos, em particular, a abordagem da modelagem científica, usada para apoiar o estudo científico dos fenômenos da natureza.

A modelagem científica é bastante considerada no ensino de Física, pois está associada à compreensão dos fenômenos reais. Buscando entender melhor esta estratégia, adotamos para suporte teórico analítico desta dissertação as ideias de Mario Bunge (2017), que defende a modelagem científica para o estudo e compreensão da natureza. Este autor discute os significados conceituais desta teoria acerca de um objeto-modelo e um modelo teórico. Para ele, um *modelo teórico* é um objeto hipotético-dedutivo que diz respeito a um *objeto-modelo* que, de acordo com ele, pode ser uma representação esquematizada de um fenômeno físico que pode ser uma situação real ou fictícia. Este pensador afirma que a modelagem científica pode ser considerada como uma maneira de criar modelos que possa aproximar uma situação ideal de uma real, servindo de meio para auxiliar a compreensão dos alunos pela de assimilação. No capítulo II buscou-se aprofundar melhor aspectos conceituais da teoria da modelagem científica.

Baseados no aprofundamento da abordagem da modelagem científica, o que buscamos entender neste trabalho de dissertação de mestrado são as seguintes questões:

- *A aprendizagem dos estudantes de uma turma do ensino médio sobre as Leis da Termodinâmica poderá ser facilitada com a abordagem da modelagem didático científica, especificamente a partir da construção de um modelo conceitual do funcionamento de um motor a combustão de uma moto?*
- *O desenvolvimento de uma sequência de ensino por meio da abordagem da modelagem científica poderá despertar interesse dos estudantes e possibilitará a promoção de aspectos conceituais da Termodinâmica?*
- *É possível o desenvolvimento progressivo dos modelos representacionais dos estudantes em direção à modelagem conceitual² de um objeto real de seu cotidiano?*

² Segundo Moreira (2014) o modelo conceitual serve para fornecer uma ideia simbólica do real. O autor afirma que neste são atribuídos algumas propriedades visando inclui-lo em uma teoria que seja capaz de representar teórica e matematicamente e a construção de um modelo conceitual se inicia com um processo de esquematização e simplificação da realidade.

A escolha do entendimento de um “motor a combustão interna” partiu do interesse dos estudantes em entenderem cientificamente esta tecnologia bastante presente em seu cotidiano. Como salientamos, a maioria precisa se deslocar de localidades distantes para vir à escola e o meio de transporte muito usado na cidade de Acopiara são as motos, na zona urbana e também na zona rural.

Neste trabalho procuramos, como objetivo maior, investigar a aprendizagem sobre as leis da Termodinâmica usando a abordagem da *Instrução por Modelagem* focando um ciclo de modelagem efetivada em uma turma do Ensino Médio de uma escola pública estadual do município de Acopiara (região Centro Sul do Ceará). Como objetivos específicos buscaram-se:

- Explorar os modelos representacionais dos estudantes acerca das Leis da Termodinâmica e o que pensam sobre os mecanismos de funcionamento de um motor a combustão interna. Busca-se associar conceitos físicos com fenômenos práticos (mais próximo da realidade concreta dos estudantes);
- Desenvolver e avaliar uma sequência de ensino para promover o estudo de conhecimentos científicos por trás do funcionamento do motor à combustão de uma moto baseada na abordagem dos *Ciclos de Modelagens proposta por David Hestenes*;
- Investigar a ocorrência do desenvolvimento de aprendizagens dos estudantes sobre aspectos da Termodinâmica com a utilização da proposta de ensino focando a Instrução por Modelagem;
- Construir um material de apoio didático (Material Instrucional) para apoiar outros professores que desejam, a partir dos resultados desta experiência, realizar investigações em seu contexto escolar considerando a temática da modelagem científica.

Brandão, Araújo e Veit (2008) afirmam que o modelo em si, não é detentor de todo conhecimento necessário. Estes autores afirmam que é preciso agregar e considerar os conhecimentos que os alunos já possuem, ou seja, os conhecimentos que eles adquirem anteriormente. Dizem, estes autores, que o modelo é uma representação de um fenômeno, não se constituindo no fenômeno real, e que é possível, é que em algum momento pode haver falha ao representar a realidade.

Como referencial metodológico de apoio à realização da intervenção na escola, escolhemos a sequência de ensino de “*Instrução por Modelagem*” proposta por David Hestenes. No capítulo 2 é apresentada uma discussão sobre a abordagem da modelagem científica defendida por Mario Bunge. O capítulo segue com uma discussão sobre as etapas de uma sequência de Instrução por modelagem defendida por David Hestenes, que como veremos constitui referência metodológica deste trabalho de dissertação. O estudo desta proposta foi inspirador para elaboração adaptada de uma sequência de ensino específica para uma turma de ensino médio de uma escola pública de Acopiara. Ainda neste capítulo apresentamos uma seção sobre uma breve revisão de literatura sobre a abordagem da modelagem científica no ensino de ciências. No Capítulo 3 está presente a construção da metodologia adotada neste trabalho conjuntamente com a elaboração da sequência de ensino. O estudo é de natureza qualitativa de caráter de pesquisa-ação como será melhor aprofundado neste capítulo. No capítulo 4 apresentamos uma discussão de alguns aspectos conceituais do estudo da Termodinâmica que é o assunto estudando e que faz parte de toda elaboração da sequência de ensino. O capítulo 5 traz uma discussão analítica descritiva sobre os principais resultados evidenciados nesta investigação de mestrado. No capítulo 6 encontram-se algumas considerações conclusivas.

2 MODELAGEM CIENTÍFICA NA VISÃO DE MARIO BUNGE, A INSTRUÇÃO POR MODELAGEM DE DAVID HESTENES E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE FÍSICA

2.1 A modelagem científica na visão de Mario Bunge

Bunge (2017) ressalta que as teorias científicas, em geral, são apresentadas por meio de uma linguagem matemática para representar fenômenos da realidade. Desta forma, para ele qualquer teoria em particular, pode ser considerada como um modelo matemático de um pedaço da realidade. Este pensador defende que a finalidade de construção de um modelo conceitual é para fornecer uma imagem simbólica do real, como forma de apreensão deste real.

A finalidade do trabalho com modelo é a tentativa de se eliminar complexidades reais afirma Bunge (2017). Para ele esta abordagem serve de busca para soluções mais precisas e que possam ser mais fácil de interpretar, por exemplo, uma forma de investigação de problemas mais complexos (interpretamos que a modelagem é uma estratégia usualmente empregada no contexto da física para melhor entendimento de um fenômeno a partir de seu recorte).

No livro “*Teoria e Realidade*” Bunge (2017) fornece um exemplo interessante sobre a compreensão de um “modelo teórico”. Ele ensina que não basta representar um líquido como uma rede de moléculas ou mesmo o cérebro como uma rede de neurônios, mas defende que é preciso fazer uma descrição detalhada sobre seu funcionamento seguindo as leis gerais que as definem. Mario Bunge, fundamentado neste procedimento propõe que seja possível a elaboração de uma teoria do *objeto-modelo* que define como um *modelo teórico* da realidade. É neste sentido que ele entende que quanto mais se exige fidelidade a um objeto real isso leva ao comprometimento da necessidade de complicação dos modelos teóricos.

O que seria então um *objeto-modelo* para Mario Bunge? Ele interpreta como sendo uma representação de um objeto real ou imaginário, que pode ser um objeto perceptível ou imperceptível podendo ser esquematizado a este objeto. Ele diz que este objeto pode ser uma coisa ou um fato (BUNGE, 2017). Bunge (2017) compreende que um objeto-modelo, mesmo depois de aperfeiçoado (entendemos como sendo isolado da natureza), não servirá muito, a não ser se for encaixado em uma conjuntura de ideias em que seja possível estabelecer relações dedutivas. Ele argumenta que toda representação

esquemática de um objeto pode ser chamada de *objeto-modelo*, dizendo que se o objeto representado for algo concreto seu modelo é entendido como sendo uma idealização do mesmo.

Mario Bunge ressalta que esta representação pode ser pictórica, por exemplo, por meio de um desenho, ou mesmo conceitual, neste caso, por exemplo, uma fórmula conceitual. No processo de representação Bunge diz que o objeto-modelo pode deixar escapar certos traços de seus referentes (ele atribui este termo aos fenômenos ou objeto da realidade) que pode possuir aspectos da imaginação capturando somente de forma aproximada relações entre os aspectos que ele incorpora.

Um objeto pode ser representado esquematicamente por meio de um desenho (que pode ser um desenho animado) para representar um modelo concreto diz Bunge (2017). Para ele esta esquematização será parcial devido poder desconsiderar certas propriedades dos objetos reais que não necessitam serem representadas. Ele ainda enfatiza que um mesmo objeto poderá ser representado de várias formas a depender de nossa imaginação, isto é, pode ter vários objetos-modelos, mas segundo ele, dificilmente um modelo teórico pode variar porque eles devem fazer parte das teorias científicas. Afirma o autor que o modelo teórico está relacionado com a evolução do conhecimento, desta forma, não sendo possível sofrer variação arbitrariamente.

Bunge (2017) afirma que:

As teorias específicas ou modelos teóricos encerram objetos-modelo do tipo conceitual mais do que representações visuais literais ou figurativas. Sem dúvida, é possível sempre descrever o modelo com o auxílio de um diagrama e mesmo, às vezes, com a ajuda de um modelo material – tais como os modelos esféricos das moléculas: este auxilia a compreender as ideias difíceis e algumas vezes a inventá-las. Não obstante, nem diagrama nem análogos materiais podem representar o objeto de uma maneira tão precisa e completa como o faz um conjunto de enunciado. (ibid., p. 25)

Bunge (2017) enfatiza que os desenhos por mais importantes que possam ser para as representações em ciência (principalmente na ciência experimental) não integram completamente as teorias. Para ele as teorias são constituídas por sistemas de proposições e defende que “*toda teoria, mesmo abstrata, pode ser acompanhada de diagramas mais ou menos representativos dos objetos de que trata a teoria*” (ibid., p. 26).

Todo modelo teórico é parcial e aproximado porque ele apreende somente uma parte das particularidades do objeto que está sendo representado descreve Bunge (2017).

Converter coisas concretas em imagens conceituais, ou objeto-modelo, de forma cada vez mais sofisticada para posteriormente expandi-la em modelos teóricos mais complexos e fiéis aos fatos segundo Bunge (2017) é a única maneira de poder captar a realidade pelo pensamento. Desta forma, para ele, os objetos-modelo e modelos teóricos são considerados como esboços hipotéticos dedutivos de algo e situações tidas como reais.

Bunge (2017) enfatiza que “os objetos-modelos mantêm-se estéreis a não ser que sejam introduzidos ou desenvolvidos em alguma teoria.” (ibid., p. 32). Ele afirma que para o desenvolvimento de um modelo teórico o objeto-modelo precisa ser expandido e engajado em uma estrutura teórica herdando suas leis. Explica, o autor, que o *modelo teórico* de um objeto concreto não corresponde à complexidade de seu referente, mas atesta que este objeto é mais rico do que o objeto-modelo (para ele o objeto modelo possui uma lista de características do objeto concreto). Como exemplo, ele cita que um planeta ao ser modelado como uma massa pontual, ou como uma bola, não se está afirmando muita coisa, mas para construção de um modelo teórico este planeta (objeto-modelo) deve ser inserido em um sistema de leis, por exemplo, no caso particular da física, em certas leis de movimento (conhecimentos científicos).

Uma questão inquietante problematizada por Mario Bunge, em relação aos modelos, foi saber se os modelos podem mesmo representar a realidade, pois sendo uma maneira de idealização poderia ser um recuo da realidade. Bunge (2017) conclui que os objetos-modelo e os objetos teóricos tratam de objetos reais. Mas, de acordo com ele, é responsabilidade do experimentador comprovar a semelhante suposição da realidade feita. Ele entende que nenhuma outra forma revelou ser melhor sucedida como método para a possibilidade da apreensão da realidade, ou seja, propor modelos e testá-los exaustivamente.

A seguir apresentamos uma proposta de apoio didático para o trabalho com modelagem científica, a *instrução por modelagem* defendida por David Hestenes. Reiteramos que esta proposta serviu de embasamento para elaboração de uma proposta de sequência didática para o desenvolvimento de uma intervenção didática neste trabalho que será clareada no capítulo 3.

2.2 A instrução por Modelagem de David Hestenes: modelos representacionais e modelos conceituais

Esta seção descreve a teoria da modelagem proposta pelo americano David Orlin Hestenes que culmina com a elaboração da estratégia chamada de Instrução por Modelagem. Hestenes (2010) diz que a Instrução por Modelagem está baseada na ideia de que o desenvolvimento cognitivo em ciências e em matemática está relacionado ao processo de construção, validação e a aplicação de modelos conceituais. Para ele um dos desafios no ensino e aprendizagem científica é fazer a articulação entre os modelos representacionais dos alunos, estruturados nas representações sobre os fenômenos reais, e os modelos conceituais (representações sistemáticas e científicas) (SOUZA; ROZA, 2016).

Souza e Rozal (2016) defendem que é necessário fazer com que os estudantes percebam as relações dos conteúdos com situações que são vivenciadas em seu cotidiano (este pensamento, mostra intensa relação com a abordagem da modelagem científica proposta por Mario Bunge é interessante para o pensar práticas de ensino de física que possam despertar interesse dos estudantes).

A Teoria da Modelagem é uma abordagem cognitiva que afirma que os indivíduos conseguem elaborar modelos representacionais para servir de orientação nas interações com a realidade (SOUZA, SANTO, 2017).

Souza e Santo (2017) dizem que os alunos geralmente usam representações (simbólica, linguagem oral e escrita, pictórica, linguagem matemática) para enfrentarem soluções de problemas em ciências e matemática. Segundo esses autores, a Teoria da Modelagem surgiu a partir dos últimos trinta anos e foi desenvolvida por David Hestenes. Esta teoria busca vincular a construção dos modelos representacionais com modelos científicos embasando a formação científica em ciência e matemática.

A conceituação de modelos representacionais foi desenvolvida pelo psicólogo Johnson-Laird (2005). Ele afirma que quando os indivíduos percebem o mundo eles conseguem construir modelos representacionais usados para representar a natureza em seu entorno. Para ele estes modelos, em geral, são influenciados pelos seus conhecimentos prévios, modelos fundamentados nas percepções e intuições dos indivíduos.

Souza e Santo (2017) dizem que os modelos representacionais são usados para representações das diversas observações realizadas pelas pessoas em sua vida cotidiana. Estes autores ressaltam que estes modelos representacionais interagem fortemente com os conhecimentos científicos (em se tratando em educação em ciências) que contribui para o processo de construção de novos modelos, mas aperfeiçoados (resultantes de um longo processo de ressignificações cognitivas). Eles argumentam que na escola os alunos já vêm com certos modelos representacionais pré-elaborados que são oriundos de suas formas de vida cotidiana. Alertam os autores que, em geral, os professores fornecem uma programação curricular que desconsidera os modelos representacionais dos estudantes e afirmam que este fato pode dificultar a aprendizagem em ciências.

Os modelos conceituais seria para Hestenes (2006) os que são representados externamente por sistemas simbólicos. Ele diz que no caso particular da física um conceito desta área é representado em geral por um símbolo observável (atribuindo forma e significado). Por exemplo, o autor exemplifica que o conceito de força na física é simbolizado pela equação $F = m.a$ representando a forma matemática que engloba os significados da Segunda Lei de Newton.

Hestenes (2006) define *um modelo conceitual* como um constructo³ em que seu referente (entendido como um objeto da realidade) é pensado como uma construção simbólica. Um modelo conceitual é produzido, então, quando é possível uma codificação da estrutura de um modelo representacional através de um sistema simbólico. Este modelo é visível e pode ser manipulado (HESTENES, 2010, SOUZA; SANTOS, 2017).

A abordagem da *Instrução por Modelagem* centra na elaboração e aplicação de modelos conceituais de fenômenos físicos para apoiar o processo de ensino e aprendizagem de ciências. Nesta perspectiva os alunos são estimulados a argumentarem sobre os conhecimentos científicos. Neste processo os estudantes são convidados a investigarem um fenômeno para construírem uma representação (um modelo conceitual). Estes modelos podem perpassar conhecimentos das leis gerais da física e que ultrapassem o nível conceitual dos mesmos (ERIC BREWE, 2008).

³ Entendido como um representação da realidade, uma espécie de moldes, padrões que o ser humano elabora em sua mente para dar sentido a realidade em seu entorno (MOREIRA, 2011; KELLY, 1963).

Hestenes (2010) afirma que o foco da Instrução por Modelagem consiste em um processo investigativo, onde o estudante poderá ter uma participação mais integrante durante o processo de compreensão de um fenômeno físico. Nesta estratégia o professor possui o papel de ser um agente incentivador do processo de pesquisa dos alunos. A seguir apresentamos uma proposta de ciclo por modelagem para apoiar o ensino defendido por David Hestenes.

2.3 Sequência de ensino seguindo a Instrução por Modelagem de Hestenes

Hestenes (2010) diz que o ciclo de modelagem pode ser construído em duas etapas: uma de desenvolvimento do modelo e outra de aplicação. Resumidamente ele afirma que as fases do trabalho com modelagem são: *(i) a construção; (ii) análise; (iii) validação; e (iv) aplicação do modelo*. Para ele a sequência didática para elaboração de um modelo (sequência de ensino para aulas de ciências) pode seguir as seguintes etapas: discussão do tema; laboratório de investigação; Sessão de whiteboard; aplicação do Modelo; resolução colaborativa; Nova Sessão de whiteboard e avaliação. Abaixo apresentamos um detalhamento das etapas propostas pelo autor.

2.3.1 Desenvolvimento do modelo

2.3.1.1 Discussão do tema

Nesse tema, segundo o autor, poderá surgir de várias formas, por exemplo: de um experimento, situações problemas, simulações, situações fenomenológica do cotidiano. De acordo com Hestenes (2010) a discussão e negociação do tema devem estar relacionada a uma teoria científica. Ele sugere que se identifiquem as seguintes estruturas do modelo: sistêmica; geométrica; descritiva; interação e temporal⁴.

Segundo Souza e Rozal (2016) o termo “tema” pode sugerir diversas possibilidades para a sequência do ciclo de modelagem. Para eles, pode ser uma situação do cotidiano, ou uma notícia de jornal, um experimento, uma simulação computacional, um vídeo, um problema aberto, construção de artefatos etc. Afirmam estes autores que pode também partir de uma determinada curiosidade dos estudantes ou mesmo uma situação interessante que parta de seu interesse. Neste sentido, a escolha do

⁴ Maneira dos alunos usarem ferramentas representacionais para servir de modelagem de uma estrutura de sistemas reais. Esse reconhecimento da estrutura sistêmica como etapa fundamental no processo de construção de um modelo que se inicia com a identificação da composição e interação do sistema a ser modelado seguido da criação de certo diagrama deste sistema para representa-lo (SOUZA; ROZAL, 2016).

objeto de estudo, neste trabalho de dissertação, se deu pelo grande interesse dos estudantes em buscar entender, como funcionam o motor de uma moto, explorando quais as leis da Física que estão por trás desta tecnologia. Reafirmamos que a maioria dos estudantes utiliza este transporte bastante comum em seu dia a dia. O conteúdo de física para a compreensão do motor da moto está relacionado com o campo da Termodinâmica, as Leis que regem o estudo da energia e do rendimento de uma máquina. Toda explanação conceitual sobre este assunto está descrito no capítulo 4 desta dissertação.

2.3.1.2 Laboratório de investigação

Etapa proposta para encontrar grandezas científicas que englobam o fenômeno que farão parte do modelo conceitual. Momento que David Hestenes sugere a divisão da turma em grupos colaborativos (entre três e cinco membros). Etapa de incentivo dos estudantes para procedimentos e pesquisas em várias fontes e que se usem diferentes inscrições simbólicas, tais como: verbal, escrita, algébrica, diagramática e gráfica, na tentativa de propor respostas para as questões de modelagem.

2.3.1.3 Sessão de whiteboard

Nesta fase o autor sugere o trabalho com miniquadros brancos para incentivar a socialização de experiências e resultados de pesquisa dos estudantes. Os quadros brancos são usados para representação dos modelos conceituais construídos pelos estudantes. Nesta ocasião os mesmos terão espaço para explicar o desenvolvimento de seu modelo e trata-se de um momento interessante para socializarem suas construções e pensamentos.

Hestenes afirma que o professor, nesta etapa, cumpre o papel de orientador e norteador do discurso dos estudantes em relação ao enquadramento de seus argumentos ao discurso científico. Souza e Santo (2017) salientam que “*os estudantes associem seus modelos representacionais às inscrições simbólicas ao interpretá-las cientificamente em meio a explicações, justificativas e previsões*” (ibid., p. 34). Estes autores afirmam que esta etapa pode ajudar na reformulação, renegociação de modelos representacionais dos estudantes que são incompatíveis com o conhecimento científico trabalhado.

2.3.2 Aplicação do modelo: discussão de problemas selecionados vinculados à estrutura sistêmica do modelo conceitual dos estudantes

2.3.2.1 Resolução colaborativa

Esta fase é para incentivar os estudantes a elaborarem relatórios escritos e desenvolvam o pensamento crítico no momento de resolução de problemas.

2.3.2.2 Nova Sessão de whiteboard

Momento de realização de outra seção de apresentação da resolução de problemas de aplicação em que os grupos devem organizar suas respostas para posterior socialização com os outros participantes buscando justificar seus procedimentos e pensamentos. Novamente o professor mantém seu papel de orientador. (HESTENES, 2010).

2.3.2.3 Avaliação

A avaliação, segundo Hestenes (2010), deve ser baseada em um processo formativo e de busca das aprendizagens dos estudantes, pensada durante todo processo de modelagem.

Souza e Rozal (2016) enfatizam que a abordagem por meio da Instrução por Modelagem é uma maneira de fazer com que os estudantes possam articular seu modelos representacionais com modelos conceituais (científicos) neste processo de construção, validação e aplicação de modelos. Reiteram que os estudantes são orientados a atuarem em grupos colaborativos e são estimulados a socializarem seu pensamento através de argumentações científicas e o professor, sempre ajudando no processo de pesquisa organizando as ações inerentes aos ciclos de modelagens (esta é uma orientação relevante sobre o estímulo ao trabalho em equipe que buscamos valorizar no processo de intervenção feita em uma sala de aula de física como pode ser conferido no capítulo 5 de análise e discussão dos dados). Os quadros brancos, segundo os autores, são usados para representar sinteticamente as ideias dos alunos.

2.4 Breve revisão de literatura sobre modelagem científica em algumas revistas de ensino de Física

Buscamos fazer uma breve revisão de literatura para revelar trabalhos que investigam aspectos da modelagem científica em sala de aula. Exploramos por meio da plataforma de periódicos da Capes artigos produzidos relacionado à temática. Inserimos

como palavras descritoras os termos: instrução por modelagem e modelagem científica. Foi possível selecionar 11 artigos associado à discussão sobre modelagem científica (BRANDÃO et al. 2008, 2011; MOREIRA, 2014; HEIDEMANN et al. 2012, 2016a, 2016b, 2018; SOUZA, ROZAL, 2016; SCHELLER et al., 2017; SOUZA, SANTO, 2017; CORRALLO et al. 2018). As principais revistas exploradas foram: Caderno Brasileiro de Ensino de Física; Revista Física na Escola; Investigação em Ensino de Ciência; Revista da Educação em Ciência e Matemática; Ciência e Educação; Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia.

Brandão et al. (2008) problematizam que o ensino de ciências por meio de modelos pode propiciar uma visão mais holística sobre a natureza e construção do conhecimento. Os autores propõe uma alternativa para o ensino de física, através da modelagem científica focando o ensino da cinemática, problematizando os conceitos de idealização e aproximações. Eles defendem que um modelo teórico não tem o intuito de representar a realidade de forma completa estando inserido dentro de um sistema de validade. Dizem esses autores que não existem modelos corretos, mas adequados. Brandão et al. (2011) defendem o processo de modelagem científica no ensino de física associado a um campo conceitual com implicações para o ensino e a pesquisa. Os autores fazem uma conexão entre as ideias de Mario Bunge sobre modelagem científica e a Teoria dos Campos Conceituais (TCC) de Weil-Barais e Gérard Vergnaud. Eles interpretam a TCC como sendo um conjunto de problemas, situações, conceitos, relações, estruturas, conteúdos e também operações de pensamento que estão entrelaçados na estrutura cognitiva de um sujeito (destacam os exemplos fornecidos pelos teóricos de campos conceituais tais como a mecânica e o eletromagnetismo).

Ainda na discussão do artigo anterior os autores explicam que a construção de conceitos seguem três etapas: os conjuntos de situações que dão sentido aos conceitos (S); invariantes operatórios que possibilitam os sujeitos operacionalizarem os conceitos, tais como objetos, propriedade e relações (I) e o conjunto de representações simbólicas (R). Eles defendem que os estudantes e o professor possuem invariantes operatórios que podem estar associados aos conceitos de modelo e de modelagem científica em física vinculada aos termos de idealização e aproximação.

Moreira (2014) destaca a importância do uso da modelagem em aulas de professores de ciências e matemática e seus aspectos epistemológicos. Ele descreve a visão epistemológica de Mario Bunge como uma forma de ensinar buscando uma imagem simbólica da realidade, que ele denomina de objeto-modelo e modelo teórico,

como foi visto neste capítulo na parte de revisão teórica sobre a modelagem científica. Em seguida o autor discute que o construtor do modelo procura adequá-lo a uma teoria que explique tanto teoricamente como matematicamente, ou seja, precisa funcionar na parte conceitual e na experimental. Para ele caso isso não aconteça o objeto-modelo precisa ser melhorado ou refutado. Destaca o autor que tudo isso precisa partir do aluno e que ele precisa ser o protagonista da sua busca do conhecimento.

Moreira (2014) diz que a escola contemporânea prioriza o ensino da resposta correta, onde as disciplinas de ciências são dadas como exatas e acabadas. Isso na sua perspectiva é incorreto, pois a Física, por exemplo, é cheia de variáveis aproximadas para se obter os dados desejados. O que Moreira (2014) quer deixar claro, em nosso entendimento, é que no ensino da Termodinâmica, por exemplo, é usado todo um conjunto de variáveis que estão ajustadas para gases ideais e a teoria é ensinada como algo que dará as respostas e resultados exatamente como foi calculado. Entretanto, quando testamos na realidade, existem outras inúmeras variáveis que temos que considerar e aproximar, já que não existem na realidade gases ideais, por isso a disciplina de Física está distante de ser algo exato.

Heideman *et al.* (2016a; 2018) defendem uma associação entre aulas de laboratórios de física com a modelagem científica. Os autores alertam que em geral as aulas de laboratórios de física proporcionam uma aprendizagem mecânica com mera reprodução de roteiros prescritos com pouca consideração dos aspectos teóricos que estão em torno dos experimentos. Eles propõem uma ressignificação do ensino dos conceitos de oscilações mecânicas, fluidos e Termodinâmica por meio de atividade que chamam de episódios de modelagens que levam à formação de concepções epistemológicas não ingênuas sobre a natureza da ciência. Em outro trabalho defendem o processo de modelagem científica como um campo conceitual próprio da física (HEIDEMANN, 2016b).

Souza e Rozal (2016), inspirados nas ideias de Hestenes, acerca da instrução por modelagem, elaboram uma proposta de ciclos de modelagem temática vislumbrando o desenvolvimento da alfabetização científica dos estudantes. Scheller *et al.* (2017) investigaram como estudantes dos anos iniciais da educação básica conseguem resolver problemas com auxílio da estratégia de atividade de modelagem. Os autores revelam que os estudantes elaboraram modelos estabelecendo relações numéricas, produzindo generalizações e previsões. Evidenciam que os estudantes elaboram significados e

expressão de seus pensamentos usando linguagem natural e diversas estratégias, como por exemplo, figuras e esquemas. Evoluíram no processo para a utilização de quadros, tabelas, generalizando a partir do processo de modelagem. O Ensino através da modelagem científica vem sendo pensado como metodologia a ser desenvolvida com alunos desde as séries iniciais.

Scheller (2017) diz que o ensino por meio da instrução por modelagem pode ser usado no ensino da matemática e ao mesmo tempo para o incentivo à ciência e à pesquisa. Afirmam os autores que esta abordagem pode auxiliar os discentes a buscarem repostas as suas curiosidades, sejam elas de caráter científico ou do senso comum. Além disso, defendem que esta metodologia pode proporcionar a serem seres ativos, protagonistas do seu próprio conhecimento e a não esperar as receitas prontas fornecidas pelos professores. Diz que para resolver algumas situações-problema, por exemplo, cada um deve dominar a linguagem necessária, interpretá-la, investigá-la e solucioná-la.

Scheller *et al.* (2017) afirma que Mario Bunge tem feito algumas críticas aos que se apoiam em uma visão relativista e idealista para traçar metodologias que, para ele, são devaneios. Os autores dizem que Bunge critica alguns autores que distanciam o ensino e aprendizagem da realidade do aluno e neste caso dão maior importância a coisas não realistas, sendo um equívoco na visão destes pensadores.

No artigo “*Construção e Realidade: O Realismo Científico de Mario Bunge e o Ensino de Ciências através de Modelos*”, o autor Pietrocola (1999) traça críticas às visões construtivistas de alguns autores que, segundo ele, valorizam o desenvolvimento individual e que apesar de não assumirem posições realistas eles não podem excluí-las.

Emerge deste contexto uma mútua exclusão entre posições **realistas** e **construtivistas**: admitir a possibilidade de acesso a um determinado nível de realidade relacionada ao mundo em que vivemos, implicaria em negar que tenhamos de construir este acesso por nossa própria ação. E de forma inversa, admitir que estejamos condenados a *interpretar* de forma ativa (a partir de referentes individuais ou coletivos) toda informação oriunda do mundo físico, implicaria em negar a existência de possíveis *níveis de realidade* associados ao mesmo. Esta exclusão realista não está, em geral, presente nos textos construtivistas. Porém é certo, que eles raramente assumem posições explicitamente realistas. (Pietrocola, 1999)

Para Bunge (Westphal & Pinheiro, 2004) é extremamente necessário levar em conta a ideologia da sociedade, pois a mesma pode interferir estimulando ou inibindo o desenvolvimento científico. Ele acredita, segundo Westphal & Pinheiro (2004), que o

realismo ontológico⁵ é a melhor forma de construção do conhecimento, já que este significa que o conhecimento adquirido é reflexo do mundo e do meio em que os seres estão inseridos.

Corrallo *et al.* (2018) apresenta uma proposta de associação entre os ciclos de modelagem com a automatização de atividades experimentais com a plataforma de prototipagem Arduino⁶. O estudo corresponde a uma formação continuada para professores da educação básica e estudantes de licenciatura. Os autores destacam que os professores consideraram importante esta possibilidade de relacionar ferramentas tecnológicas com a estratégia dos ciclos de modelagem. Revelam que os professores foram receptivos quanto à proposta e que tinham interesse de usar em suas aulas, mas afirmaram que existe muita dificuldade para essa consideração, citando a carga excessiva de trabalho, poucas aulas de física, infraestrutura deficiente. Souza e Santos (2017) por meio de uma revisão de literatura concluem que a Teoria da Modelagem possui implicações fundamentais para a educação científica e matemática.

Em uma análise geral interpretamos que os artigos analisados defendem o uso da abordagem da modelagem científica para ajudar a compreensão dos fenômenos físicos pelos estudantes. Vimos propostas de ensino de física por modelagem científica que vise uma formação dos estudantes de forma mais participativa e reflexiva rompendo com atitudes passivas em sala de aula. Como vimos, existem propostas de vincular o ensino de laboratório experimental com a abordagem da modelagem didática científica para superar procedimentos receituários deste espaço.

No capítulo que segue apresentamos a os passos metodológicos assumidos neste trabalho. Adiantamos que representa um trabalho investigativo de natureza qualitativa considerando a pesquisa ação.

⁵Realismo Ontológico é “a convicção de que o mundo existe independentemente de nós. Para Bunge, todas as operações da ciência, principalmente a formulação de teorias e o teste experimental das mesmas implicam essa crença e ficariam privadas de sentido sem ela” (CUPANI & PIETROCOLA, 2002, p. 101).

⁶ É uma placa eletrônica constituída de microcontrolador que possui circuitos de entrada/saída que podem ser integrada a um computador. Ele é composto por uma quantidade grande de sensores e componentes. Em geral o material pode ser encontrado em módulos (placas que possui sensores, resistores, capacitores, leds) (Fonte: site do arduino <https://www.arduino.cc/>).

3 METODOLOGIA

3.1 A abordagem qualitativa de investigação e a pesquisa ação

A pesquisa qualitativa possui um caráter mais subjetivo e descritivo de um fenômeno. É uma ideologia onde o professor busca avaliar a real aprendizagem do aluno, baseado em diversos critérios, por exemplo, a observação detalhada do professor nas dificuldades enfrentadas para o desenvolvimento da atividade, análise profunda dos modelos representacionais de cada indivíduo, o esforço e a colaboração de cada um.

Bokdan e Biklen (1994) dizem que a investigação qualitativa é aquela que considera o processo de interpretação. Estes autores destacam algumas características da investigação qualitativa, citamos algumas:

- (i) A fonte principal de coleta de dados é no ambiente natural e o investigador é o instrumento principal (é uma informação importante para este trabalho, pois todo processo de intervenção foi realizado na escola de atuação docente da autora);
- (ii) A investigação qualitativa deve ser descritiva e o investigador necessita fazer a análise em profundidade;
- (iv) Todos os resultados revelados não são usados para tentativas de confirmação de hipóteses elaboradas antecipadamente, mas as abstrações propositivas são feitas a partir das análises dos dados;
- (v) Valoriza a forma como as pessoas dão sentidos às suas vidas principalmente na atribuição de significados de suas ações;

Entendemos esta investigação como sendo uma pesquisa ação. Para Stake (2011) esta modalidade corresponde ao estudo da ação com o intuito de aperfeiçoá-la. Este método de investigação, segundo o autor, pode ser desenvolvido pelas pessoas que estão diretamente envolvidas na ação. Assim, Stake (2011) afirma que a pesquisa ação participante está menos preocupada na teorização e foca muito mais no desempenho centrando o estudo empírico em questões tais como: *o que estou fazendo? O que deveríamos estar fazendo de maneira diferente?* (ibid. p. 176).

Desta forma consideramos a pesquisa ação, pois estamos interessados em melhorar a prática docente por meios da avaliação de formas alternativas de ensino de

física. No caso em particular a discussão de conceitos da Termodinâmica com a estratégia da modelagem didático-científica. Na sequência apresentamos a contextualização do espaço de investigação.

3.2 O contexto da escola: aspectos da realidade escolar

A escola onde desenvolvemos a intervenção é uma escola pública estadual do município de Acopiara na região central do estado do Ceará. Como já foi dito a escola sede encontra-se na cidade e possui três extensões ou unidades anexas distantes, na zona rural.

É importante dizer que atuávamos, no período de realização da intervenção didática (Dezembro de 2018 a Janeiro de 2019), como professora no regime de contrato temporário com carga horária de 40h distribuídas na escola sede como também na unidade anexa com a seguinte lotação: no anexo com 6 turmas (turno da tarde com 1º, 2º e 3º anos e turno da noite com 1º, 2º e 3º anos); na sede era responsável por três disciplinas de física em três segundos anos (segundo G, C e D). Cada aula era de 50min. Também era responsável por três disciplinas chamadas Núcleo de Trabalho, Pesquisa e Práticas Sociais (NTPPS) em cada um desses segundo anos (quatro aulas de 50min cada), onde trabalhava a elaboração de projetos e questões sócio-emocionais dos estudantes. Foi escolhido o segundo ano C da escola sede para o desenvolvimento da intervenção com a justificativa de ser uma turma que apresentava dificuldade para aprendizagem de física (foi utilizado as aulas de física e as aulas reservadas para o NTPPS totalizando 6 aulas semanais). Ao todo foram 15 aulas usadas para intervenção.

Uma análise do Projeto Político Pedagógico (PPP) da escola revela que a instituição escolar cumpre o papel de ensinar e formar cidadãos. Em relação à infraestrutura na escola sede, esta conta com área total de 3.072m². Possui 12 salas de aula, 01 Centro de Multimeios, 01 sala de Vídeo, 03 laboratórios de Ciências que integra as componentes Física, Química e Biologia, 02 laboratórios de informática, 01 auditório, 01 secretaria, 01 sala da coordenação escolar, 01 sala da direção, 01 sala de professores, 01 almoxarifado, 01 cantina, 01 anfiteatro, 06 banheiros, estacionamento, 01 academia ao ar livre, pátio coberto, 01 despensa, 01 quadra de esporte coberta, corredores com rampas para atender as exigências de acessibilidade de pessoas portadoras de necessidades especiais-PNE e, ainda, tem toda sua área protegida por grades em seu entorno. (PPP, pag. 4). Essa escola é da rede regular de ensino, onde se

trabalha diversos projetos entre eles Núcleo de Trabalho, Pesquisa e Práticas Sociais (NTPPS), que funciona de acordo com alguns planos, contemplando não só a formação social do discente, mas também o desenvolvimento de pesquisas, incentivando os alunos a serem pesquisadores. A matrícula no ano de 2018 foi de 1.308 (ano da de realização da intervenção). Neste ano de 2019 encontram-se matriculados cerca de 1.530 alunos distribuídos em 38 turmas, conta-se com o número significativo de 71 professores, todos formados em suas respectivas áreas de atuação.

A escola sempre participa de programas governamentais e de avaliações externas como: Olimpíada Brasileira de Matemática das Escolas Públicas e Particulares (OBMEP), Olimpíada Brasileira de Física (OBF), Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM), Sistema Permanente de Avaliação da Educação Básica do Ceará (SPAECE) e ainda os vestibulares das diversas instituições. Os trabalhos são voltados para a melhoria dos resultados e para oferecermos aos nossos discentes uma oportunidade de transformação de suas realidades difíceis, por meio da educação. Não temos os melhores resultados da Coordenadoria Regional de Desenvolvimento da Educação (CREDE 16)⁷, mas também não são os piores e como somos a maior escola da região e recebemos alunos em todos os níveis de aprendizado, então é muito difícil alcançarmos bons resultados nas avaliações externas. Por isso precisamos trabalhar com metodologias diferenciadas, como estamos defendendo nesta dissertação de mestrado, através de sequências de ensino e modelagem científica.

No ano de 2018, tínhamos três turmas de NTPPS, onde trabalhávamos além da parte social projetos de caráter científico. Estes projetos, de forma simplificada, objetivavam mostrar aos alunos a estrutura e os passos de uma pesquisa científica. Além dessas turmas, estávamos responsáveis por cinco turmas onde lecionávamos a componente Física. Duas destas eram de primeiro ano, duas de segundo ano e uma de terceiro ano.

Sempre tive a preocupação em mostrar o que a Física tinha a oferecer para a sociedade, e o que os acontecimentos diários tinham em comum com as aulas. Faz-se necessário fazer esse trabalho, não só de aprendizado, mas de conscientização, já que a

⁷ Ao todo são 20 coordenadorias regionais no estado do Ceará distribuídas em todas as regiões. A CREDE 16 localiza-se na cidade de Iguatu, CE e integra a cidade de Acopiara, CE.

maioria dos alunos desenvolveu a cultura de que a Física estava apenas na sala de aula, e não em praticamente tudo que vivenciamos em nosso dia a dia.

3.3 Os participantes da pesquisa e a escolha do tema de estudo (Termodinâmica)

A pesquisa-ação foi aplicada na turma C do 2º ano do ensino médio da escola. Haviam 42 alunos matriculados. O critério de escolha desta turma foi principalmente em função de que a maioria dos estudantes tinha dificuldades de aprendizagem em Física e eram em geral muito dispersos (resultados revelados em provas escritas e observação do envolvimento dos estudantes em aulas). Do total eram 25 alunos do sexo masculino e 17 do sexo feminino. Desde o início os estudantes demonstraram muita curiosidade em participar da experiência didática, principalmente porque revelaram interesse em entenderem os aspectos científicos que discutiam o funcionamento do motor de uma moto. Reiteramos que o meio de transporte mais usado pelos estudantes era a moto fortemente presente na sua realidade. Apesar de usarem bastante este transporte, a maioria desconhecia a ciência por trás de seu funcionamento. Como veremos no capítulo de análise, os estudantes possuem explicações de senso comum sobre o funcionamento, mas distantes dos aspectos conceituais da Termodinâmica (ex. Conservação da energia; energia térmica; temperatura; trabalho de uma máquina térmica; pressão; rendimento de uma máquina). Desta forma partimos do pressuposto que estudar estes assuntos, considerando a modelagem científica, pode facilitar o entendimento destes conceitos da física para este nível de ensino.

3.4 Os instrumentos de coleta de dados: diário de campo, entrevista, questionário, observações

Na realização da intervenção fizemos uso de diversos instrumentos de coletas de dados entre eles: o questionário; a entrevista; o diário de campo (da professora investigadora e dos alunos) e observações das situações didáticas dos momentos das aulas. Um questionário inicial foi preciso para explorarmos os saberes existentes dos estudantes sobre conceitos elementares da Termodinâmica (resultado explorado pela aplicação de um questionário inicial que pode ser visto no Apêndice A), por exemplo, entendimento dos estudantes sobre os significados de:

1. Temperatura;
2. Calor;
3. Conservação da energia;
4. Trabalho mecânico na Termodinâmica;

5. Energia interna;
6. Conhecimentos deles em relação à questão: se ao colocarmos alimentos em uma panela de pressão e fornecermos energia térmica a mesma que, ao passar do tempo aquecerá provocando a eliminação de vapor, se neste caso, há conservação da energia.
7. Processos reversíveis e irreversíveis;
8. Transformação cíclica.

Com o intuito de estimular a produção escrita dos estudantes, foi entregue, no primeiro dia da intervenção, um diário de campo para cada grupo de trabalho. Neste diário de campo os estudantes foram orientados a registravam suas observações das aulas, das situações didáticas, suas dúvidas, suas expectativas, delineavam a organização das tarefas (as ações desenvolvidas pelos estudantes serão melhor esclarecidas na seção seguinte que descreve a sequência de ensino elaborada). O sistema planejado era que em cada aula um membro do grupo ficasse responsável para fazer a produção escrita gerada pelas decisões consensuais de toda equipe. Ao final da aula o caderno de campo era entregue à professora para que avaliasse a produção dos estudantes e servindo de parâmetro para diagnosticar as dificuldades e progresso dos estudantes.

Como parte dos instrumentos de dados também consideramos o registro feitos com instrumentos de imagens e vídeos para captar os momentos didáticos. Foi preciso solicitar autorização a direção e aos pais dos estudantes por meio de um termo de consentimento livre e esclarecido (Apêndice B).

Realizamos uma entrevista com cada membro de cada grupo para investigarmos suas opiniões acerca da experiência de ensino sobre o estudo da Termodinâmica por meio da abordagem da modelagem científica vivenciado por eles.

3.5 A construção de uma sequência de ensino baseado na abordagem de Ciclos de Modelagem de David Hestenes

Elaboramos uma sequência de ensino para nortear a apresentação do estudo da Termodinâmica por meio da inserção da abordagem da modelagem didático científica. A sequência foi pensada para ser desenvolvida em 15h aulas como já foi anunciado. De forma geral descrevemos a seguir:

- **Etapas I:** Na etapa inicial de discussão do tema foi projetado um questionário onde os alunos poderiam responder o que sabiam sobre conceitos básicos

da Termodinâmica. Nesta primeira etapa buscamos incentivá-los a responderem de forma livre o que pensavam sobre aspectos conceituais da física que explica o funcionamento de um motor.

- **Etapa II:** Na segunda etapa, a de Laboratório de Investigação, devem ser formada equipes e os alunos foram incentivados a desenharem um modelo representacional sobre como acham que funciona um motor à combustão de uma moto (momento de exploração dos saberes existentes dos estudantes). Na aula seguinte foi dada uma aula expositiva sobre as leis da Termodinâmica (por meio do uso da aula expositiva na lousa e apresentação de slides) (APÊNDICE C) e suas relações com os motores. Para complementar foi sugerido uma leitura de recorte do livro Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF) (poderá ser visto no capítulo de análise dos dados).

- **Etapa III:** Na terceira etapa realizamos uma primeira sessão de Whiteboard. Segundo a sequência proposta por Hestenes nesta etapa deveria ser entregue para cada equipe um quadro branco para os estudantes imprimirem suas produções (desenhos, mapas, e etc.). Mas na realidade ao procurarmos adquirir os quadros brancos percebemos que o custo ficou alto e inviável. Para contornar esta problemática realizamos uma adaptação considerando o uso de cartolinas de papel brancas e pinceis coloridos fornecidos pela coordenação da escola. Na cartolina foram estimulados a fazer um modelo representacional (antes do acesso as discussões conceituais).

Etapa IV: Na quarta etapa a resolução colaborativa foi proporcionada por meio do fornecimento aos alunos de atividades de casa, exercícios do próprio livro didático. Os estudantes puderam usar diversas outras fontes de pesquisa dentre elas o uso da internet (desde a pesquisa na internet como o contato pelas redes sociais com os colegas que moram distante).

- **Etapa V:** A quinta etapa foi reservada para a realização de uma nova sessão de Whiteboard. Usando outra cartolina, os estudantes elaboraram um modelo conceitual na tentativa de revelarmos a apropriação de aprendizagens. Nesta etapa promovemos uma socialização de resultados e discussões conceituais da Termodinâmica com toda turma.

- **Etapa V:** A última etapa foi um momento de realização da avaliação do professor acerca do desempenho dos alunos e a percepção da evolução de cada um. E ainda a avaliação de cada equipe sobre a sequência desenvolvida.

No quadro 01 abaixo sintetizamos as etapas seguidas da sequência de ensino. Apresentamos a proposta de atividades que podem ser realizadas em cada momento de aula.

Quadro 01: Sequência de Ensino Instrução por Modelagem para o estudo do motor de uma moto

Desenvolvimento do modelo
Etapa I: Discussão do tema
1º e 2º aulas
• Identificar os conhecimentos prévios dos alunos através de um questionário que irá abordar temas de Termodinâmica; • instigar a curiosidade dos alunos por meio de uma situação fenomenológica do cotidiano, o funcionamento do motor da moto. Com isso espera-se obter subsidio para a aula seguinte.
Etapa II: Laboratório de investigação
3º e 4º aulas
• dividir a turma em grupos de seis pessoas; • entregar cadernos de campo, para as anotações da equipe; • Entrega de quadro branco para cada grupo para a produção de um modelo representacional sobre o funcionamento do motor de uma moto;
Etapa III: sessão de Whiteboard
5º aula e 6º aulas
• Apresentação das produções dos estudantes de seus modelos representacionais
7º e 8º aulas
• Aula expondo os conceitos termodinâmicos dos livros com diversos tipos de procedimentos e pesquisas tais como: Leitura de texto do livro GREF, mídia visual e escrita no caderno de campo; • O aluno nesta etapa busca aprofundar aspectos teóricos sobre o campo da Termodinâmica para fundamentar cientificamente sobre o funcionamento do

motor;
Aplicação do modelo
Etapa IV: Resolução colaborativa
9º, 10º e 11º aulas
• Discussões de exercícios do livro; • Atividades para os estudantes fazerem em casa; • uso da internet;
Etapa V: nova sessão de Whiteboard
12º, 13º e 14º aulas
• elaboração de um modelo conceitual na tentativa de revelarmos a apropriação de aprendizagens; • O professor neste momento atuará como orientador, e os alunos farão um debate para defender o seu modelo de motor usando os conhecimentos adquiridos nas aulas e mais uma vez o quadro para ajudar a visualização de cada modelo; • os alunos irão desenhar novamente e explicar o modelo do motor, mostrando o que entenderam; • socialização dos resultados das produções dos estudantes associando agora com os conceitos vistos anteriormente; • o professor atuando como articulador; • Discussão de todas as dúvidas e conceituações dos discentes, fazendo assim as correções necessárias.
Etapa V: avaliação
15º aula
• avaliação será feita através da observação de cada etapa do desenvolvimento dos alunos, com base nos modelos do motor, nos relatórios e no debate; • avaliação feita pelos estudantes sobre a experiência vivenciada.

3.6 A elaboração de um material de apoio para auxiliar outras experiências didáticas (Produto Educacional)

Um dos objetivos deste trabalho é a produção de um material de apoio didático para outros professores de ciências que desejem inserir em suas aulas a abordagem aqui defendida que é o ensino da Termodinâmica por meio da modelagem científica. Desta forma o produto final gerado desta dissertação será uma sequência de ensino usando os conceitos de modelagem aplicados as aulas de Termodinâmica que estão descritos juntamente com algumas informações teóricas sobre a modelagem de Bunge e a sequências de ensino de Hestenes em um caderno pedagógico anexado neste trabalho. O caderno contará com uma breve apresentação da abordagem, seus aspectos teóricos e metodológicos. No caderno constará também uma proposta de uma sequência de ensino sem necessidade de ser considerada de forma fixa e rígida, mas aberta a possíveis ajustes e adaptações que depende de cada contexto escolar. Contará de um breve relato da experiência de intervenção realizada na escola de Acopiara, CE. Este caderno pedagógico pode ser conferido no Anexo D.

A seguir desenvolvemos um capítulo de apresentação e reflexão dos principais conceitos inerentes à área da Termodinâmica que será de fundamental importância como referência de conteúdo na elaboração da sequência proposta. Alguns aspectos conceituais são descritos de forma mais aprofundada em nível superior, mas é importante dizer que consideramos a apresentação específica de assunto a nível do ensino médio no esboço da sequência de ensino por modelagem.

4 DISCUSSÃO CONCEITUAL SOBRE AS LEIS DA TERMODINÂMICA

A Termodinâmica começou a se desenvolver a partir da necessidade do homem em diminuir os custos da produção em série. Este fato foi impulsionado pela primeira Revolução Industrial que culminou no interesse econômico de melhorias das máquinas em prol de seu aproveitamento máximo. Segundo Baldow & Jr (2010) “A revolução industrial constituiu-se em um dos principais fatores externalistas para o desenvolvimento da física e, em particular, da Termodinâmica nos séculos XVIII e XIX”.

Ao tratarmos a Física assim como a Termodinâmica como algo necessário para o desenvolvimento da sociedade, fica mais simples de entender o quanto é importante aprendermos sobre esse conteúdo. Portanto, neste capítulo serão apresentados conceitualmente as Leis da Termodinâmica sempre tentando associar com fenômenos observados no cotidiano, relacionado a esta área como uma forma de contextualizar e problematizar esse conteúdo.

Freire (2019) ressalta que a Termodinâmica foca o estudo de fenômenos térmicos. Ele diz que esta área específica da Física contempla estudos especificamente de processos de aquecimento, resfriamento, expansões, compressões de sistemas materiais de caráter macroscópico. O autor considera um sistema termodinâmico como corpos materiais macroscópico simples ou homogêneo formados por vários componentes divididos por paredes e o meio externo a este sistema compreendido como a vizinhança do mesmo.

A primeira Lei da Termodinâmica vai além do conceito de conservação da energia, envolve por sua vez, as considerações sobre energia térmica e trabalho como formas de transferência de energia, isso interfere diretamente na energia interna do sistema. Para uma melhor compreensão das Leis da Termodinâmica é necessário aprofundar-se nos conceitos de Energia térmica, Trabalho e Energia Interna o que tentaremos explicar a seguir.

4.1 Calor

Os processos de transmissão de energia térmica podem ocorrer por meio da condução, quando dois objetos de temperaturas diferentes se encostam e o que tem

maior temperatura cede energia o que tem menos temperatura, por convecção quando o fluido que está quente, portanto menos denso sobe e o fluido de menor temperatura e mais denso desce formando as chamadas correntes de convecção e ainda por radiação, que é a transmissão de energia térmica por meio de ondas eletromagnéticas. A energia térmica pode ser fornecida quando o objeto se aquece e retirada quando o objeto se resfria. Quando há aquecimento ocorre uma expansão e no resfriamento ocorre uma contração dos fluidos, foi com isso que os motores começaram a ser criados.

A quantidade de energia térmica pode ser representada pela equação abaixo:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

Onde Q é a quantidade de energia térmica, m é a massa do fluido, c é o calor específico e ΔT é a variação da temperatura.

4.2 Trabalho realizado em um sistema com pressão constante

Para Freire (2019) “*calor e trabalho são possíveis formas de transferência de energia entre sistema e vizinhança*” (ibid. p.41).

Considerando um gás contido em um reservatório fechado por um êmbolo que se move livremente sem atrito, podemos fornecer energia térmica ao mesmo, neste caso as moléculas irão, cada vez mais, ficar agitadas exercendo uma pressão no êmbolo. Entretanto, como o embolo se move facilmente esta pressão permanece constante durante todo processo, então podemos dizer que a transformação é isobárica. O resultado é o deslocamento do êmbolo por conta de uma força exercida pela pressão. Com esse deslocamento, é perceptível que houve um aumento do volume, ou seja, o volume variou. O trabalho realizado está diretamente ligado com a variação do volume; se a variação for positiva, isto é, se o volume aumentar, o trabalho é positivo e dizemos que o trabalho foi realizado pelo gás sobre o meio externo. Se a variação for negativa, ou seja, o volume diminuir, o trabalho é negativo e dizemos que o trabalho foi realizado sobre o gás pelo meio externo (YOUNG, 2008).

Segundo Young (2008) o gás exerce uma força nas paredes do recipiente no qual nos permite calcular o trabalho

$$dW = F \cdot dx \quad (4.2)$$

Sabendo que a força é dada pela equação $F = P.A$, então substituindo na equação (4.2), temos:

$$dW = P.A.dx \quad (4.3)$$

Neste sentido, pode-se ressaltar que $A.dx$ tem dimensões de volume, com isso a equação que permite calcular o trabalho em uma transformação gasosa é:

$$W = \int_{v_0}^{v_f} p.dV \quad (4.4)$$

Onde W é o trabalho, p é a pressão, v_f é o volume final e v_0 é o volume inicial.

Essa equação é válida no caso da transformação ser isobárica, ou seja, pressão constante. Entretanto, se a pressão variar pode-se calcular o trabalho por meio do cálculo da área da figura representada no gráfico, supondo que a pressão varie continuamente (linearmente).

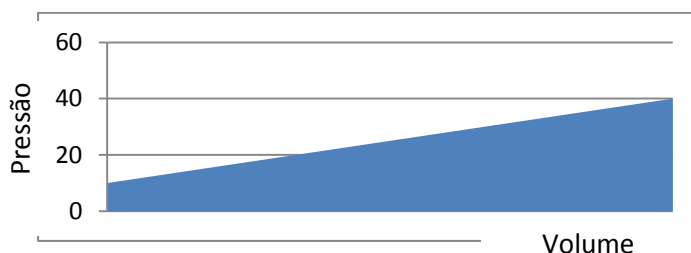


Gráfico 1: Representação de um gráfico no qual o trabalho é igual a área da figura.

Neste caso deve-se calcular a área do trapézio para encontrar o valor do trabalho.

$$W = A \quad (4.5)$$

4.3 Energia interna

A energia interna do sistema se relaciona com as condições do gás, já que é a junção de vários tipos de energia. Freire (2019) explica que conforme o princípio de conservação de energia, a diferença entre a energia térmica que entrou no sistema e o trabalho realizado (que sai do sistema) a energia acrescida neste sistema é descrita como a energia interna do sistema.

“energia térmica, que se associa ao movimento de agitação térmica das moléculas; energia potencial de configuração, associadas às forças internas conservativas; energias cinéticas atômico-moleculares, ligadas a rotação das moléculas, as vibrações intramoleculares e aos movimentos intra-harmônicos das partículas elementares.” (JÚNIOR, GILBERTO, & SOARES, 1993)

Durante uma transformação gasosa, por exemplo, a energia interna pode variar ou não, isso depende da temperatura do sistema se irá aumentar, diminuir ou permanecer constante. A energia interna inicial do sistema é representada por U_i , enquanto a energia final é U , e quando há aumento na temperatura a variação da energia é positiva, e se houver queda na temperatura a variação é negativa. Esta é representada por ΔU .

A variação da energia interna, segundo Freire (2019) é representada pela equação:

$$\Delta U = U(f) - U(i) = Q - W \quad (4.6)$$

4.4 Primeira Lei da Termodinâmica

A Primeira Lei da Termodinâmica tem como principal característica a conservação da energia, isso significa que a energia térmica fornecida ao sistema isolado (que não permite a trocas com o meio externo) é usada para realizar trabalho e para aumentar a energia interna (YOUNG, 2008). Ou seja, a energia interna faz o balanço entre a energia térmica fornecida e o trabalho realizado, permitindo que a energia sempre se conserve. A equação que descreve é:

$$Q = \Delta U + W \quad (4.7)$$

Podemos usar como exemplo o motor da moto que será objeto de estudo na proposta de ensino desta dissertação. A quantidade de energia térmica fornecida pela queima da gasolina serve para realizar trabalho (quando há a expansão do gás, fazendo o motor funcionar, e com isso, a moto se mover) e aumentar a energia interna do motor (aquecimento do motor).

Segundo Young (2008) quando definimos energia interna falamos da junção de diversas energias; matematicamente isso se torna muito difícil, pelas inúmeras equações

de energia que teríamos que resolver. Então, usando a primeira lei da Termodinâmica é possível calcular a variação da energia interna através da equação (4.7), basta sabermos os valores de Q e de W . Entretanto, apesar de deduzir o valor de ΔU , não sabemos o valor de U ou U_i , a menos que possamos definir um desses estados e neste caso encontrar o outro estado com a equação (4.6). Além disso, surge outra indagação, se o trabalho e a energia térmica fornecida dependem do caminho, então a energia interna também irá depender? Segundo Young (2008) apesar de Q e W dependerem do percurso percorrido, a relação $\Delta U = Q - W$ não depende. Para ele, a variação da energia interna durante processos termodinâmicos depende unicamente do estado inicial e do estado final do sistema e não do caminho que conduz um estado a outro.

4.4.1 Tipos de processos termodinâmicos

A) Processo adiabático

Estes processos se caracterizam por não haver troca de energia térmica, são processos que ocorrem muito rapidamente que não dá tempo de trocar energia térmica com o meio externo. Como exemplo desse processo citamos um desodorante antitranspirante ao ser usado, a pressão no interior é grande, entretanto ao ser liberado a pressão baixa rapidamente, então a temperatura também irá baixar por serem diretamente proporcionais. Como a temperatura baixou, a variação da energia interna será negativa, enquanto o trabalho realizado será positivo por ter ocorrido uma expansão (YOUNG, 2008).

No caso anterior, a equação (4.7) se reduz a $W = -\Delta U$. No caso de haver uma compressão adiabática, por exemplo, no caso de uma bola ao ser chutada, o trabalho é negativo, por ter havido uma redução no volume. Neste processo a bola é deformada e então a energia interna aumenta (as moléculas ficam mais próximas e aumenta a temperatura). Com isso a equação (4.7) inverte o sinal negativo e se restringe a $\Delta U = -W$ (YOUNG, 2008).

B) Processo Isométrico

Este processo se caracteriza por uma transformação gasosa a volume constante. Isso interfere na primeira lei da Termodinâmica diretamente, pois o trabalho realizado W depende da variação do volume. Um exemplo seria uma garrafa de refrigerante

lacrada, ao tirarmos da geladeira, estamos fornecendo energia térmica e sua energia interna irá aumentar, pois sua temperatura aumenta, entretanto, a nível macroscópico o volume permanece constante. Sendo assim, a equação (4.7) da primeira lei se torna $\Delta U = Q$ (YOUNG, 2008).

C) Processo Isobárico

O processo isobárico se desenvolve a partir de uma transformação gasosa a pressão constante, neste caso nenhuma das grandezas são nulas. Então a equação (4.7) continua completa.

$$\Delta U = Q - W$$

Um exemplo dessa transformação é uma panela, sem ser de pressão, cozinhando os alimentos, o ar acima da panela se mantém constante (YOUNG, 2008).

D) Processo Isotérmico

Este processo se caracteriza por acontecer com a temperatura constante. Para que isso ocorra a energia térmica precisa ser fornecida lentamente para que haja tempo de trocar energia térmica com o meio e manter o equilíbrio térmico. Quando isso acontece, em alguns casos, como o gás ideal, temos $\Delta U = 0$ e então a equação (4.7) fica $Q = W$.

Para complementar a Primeira Lei da Termodinâmica, foi enunciada a Segunda Lei da Termodinâmica (YOUNG, 2008).

4.5 Segunda Lei da Termodinâmica

A Segunda Lei da Termodinâmica expressa que a energia térmica flui naturalmente de um corpo quente para um corpo frio (YOUNG, 2008). Seria possível acontecer o contrário?

Na natureza não, é impossível que ocorra fluxo de energia térmica naturalmente do frio para o quente, se usarmos da racionalidade essa afirmação faz sentido, já que o quente é quem mais tem energia térmica, sendo natural que forneça

para o que tem menos energia. Contudo este raciocínio não científico pode não fazer sentido para alguns, então a explicação da ciência, segundo Young (2008), é que existe um fluxo natural das coisas na natureza, ele cita outro exemplo. Para este autor, pode-se transformar totalmente energia mecânica em energia térmica (por exemplo, quando usamos o freio para parar um automóvel. Existe a possibilidade de conversão parcial da energia térmica em energia mecânica como no caso de um motor de moto).

Com isso podemos obter a ideia de reversibilidade e irreversibilidade, estas grandezas dependem do sentido do processo termodinâmico.

4.5.1 Processos Reversíveis e Irreversíveis

Os processos reversíveis são aqueles que podemos inverter o processo e obter o que tínhamos antes. Por exemplo, o ar comprimido dentro de uma seringa, ao comprimir bem devagar e depois soltarmos, o gás se expande e volta ao estado inicial. Este processo só pode ocorrer se tiver um equilíbrio termodinâmico, ou seja, nenhuma mudança de estado físico (YOUNG, 2008).

Já os processos irreversíveis são bem comuns na natureza, por exemplo, uma gota de tinta na água, uma vez misturada à água é impossível voltar ao estado inicial. Ou um ovo que se quebra e a energia térmica transferido de um corpo quente para um corpo mais frio (YOUNG, 2008).

Portanto, os processos irreversíveis estão mais comuns na natureza, já os processos reversíveis só ocorrem de acordo com algumas condições. Então, se formos relacionar com a desordem, podemos dizer que os processos irreversíveis tem um grau maior de desorganização, já que ocorrem naturalmente sem a necessidade de que se controle nenhuma variável. Já os processos reversíveis só ocorrem de acordo com determinadas condições. Com isso é necessária uma menor desordem, mais à frente vamos calcular este grau de desordem usando o conceito de entropia (YOUNG, 2008).

4.5.2 Máquinas Térmicas

Segundo Martini et al. (2016) a água foi um dos elementos mais importantes para a Revolução Industrial do século XVIII, já que através do seu aquecimento ela pode mudar seu estado físico e mover diversas coisas, rodas, marteletes, turbinas de

termelétricas entre outras. O que acontece é que a compressão e depois a liberação do vapor de água pode mover diversas coisas, inclusive motores, é o que acontece com as máquinas a vapor.

“[...] o aproveitamento do vapor de água no funcionamento das máquinas a vapor, aperfeiçoadas por James Watts, por volta de 1765. Nos motores movidos a vapor a água é aquecida até mudar para o estado de vapor. Esse vapor é comprimido e em seguida é expulso da região de alta pressão [...]”.
(MARTINI et al., 2016)

“Qualquer dispositivo que transforme energia térmica parcialmente em trabalho ou em energia mecânica denomina-se máquina térmica.” (YOUNG, 2008). Então, sabendo dessa definição podemos dizer que os seres humanos, assim como os animais são máquinas térmicas, já que a energia vinda dos alimentos é usada para realizar trabalho. Além de alguns seres vivos, temos os motores de motocicletas, que usam a queima da gasolina (energia térmica em trânsito) para realizar trabalho e aumentar a energia interna como vimos na primeira Lei da Termodinâmica.

As máquinas térmicas funcionam retirando energia térmica de uma fonte quente, realizando trabalho e rejeitando o restante da energia térmica para uma fonte fria. Nas termelétricas, por exemplo, a fonte quente é a queima de combustíveis fósseis, a realização de trabalho é o aquecimento da água que vira vapor e a fonte fria é geralmente um rio, ou um lago. Nas motocicletas a fonte quente vem da queima da gasolina, o trabalho é o funcionamento do motor e a fonte fria é o ambiente ao redor. A energia térmica rejeitada é visto como um desperdício, mas até os dias atuais nenhum cientista conseguiu criar uma máquina que converta energia térmica totalmente em trabalho.

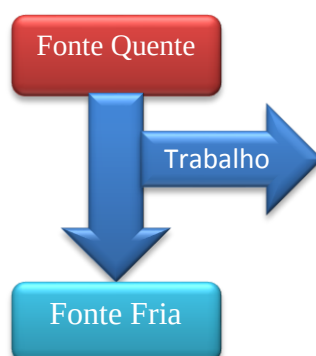


Figura 1: Diagrama demonstrando o fluxo de energia de uma máquina térmica.

Seria excelente que toda a energia térmica fornecida fosse transformada em trabalho, mas como vimos acima é impossível. O que é possível é que a máquina desperdice o mínimo de energia térmica para a fonte fria, então sua eficiência será maior. Para calcularmos a eficiência usaremos Q_q para a energia térmica retirado da fonte quente, Q_f para a energia térmica rejeitada para a fonte fria e W para o trabalho realizado. Então sabemos que

$$Q_q = Q_f + W \quad (4.8)$$

Nesta configuração o trabalho pode ser calculado por

$$W = Q_q - Q_f \quad (4.9)$$

E a eficiência da máquina térmica é dada por

$$e = \frac{W}{Q_q} \quad (4.10)$$

Quando substituimos (4.9) em (4.10) temos:

$$e = \frac{Q_q - Q_f}{Q_q}$$

$$e = 1 - \frac{Q_f}{Q_q} \quad (4.11)$$

4.5.5 Enunciando a Segunda Lei da Termodinâmica

Segundo YOUNG (2008) a segunda lei da Termodinâmica se enuncia da seguinte forma

É impossível para qualquer sistema passar por um processo no qual absorve energia térmica de um reservatório a uma dada temperatura e converte o calor completamente em trabalho mecânico de modo que o sistema termine em um estado idêntico ao estado inicial (YOUNG, 2008).

Se a segunda lei não fosse verdadeira poderíamos fazer com que uma moto funcionasse apenas resfriando o motor, ou uma termelétrica funcionasse apenas resfriando o ambiente. Estes feitos não violaria a primeira lei, já que ela só afirma que a energia não pode ser criada, nem destruída, apenas transformada. Já a segunda lei limita a disponibilidade se energia, a forma como é gasta e como é usada.

4.5.6 Entropia

A Segunda Lei da Termodinâmica, diferentemente das outras leis, não foi formulada com base em uma equação, mas apenas em uma impossibilidade. Entretanto podemos relacionar a segunda lei com o conceito de entropia (YOUNG, 2008).

Ao aumentarmos a temperatura dos processos, aumentamos a desordem já que as moléculas se agitam mais e ocorre um acréscimo na energia cinética. Com a entropia é possível termos uma previsão de desordem.

Se tomarmos como exemplo um gás, depois do aquecimento as moléculas se expandem desordenadamente e mostra uma relação de proporcionalidade $\frac{dQ}{T}$, “Introduzimos o símbolo S para representar a entropia do sistema, e definimos a variação infinitesimal de entropia dS [...]”. A relação durante um processo reversível infinitesimal é

$$dS = \frac{dQ}{T} \quad (4.12)$$

Para generalizar para todos os processos de entropia podemos integrar a entropia do processo infinitesimal, neste caso teremos a entropia do processo reversível.

$$dS = \int_2^1 \frac{dQ}{T} \quad (4.13)$$

Segundo Young (2008) a equação 4.13 não depende do percurso que leva o sistema do estado inicial ao estado final, pois é sempre a mesma em todos os processos possíveis entre os dois estados. Então podemos concluir que a entropia tem um valor definido para um dado estado do sistema.

Estes foram os principais conceitos da Termodinâmica aprofundados nesta dissertação. A proposta de utilização da modelagem científica a partir da compreensão do motor de uma moto pelos estudantes irá centrar no entendimento pelos estudantes sobre a energia térmica, a conservação da energia, o rendimento de uma máquina, etc. Apresentamos no capítulo que se segue as principais discussões produzidas no processo de intervenção.

5 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS DO ESTUDO

Baseando-nos na proposta de ciclos de modelagens de David Hestenes, como discutido na metodologia desta pesquisa, planejamos e desenvolvimentos a intervenção pedagógica em uma turma do ensino médio em uma escola pública de Acopiara, onde a autora deste trabalho é professora. Como pôde ser percebido no capítulo anterior, organizamos uma sequência de ensino seguindo os seguintes passos metodológicos, que foi uma adaptação feita da proposta defendida por Hestenes, sendo: Discussão do tema, Laboratório de investigação, Sessão de Whiteboard (que em português significa quadro branco), Resolução colaborativa, nova Sessão de Whiteboard e Avaliação.

É necessário dizer que ao planejarmos a aula conectamos pressupostos teóricos e metodológicos do referencial sobre modelagem científica de Mario Bunge e da modelagem didático-científica de David Hestenes. Particularmente, no processo de intervenção e desenvolvimento da sequência de ensino, buscamos problematizar a construção de um objeto modelo e, posteriormente, a evolução para um modelo teórico referente ao conhecimento sobre o funcionamento de um motor de combustão interna de uma moto (lembramos que a escolha para explorar o motor de uma moto partiu dos próprios estudantes, justificada por ser uma tecnologia comumente presente em seu cotidiano, pois muitos deles usam a moto como meio de transporte para ir até a escola). Um fato importante é que o pensar o conteúdo (Termodinâmica) para a intervenção pedagógica foi realizada levando em consideração o conteúdo que os alunos estavam estudando no programa estabelecido para a série.

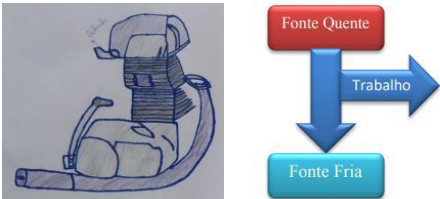
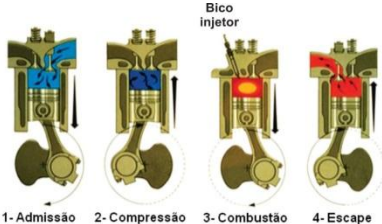
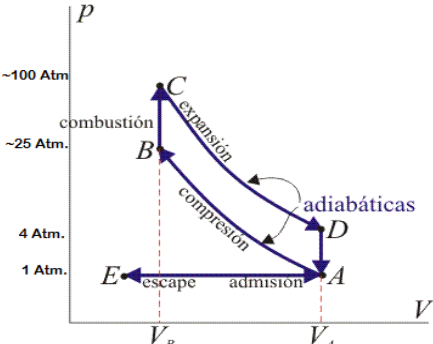
5. 1 Análise e interpretação de cada uma das etapas da sequência de modelagem

Trabalhar com modelagem científica tem muitas vantagens, sendo que a principal é a oportunidade que os estudantes têm de problematizar o significado e um objeto modelo e terem curiosidade e interesse de saberem a associação existente a teoria da física a ser estudada no segundo ano, ou seja, a área da Termodinâmica. Reiteramos que realizamos a intervenção em uma turma de 2º ano do EM, com aproximadamente 45 estudantes. A realização aconteceu no período do quarto e último bimestre do ano de 2018. É importante dizer que o desenvolvimento da sequência didática se deu durante o período de 28/11 de 2018 e 03/01 do ano de 2019. No total foram 15 aulas de 50 min e o foco foi o estudo da Termodinâmica relacionada com a perspectiva da modelagem

científica. Como já dito, as aulas foram na disciplina de física juntamente com aulas do NTPPS. As 15 aulas foram fundamentais para uma melhor abordagem da estratégia diferenciada (seis aulas por semana, dentre elas duas eram de Física e quatro de Núcleo de Trabalho, Pesquisa e Práticas Sociais).

Para melhor entender o que foi realizado abaixo se encontra o quadro 2 que relaciona os passos da Modelagem científica com a sequência de ensino de David Hestenes. A mesma foi uma sugestão de acréscimo da Prof. Dra Neusa Teresinha Massoni.

Quadro 02: Passos da Modelagem Científica em uma Sequência Didática na acepção de Mario Bunge

1) <i>Propor perguntas coerentes e interessantes sobre a realidade - o Referente</i> (fenômeno, objeto, sistema...)	Referente  <i>Como funciona o motor de uma moto?</i>	OK!
2) <i>Construir Objeto-Modelo: simplificar, esquematizar o objeto/fato (oferecer imagem simbólica do objeto real)</i> Objetos-modelo abordam certas relações entre teoria e realidade	<i>Desenho pictórico do motor de moto: entrada de combustível, combustão e descarga</i> 	OK!
3) <i>Construir o Modelo Teórico – especificar o comportamento ou mecanismos internos do objeto - “caixa translúcida”</i> Modelos teóricos permitem criar explicações e previsões	<i>Especificando o mecanismo interno do motor a 4 tempos</i> 	Parcial (aumentar p tamanho das imagens /modelos feitos pelos alunos)
4) <i>Inserir o modelo teórico em uma TEORIA GERAL</i> •Explicar os mecanismos com uma teoria aceita / criar uma	<i>Termodinâmica - Ciclo de Otto</i> 	Inconcluso (pode ser feito!)
5) <i>Teste dos Modelos</i>	Proporcionar aos estudantes oportunidades de coleta dados (podem ser empíricos, computacionais,	Pode ser feito!

	simulação, etc.)	
--	------------------	--

5.1.1 Descrevendo sobre a Discussão do tema

Na primeira aula, dia 28/11/2018, inicialmente foi solicitado aos alunos que respondessem um questionário inicial sem identificação, já que a ideia era selecionar as principais dificuldades conceituais dos discentes acerca da Termodinâmica. Na ocasião os mesmos precisavam demonstrar sua opinião sobre alguns conceitos de Termodinâmica (temperatura, energia térmica, conservação de energia). Como veremos nesta discussão, os estudantes tinham muitas dúvidas. O intuito do questionário, antes do início da intervenção, era problematizar fenômenos do cotidiano dos estudantes que estavam vinculados com conhecimentos da Termodinâmica, ou seja, o que eles entendiam sobre o assunto.

A primeira questão foi saber a opinião deles sobre o significado do conceito de **temperatura**. Surgiram diversas respostas aceitáveis cientificamente e outras distantes da linguagem científica, vejamos alguns recortes:

Estudante A: “*é a energia de um corpo*”.

Estudante B: “*é o clima*”.

Estudante C: “*temperatura é aquilo que define o que está quente ou frio*”.

Estudante D: “*é um tempo abafado ou quente*”

Pudemos perceber que os estudantes em sua maioria não possuíam um entendimento próximo da linguagem científica acerca do conceito de temperatura. Não associavam este conceito ao grau de agitação das partículas dos materiais. Era comum relacionarem este conceito com energia, clima, sensações de quente e frio. Interpretamos que são opiniões mais próximas do senso comum, do que escutam em seu cotidiano sobre o termo.

Com relação à questão sobre o entendimento do **conceito de energia térmica** reservamos alguns recortes para discussão e análise neste trabalho, vejamos:

Estudante A: “*a temperatura do nosso corpo*”.

Estudante B: “*é a temperatura que um corpo sente*”.

Estudante C: *“é quando está quente”*.

Estudante D: *“é a temperatura de alguma coisa, quando o tempo está quente”*.

Estudante E: *“é a energia transferida entre dois corpos ou mais”*.

Apesar dos estudantes já terem tido a oportunidade de estudar esse conceito em aulas anteriores suas respostas revelam ainda dificuldades de compreensão do conceito. Não fácil de entender que é o de energia térmica (o conceito de energia térmica, assim como o de temperatura, já fora estudado nos primeiros dias de aula), especulamos que, por isso, apareceram várias respostas parecidas com a definição científica. Entretanto, nem todos os alunos conseguiram recordar do assunto, com isso algumas respostas se distanciaram do caráter científico permanecendo concepções resistentes de seu senso comum. A maioria como pode ver, associava energia térmica como sendo a temperatura que um corpo possui. Uma minoria dos estudantes, como em uma da resposta acima, entendia o energia térmica como uma forma de fluxo de energia.

Em relação as suas concepções sobre o significado da **conservação da energia** a unanimamente os estudantes relacionavam com formas de economia da energia elétrica, isso pode ser notado no fragmento abaixo:

Estudante A: *“é energia parada, sem uso”*.

Estudante B: *“é uma forma de guardar energia, assim como as placas solares”*.

Estudante C: *“é um local que a energia fica concentrada por um tempo”*.

Estudante D: *“é uma maneira de não gastar energia sem precisão”*.

Podemos perceber que os estudantes apresentavam dificuldades de princípio fundamental da física que é o “princípio da conservação”. As respostas dos estudantes a questão mostra veementemente a necessidade de inserirmos uma estratégia didática alternativa para problematizarmos conceitos fundamentais. Com a proposta aqui defendida acreditamos que pensar o ensino das teorias da física por meio da problematização do que seja a realidade (um referente), um objeto modelo, um modelo conceitual pode, de alguma forma, ajudar a compreensão dos estudantes acerca destes conceitos da Termodinâmica.

Buscamos explorar algum entendimento dos estudantes sobre o significado do conceito de **trabalho mecânico na Termodinâmica**. A maioria associou como sendo máquinas que trabalham ou trabalho feito por uma máquina. “*uma máquina que trabalha*” (Estudante A); “*trabalho mecânico*” (Estudante B); “*é o trabalho feito por uma máquina*” (Estudante C). Um fato preocupante é que a maioria dos estudantes não soube responder a questão.

Com relação ao entendimento acerca do conceito de **energia interna** a maioria do que responderam associou a uma energia que vem de dentro, ou que tem dentro dos corpos: “*energia do seu corpo*” (Estudante A); “*energia em um só lugar*” (Estudante B); “*energia concentrada em um só lugar*” (Estudante C). Entendemos que o conceito de energia interna parecia ainda muito abstrato pela maioria dos estudantes, eles ainda não possuíam o domínio conceitual científico, sendo um fato natural devido a ainda não terem tido a oportunidade de um maior aprofundamento sobre o assunto. Assim como outros conceitos, por exemplo, de trabalho mecânico, a maioria dos estudantes não arriscou responder. Com relação o questionamento feito **se há conservação de energia na situação em que colocamos alimentos em uma panela de pressão seguido de seu aquecimento provocando a saída de vapor**, a maioria dos estudantes afirmou que havia sim um processo de conservação de energia. Um estudante respondeu que no início do processo de aquecimento havia a conservação de energia e em seguida, no início da liberação do vapor, não haveria mais a conservação. Neste caso, este aluno entendeu que no início, como a panela não estava liberando vapor haveria sim uma conservação de energia, mas após o momento que a água começasse a ferver, a energia não se conservaria mais. Esta explicação revela o quanto os estudantes tinham dificuldade nesse conceito.

Acerca do entendimento sobre processos **reversíveis e irreversíveis** unanimamente compreendiam como sendo algo que pode ser desfeito e algo que não pode ser desfeito, respectivamente. Vejamos algumas respostas:

Estudantes A: “*São fontes que não acabam*”.

Estudante B: “*reversíveis é quando consegue e irreversíveis é quando não consegue*”.

Estudante C: “*reversível é aquilo que pode mudar e irreversível é o que não pode mudar*”.

A maioria das respostas a esta questão foram simplistas e objetivas, por exemplo: *“são coisas que podem ser reversíveis e irreversíveis”*. Como pode ser percebido os estudantes traziam conhecimentos limitados sobre estes conceitos por ainda não terem tido a oportunidade de um maior estudo em séries anteriores.

Em relação ao entendimento sobre **transformações cíclicas** surgiram diversas explicações, tais como: era um ciclo infinito; era uma transformação contínua; uma energia em forma de círculos. Por exemplo, nos fragmentos escritos abaixo:

Estudante A: *“quando há um ciclo infinito, no qual tenha varias fases”*.

Estudante B: *“é uma transformação que nunca acaba”*.

Estudante E: *“é uma transformação em círculos.”*

A noção de uma transformação cíclica revelou ser bastante abstrata para a maioria dos estudantes. Percebemos que os estudantes, entendiam que um motor a combustão de uma moto, por exemplo, funcionava seguindo uma sequência de etapas (admissão, compressão, combustão, escape), mas sem ainda um domínio científico da física escolar.

O **rendimento da máquina** foi um conceito em que os estudantes forneceram explicações próximas à linguagem científica. Para alguns estudantes o rendimento de uma máquina era entendido como sendo até onde esta máquina poderia funcionar ou a quantidade de energia que cada máquina precisa para funcionar. Citamos algumas respostas: *“uma máquina que produz bem”* (Estudante F); *“a máquina que trabalha melhor”* (Estudante G); *“fazer com que a máquina continue rendendo”* (Estudante H).

Questionamos sobre **a possibilidade de se converter energia de um sistema totalmente em trabalho**. A metade dos estudantes respondeu que era possível transformar toda energia recebida de uma fonte em trabalho útil. Outra metade discordava, dentre estes uma estudante exemplificou. Ela fez uma analogia com o próprio corpo humano, afirmando que a energia oriunda dos alimentos que consumimos não era totalmente convertida em atividades diárias (andar; falar; pensar; gesticular). Foi um assunto que despertou muitas dúvidas, como pode ser percebido em algumas respostas na sequência:

Estudante H: *“sim, através da alimentação conseguimos energia e assim obtemos energia para gastar com trabalho”.*

Estudante L: *“sim, com energia se trabalha mais.”*

Percebemos nas respostas dos estudantes acima que estes apresentavam dúvidas acerca da relação entre energia e trabalho. Alguns estudantes associavam estes conceitos com as funções corporais, por exemplo, o corpo gasta energia realizando atividades motoras e com outras funções do nosso corpo.

Os últimos 20 minutos de aula foram reservados para discussões. Buscamos ouvir o que sabiam sobre máquinas térmicas. A maioria dos estudantes afirmou desconhecer sobre o assunto e que nunca ouvira falar sobre o assunto em sua trajetória escolar. Após apresentarmos alguns exemplos sobre máquinas térmicas, todos os estudantes demonstraram interesse em buscar saber sobre o funcionamento do motor da moto (reiterando que era uma forma de máquina térmica mais próxima da realidade deles).

5.1.2 Descrevendo a etapa de Sessão de Laboratório de investigação

Nesta etapa de desenvolvimento da sequência, dia 28/11/2018, foi feita a divisão das equipes, onde os alunos se agruparam por afinidade formando sete equipes de seis pessoas. Após esse momento apresentamos, aos estudantes o tema: Termodinâmica. Na oportunidade, para além de aspectos conceituais, também contextualizamos o conteúdo com abordagem da história da ciência (não de maneira profunda, devido o tempo limitado para um maior aprofundamento desta abordagem). Iniciamos discutindo brevemente sobre a história das máquinas a vapor culminando para apresentar um pouco sobre o desenvolvimento dos motores a combustão centrado particularmente para o entendimento do funcionamento do motor da moto (de forma superficial, apenas para introdução da atividade da sessão de whiteboard).

Buscamos explorar concepções dos estudantes sobre o que sabiam acerca do funcionamento do motor da moto que eles comumente usavam como transporte. Percebemos que foi um assunto motivador. Eles logo ficaram bastante empolgados fazendo diversas perguntas (ex. *o que acontece dentro do motor? Por que esquenta tanto o cano da moto? E se acabar a gasolina um dia?*).

Após a discussão com os alunos sobre o tema abordado, foi entregue a cada equipe um kit com um caderno de campo, um pincel e uma cartolina. Conforme a estratégia sobre modelagem didática científica proposta por David Hestenes essa etapa deveria ser feita com pequenos quadros brancos. Ao procurarmos adquirir vários quadros brancos deparamo-nos com a dificuldade de encontra-los na cidade de Acopiara tendo que encomendar a produção que tinha um custo elevado. Desta maneira resolvemos usar cartolinas brancas, material mais acessível.

5.1.3 Descrevendo a etapa de Sessão de Whiteboard

Como atividade desta etapa sugerimos que elaborassem um modelo representacional na cartolina para imprimirem uma representação do que entendiam sobre o funcionamento desta tecnologia e os fenômenos físicos possíveis em seu entorno. Foi um momento de muita concentração dos estudantes e conversas entre eles. O nosso papel foi mediar, orientar e escutar todos. É importante dizer que alguns dos alunos trabalham ou já trabalharam em uma oficina mecânica de motos socializando experiência com os colegas do grupo. Foi um momento interessante, pois alguns destes alunos em aulas anteriores não participavam da aula, ficavam calados e esta oportunidade socializaram seus saberes com seus colegas participando bastante.

Foi pedido aos alunos que desenhasssem uma representação de como pensavam o funcionamento de um motor a combustão interna de uma moto. Pedimos também que fosse possível eles apontar a estrutura de um motor, partes essenciais necessários para o efetivo funcionamento. Foi uma situação didática em que todos tiveram curiosidade. Alguns desejavam rapidamente pesquisar na internet por meios de seus celulares, mas neste primeiro momento recomendamos que pudessem expor suas ideias sem ainda investigar em livros e sites. Nas figuras 2a e 2b podemos perceber um momento de trabalho e um dos grupos.

a)



b)



Figura 2:a) e b) Grupo de estudantes trabalhando na construção de um modelo representacional sobre o funcionamento de um motor a combustão interna de uma moto.

Alguns alunos tiveram menos dificuldade, pois tinham experiência em oficina e conheciam a parte interna do motor, entretanto a maioria só conseguiu desenhar a parte externa do motor que era como eles estavam acostumados a ver.

Na figura 3 abaixo registramos um momento em que um dos membros da equipe que tem experiência da mecânica de motos explica aos seus colegas e a professora algumas partes da estrutura de um motor.



Figura 3: A construção de um modelo representacional por estudantes que possuem experiência de mecânica de motos em seu cotidiano.

Duas aulas de 50 min cada não foi suficiente para os estudantes produzissem seus modelos (isso foi no dia 28 de novembro de 2018). Estavam todos envolvidos e queriam realizar a atividade. Observamos que antes de produzirem seus desenhos existia um momento de muita interação e negociação entre cada membro da equipe, buscando um consenso sobre a representação do motor. Tivemos que negociar com a professora da aula seguinte para usarmos sua aula para que os estudantes pudessem finalizar a

atividade. A aula foi concedida e eles tiveram um maior tempo para tarefa. Pudemos perceber que quando os estudantes estão focados em um trabalho que eles têm interesse o tempo de aula parece ser curto, a aula é produtiva, a interação é intensa. A concentração de todos foi uma experiência valiosa de desenvolvimento de aprendizagens. A todo instante passávamos em cada uma das equipes para observar suas construções e dialogar com os grupos. Nas figuras 4a, 4b e 4c pode ser visto esses momentos de interação.

a)



b)



c)



Figura 4: (a, b e c) Momentos de interação entre os estudantes e a professora na elaboração dos mapas mentais.

Sugerimos que os estudantes, além de fazerem seus desenhos, pudessem pintar. Em muitas escutas, percebemos que a maioria tinha dificuldade de entender o que realmente acontecia dentro de um motor. Ouvimos alguns estudantes dizer em que queriam entender como funcionava o motor afirmando que iriam pesquisar na internet depois da aula.

Disponibilizamos nas figuras 5, 6, 7, 8, 9, 10 e 11 a seguir todos os desenhos das equipes que mostram uma representação acerca do funcionamento de um motor de uma moto antes deles terem a oportunidade de discussão teórica.

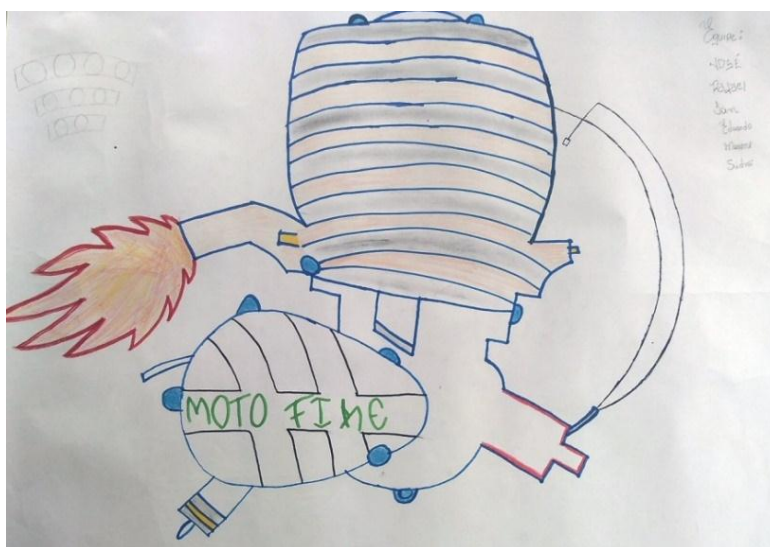


Figura 5: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 01.

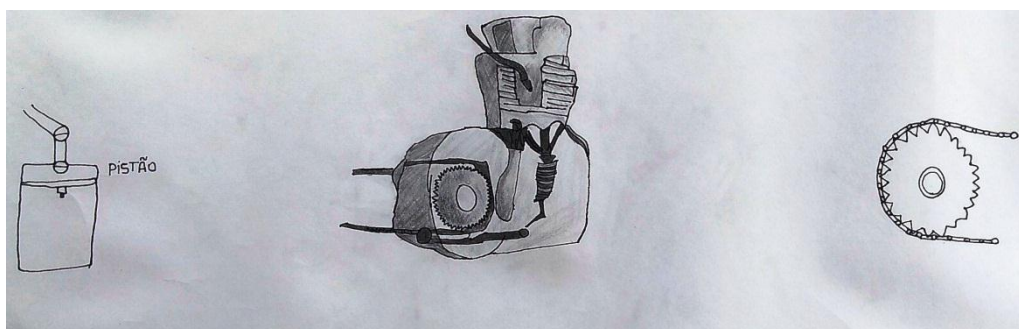


Figura 6: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 02.

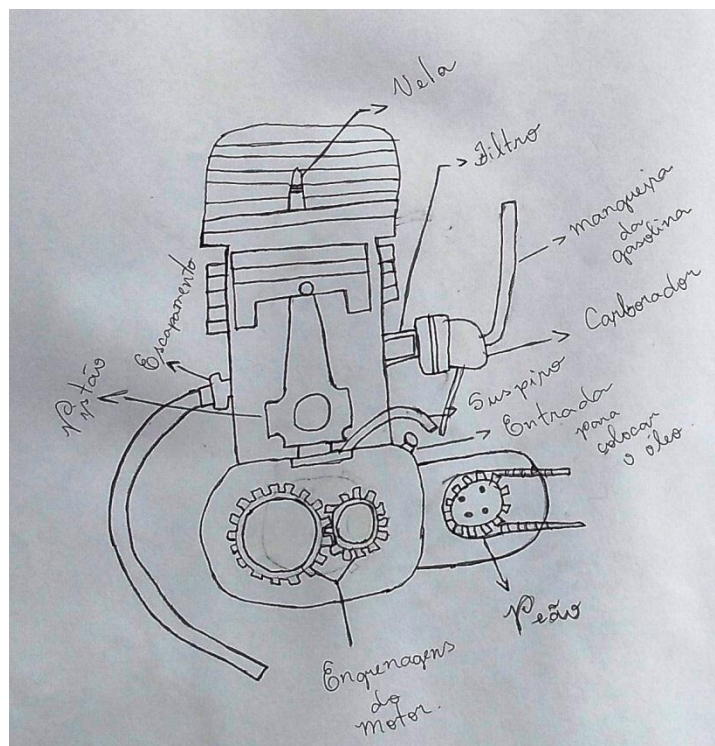


Figura 7: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 03.

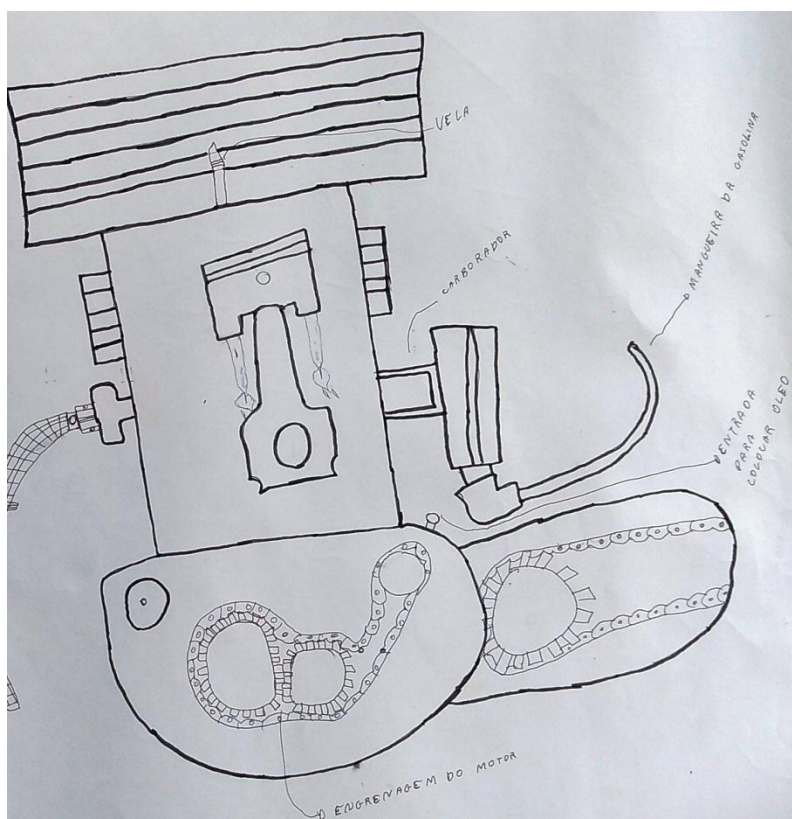


Figura 8: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 04.

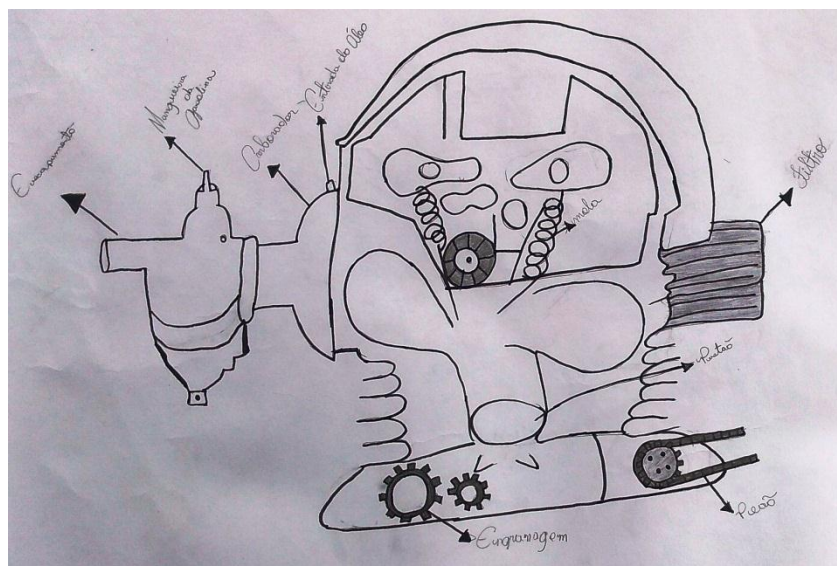


Figura 9: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 05.



Figura 10: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 06.



Figura 11: Representação do funcionamento de um motor de uma moto produzido pela equipe 07.

Percebemos que as equipes 01 e 06 tiveram uma representação mais limitada sobre o funcionamento do motor. Estas equipes centraram nas partes mais externas do motor. As equipes 02, 03, 04 e 05 produziram uma representação mais completa de partes externas e internas do motor denominando algumas estruturas (ex. pistão, engrenagens, velas). As equipes 03, 04 e 05 atentaram para a necessidade do uso do óleo no interior do motor. E a equipe 07 se aproximou dos conhecimentos que iríamos abordar, já que desenhou o motor completo com a fonte quente, e a fonte fria e ao ligar realiza-se trabalho. Todas as representações evidenciam que os estudantes já possuem certo conhecimento sobre o funcionamento do motor por ser um dispositivo comumente presente em seu dia a dia.

Como afirma Bunge (2017) um objeto (no nosso caso o motor de uma moto) pode ser representado por meio de um desenho resultando em uma representação do objeto concreto. O autor alerta que esta representação não é fiel ao mundo real, mas um esquema parcial. Como vimos os estudantes destacaram seus modelos representacionais na tentativa de representar o que compreendiam sobre o motor de uma moto.

5.1.4 Descrevendo a etapa de Resolução colaborativa

Após a finalização da atividade de construção dos modelos representacionais sobre o funcionamento do motor de uma moto, na aula seguinte, solicitamos que os grupos pudessem socializar suas produções (aulas no dia 03/12/2018). Os estudantes demonstraram certa inquietação neste momento, pois não tinham o hábito de seminários, tinham certa resistência para falar para toda turma, na frente. Enfrentaram o desafio e explicaram seus desenhos. As explicações foram bem objetivas onde puderam socializar seus desenhos sem muitos aprofundamentos

No dia 04/12/2018 iniciamos uma discussão teórica sobre a Termodinâmica (usando a sequência de slides que pode ser conferido no Apêndice C). Percebemos que durante as aulas expositivas muitos estudantes ficavam dispersos, não se concentravam. Entendemos que quando era uma aula em que eles eram os protagonistas na busca do conhecimento, ao invés de serem passivos em que o professor transmite a informação, demonstravam mais interesse. Mas entendemos que era necessário apresentar alguns conceitos fundamentais sobre a Termodinâmica e aspectos históricos desta área.

Buscamos, para atrair os estudantes, inserir outros recursos digitais (vídeos, animações) na intenção de cativar atenção dos mesmos. Nestas aulas teóricas discutimos os conceitos de realização de trabalho, quantidade de energia térmica e energia interna, sempre relacionando os conceitos físicos com o funcionamento do motor. Esta ligação de um assunto bastante teórico com um fenômeno real provocou interesse dos estudantes.

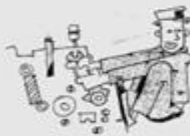
Persistia, entre a maioria dos estudantes, uma dúvida acerca do princípio da conservação da energia, pois não conseguiam entender que ela se transformava e não podia surgir do “nada”. Como estratégia, retomamos o exemplo do funcionamento do corpo humano que necessita usar a energia dos alimentos para gerar energia para desenvolvermos as nossas atividades. Esta analogia ajudou a facilitar o entendimento sobre o princípio de conservação da energia na natureza.

No dia 20/12/2018 continuamos com as aulas teórico-expositivas. Desta vez discutindo os conceitos de reversibilidade e irreversibilidade. Na ocasião, os estudantes assistiram a um vídeo bastante curioso. O vídeo mostravam fenômenos cotidianos que aconteciam de forma invertida, ou seja, as coisas aconteciam de trás para frente. Nesta aula apresentamos a segunda lei da Termodinâmica e o funcionamento do motor de quatro tempos, que é o tipo de motor usado nas motos que os alunos têm maior contato.

Nesta aula surgiram diversas dúvidas sobre qual o nome das peças que compõem os motores. Por exemplo, a maioria desconhecia o componente chamado de biela (peça que tem a função de transformar um movimento retilíneo em movimento circular contínuo. Ele é conectado ao pistão em sua parte maior e ao virabrequim em sua parte menor, assim, converte o movimento de sobe e desce do pistão em movimento rotativo que é transmitido para as rodas). Ouvimos de alguns estudantes que até conheciam a expressão “bater a biela” em seu cotidiano, mas não sabiam que era uma parte fundamental do motor. Sobrou um pouco de tempo no final da aula, então aproveitei para orientar a leitura de um texto do livro Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREEF) (ver fragmentos do texto na figura 13 a seguir). A orientação é que pudessem ler e apontar algumas curiosidades no texto. O texto foi entregue para cada um dos estudantes para levarem para fazerem leitura em casa e discussão na aula seguinte.

Entrevistando um mecânico...

Você pode dar uma de jornalista e fazer algumas perguntas ao técnico, tais como:



- 01) Quais as partes essenciais de um motor?
- 02) Como funciona um motor de quatro tempos? E de dois tempos?
- 03) Quais as diferenças entre um motor a álcool e a gasolina? E a diesel?
- 04) O que é cilindrada do motor?

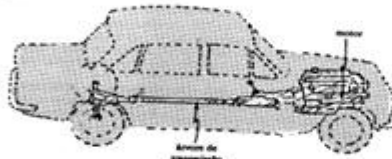
Você já sabe que OS AUTOMÓVEIS, ÔNIBUS OU CAMINHÕES SÃO MOVIDOS POR MOTORES A COMBUSTÃO INTERNA; MAS, JÁ VIU UM DELES INTERNAMENTE?

Uma maneira de conhecer um motor por dentro é visitar uma oficina mecânica e fazer uma entrevista com o mecânico.

Certamente ele vai lhe mostrar partes dos motores, acessórios, e falar sobre a função de cada um. Depois dessa discussão com o técnico, fica mais fácil "descobrir" os princípios físicos em que se baseia esta máquina térmica.

0 motor a combustão.

Os motores são formados por um bloco de ferro ou alumínio fundidos que contém câmaras de combustão onde estão os cilindros, nos quais se movem pistões. Cada pistão está articulado ao virabrequim através de uma biela. A biela é a peça que transforma o movimento de vai e vem dos pistões em rotação do virabrequim. O virabrequim ao girar faz com que o movimento chegue até as rodas através do sistema de transmissão do carro.



Os motores diferem pela quantidade de cilindros e quanto ao ciclo de funcionamento, 2 tempos ou 4 tempos onde cada pistão trabalha num ciclo se constituindo numa máquina térmica.

COMO É PRODUZIDO O MOVIMENTO?

Nos motores a álcool ou gasolina a produção de movimento começa pela queima de combustível nas câmaras de combustão. Essas câmaras contêm um cilindro, duas válvulas (uma de admissão e outra de escape) e uma vela de ignição. O pistão que se move no interior do cilindro é acoplado a uma biela que se articula com o virabrequim como mostra a figura.

- 1- válvula de admissão.
- 2- válvula de escape.
- 3- pistão.
- 4- cilindro.
- 5- biela.



Num motor a 4 tempos quando o pistão desce no cilindro devido ao giro do virabrequim, a válvula de admissão se abre, e uma mistura de ar e combustível é injetada no cilindro. Com o movimento de subida do pistão o combustível é comprimido. Quando a compressão é máxima a vela de ignição solta uma faísca que explode o combustível jogando o pistão para baixo. A válvula de escape é então aberta permitindo que os gases queimados escapem para o meio ambiente.



No motor de 2 tempos a aspiração e compressão do combustível ocorrem enquanto o pistão sobe e a explosão e a exaustão acontecem durante a descida do pistão.

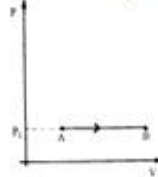
Num ciclo completo do pistão é realizado trabalho só quando ocorre a explosão do combustível. Esse trabalho é medido em **Joule** que é a unidade de energia no sistema internacional de medida.

As variações de pressão e volume sofridas pela mistura combustível em cada etapa são representadas a seguir:

Étapas de um motor a quatro tempos.

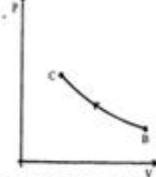
01) Admissão da mistura: 1º tempo.

Abertura da válvula de admissão: enquanto o volume do gás aumenta, a pressão fica praticamente constante - transformação isobárica (A → B):



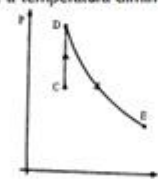
02) Compressão da mistura: 2º tempo.

Enquanto o volume diminui, a pressão e a temperatura aumentam. Como o processo é muito rápido, não há trocas de calor com o ambiente - transformação adiabática (B → C):



03) Explosão da mistura: 3º tempo.

O volume do gás fica praticamente constante, e ocorre um grande aumento da temperatura e da pressão - transformação isométrica (C → D): enquanto o volume aumenta, a pressão e a temperatura diminuem - transformação adiabática (D → E).



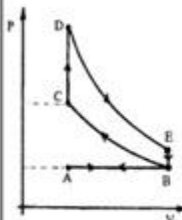
04) Escape dos gases: 4º tempo.

Abertura da válvula de escape: o volume permanece o mesmo e a pressão diminui - transformação isométrica (E → B): enquanto o volume diminui a pressão fica praticamente constante - transformação isobárica (B → A).



0 primeiro princípio da Termodinâmica.

Num ciclo completo do motor, a energia química do combustível só é transformada em trabalho no 3º tempo. Nas outras etapas (1º, 2º e 4º tempos) o pistão é empurrado devido ao giro do virabrequim. Parte do calor é eliminado como **energia interna** (ΔU) dos gases resultantes da combustão que saem pelo escapamento a temperaturas muito altas. Outra parte aquece as peças do motor que são refrigeradas, continuamente, trocando calor com o meio ambiente. Podemos afirmar que a energia ou quantidade de calor Q fornecida ao sistema pelo combustível aumenta sua energia interna realizando trabalho.



Este princípio de conservação da energia pode ser expresso por: $Q = \Delta U + T$, onde:

Q = energia do combustível.

ΔU = variação da energia interna do sistema.

T = trabalho realizado pelo combustível.

Esta expressão é conhecida na Física Térmica como **1ª lei da Termodinâmica**.

Figura 12: Fragmentos do livro do Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (Gref) que trata da discussão da Termodinâmica para explicar o funcionamento dos motores. Fonte: GREF (1998, p. 78)

No dia planejado para discussão do texto percebemos que a minoria dos alunos realizou a atividade de leitura e ainda alguns se esqueceram de trazer o texto (aula do dia 27/12/2018). Tivemos que sugerir uma leitura em sala de aula, entregando o texto novamente para os que não trouxeram. Na figura 13 abaixo disponibilizamos um momento de leitura inicialmente feita de forma individual e em seguida houve uma discussão com toda turma.



Figura 13: Momento de leitura do texto do Gref sobre o motor a combustão.

Com relação ao texto explorado percebemos que a maioria aprovou, eles se envolveram bastante. O conteúdo do texto continha explicações teóricas complementadas com diversas imagens de situações reais. Em uma das explicações sobre potência de um motor, alguns estudantes associaram os significados de cavalos de potência do motor aos cavalos animais. Percebemos que os estudantes vincularam a leitura com as discussões feitas nas aulas teóricas.

5.1.5 Descrevendo a nova etapa de Sessão de Whiteboard

Na aula do dia 27/12/2018 solicitamos aos grupos de estudantes que pudessem refazer seus desenhos (mapas mentais) feitos em aulas anteriores, mas desta vez com a apropriação teórica das discussões feitas. Os estudantes sempre queriam tirar dúvidas chamando-nos a todo momento. Na figura 14 pode ser visto um recorte desta situação didática.



Figura 14: Construção de novas sessões de *Whiteboard* pelos grupos.

Pudemos notar uma evolução de seus modelos representacionais para a construção de um modelo teórico. Como nos ensina Mario Bunge, o processo de modelagem deve partir da representação de um fenômeno real da natureza na tentativa de se chegar a uma representação conceitual. Para isso, entendemos que o referente, que consiste em uma situação da realidade, no caso o motor de uma moto, pode ser representado inicialmente como um objeto-modelo (por meio do desenho dos estudantes como forma de isolar o fenômeno) em seguida, após a apropriação dos estudantes sobre a teoria da Termodinâmica puderam aperfeiçoar seus modelos pictóricos, e então entender e avançar para um modelo conceitual.

É importante dizer que, este momento didático (dia 03/01/2019) se aproximava do período de férias dos estudantes. Eles tinham realizados suas avaliações em forma de provas finais de final de bimestre que era comum acontecer na escola. Nessa aula tivemos um problema da infrequência (aproximadamente 15 estudantes faltaram vindo em torno de 28 estudantes), pois alguns não tiveram interesse de vir à escola, mas foi possível, mesmo com várias ausências, finalizarmos as atividades.

A seguir mostramos algumas produções dos estudantes nesta nova sessão de *Whiteboard*, inspirado nas orientações de David Hestenes.

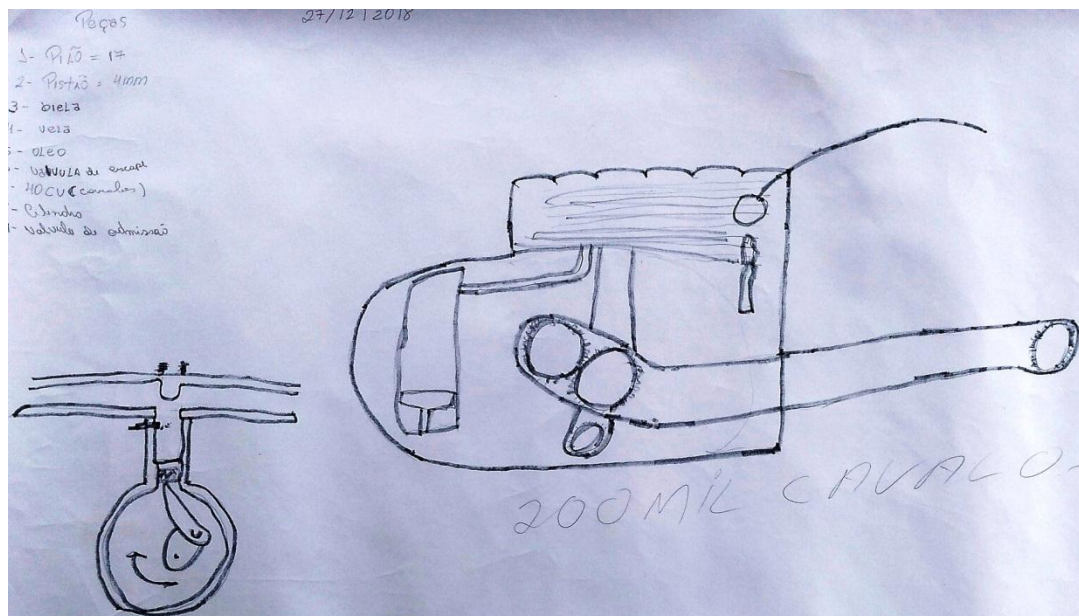


Figura 15: Construção de um modelo conceitual pela equipe 1 após discussões teóricas.

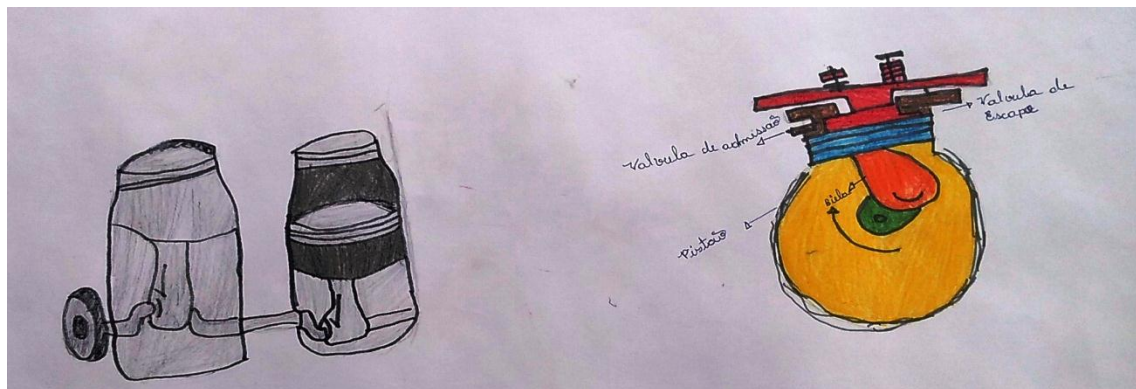


Figura 16: Construção de um modelo conceitual pela equipe 2 após discussões teóricas.

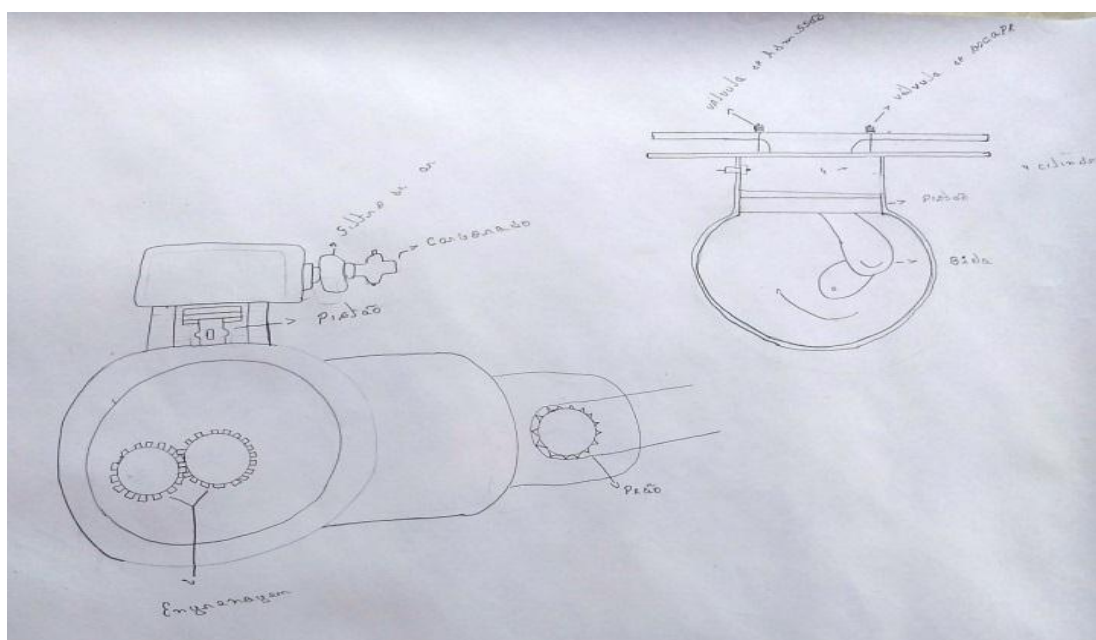


Figura 17: Construção de um modelo conceitual pela equipe 3 após discussões teóricas.

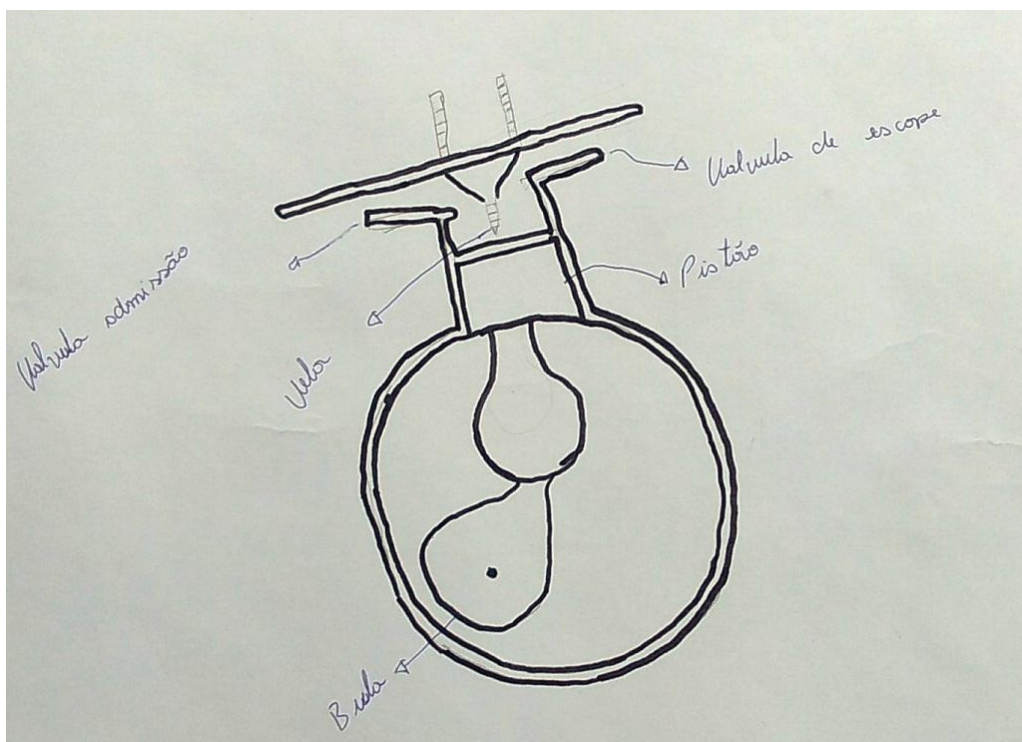


Figura 18: Construção de um modelo conceitual pela equipe 4 após discussões teóricas

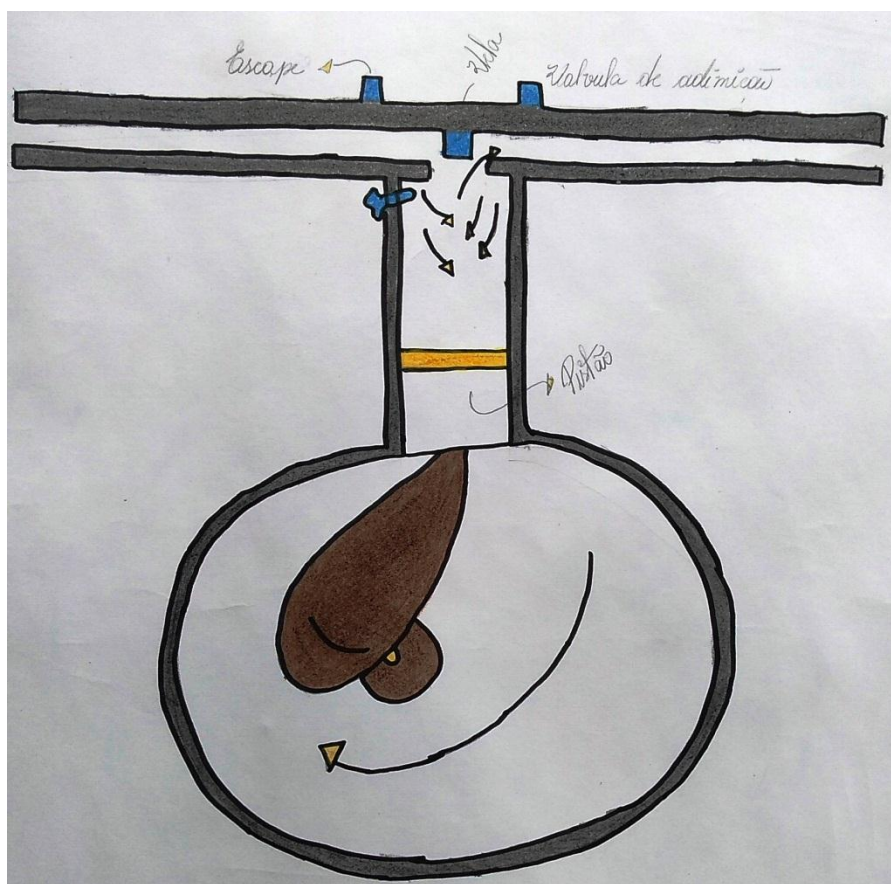


Figura 19: Construção de um modelo conceitual pela equipe 5 após discussões teóricas.

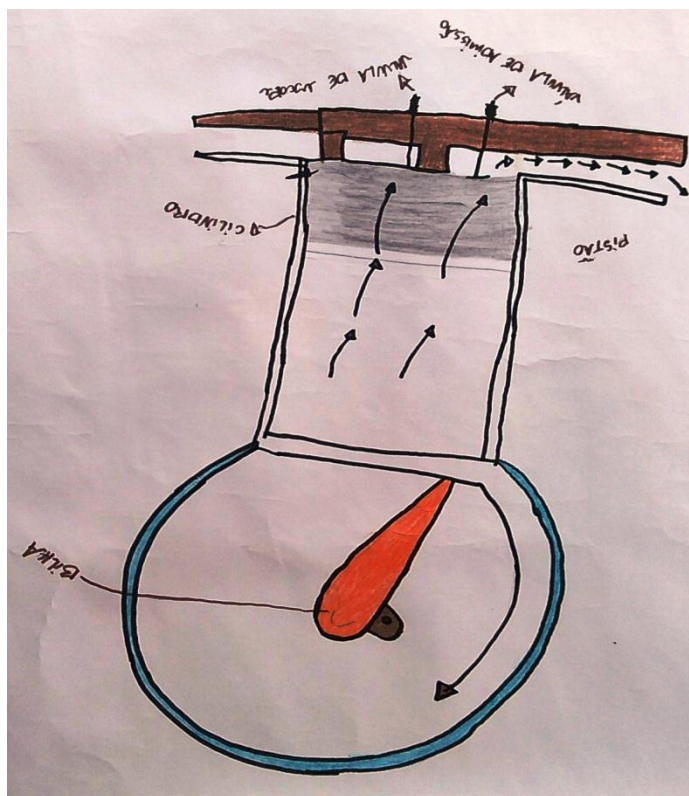


Figura 20: Construção de um modelo conceitual pela equipe 6 após discussões teóricas.

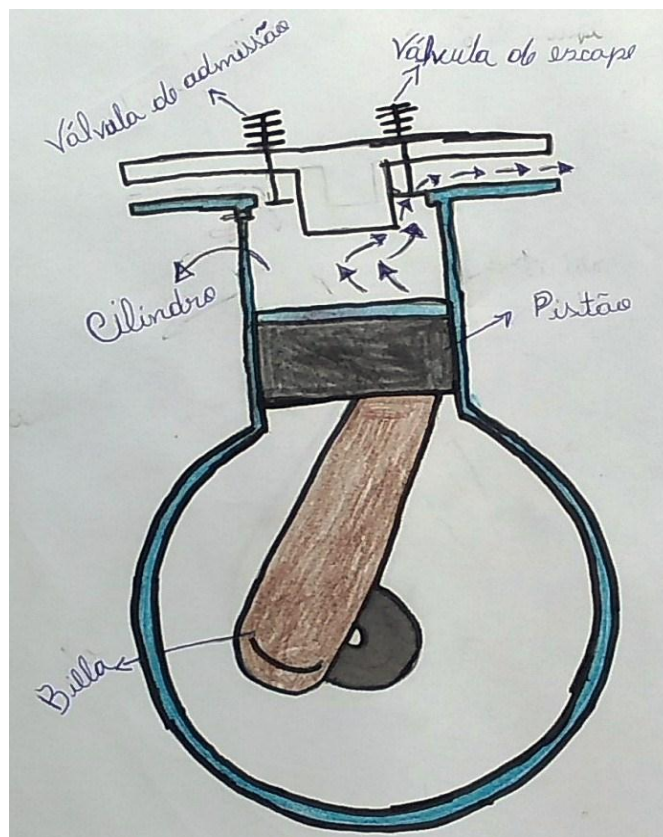


Figura 21: Construção de um modelo conceitual pela equipe 7 após discussões teóricas.

Podemos perceber que as novas representações de todas as equipes relacionavam melhor uma explicação mais conceitual unindo o fenômeno real com um aprofundamento teórico do campo da Termodinâmica. Como pode ser notado nos novos desenhos os estudantes buscaram representar as partes internas do motor identificando seus elementos e funções. Em relação aos primeiros desenhos destacamos que na construção de um “modelo conceitual” as representações dos alunos tenderam a certa padronização. Bunge (2017) afirma que um mesmo objeto pode ser representado de muitas formas que depende da imaginação, em contrapartida, o objeto-modelo não deve variar muito devido a estar enquadrado em teorias científicas.

5.1.6 Descrevendo a etapa da Avaliação

Nesta etapa sugerimos que pudessem opinar, em forma de um pequeno texto, sobre a experiência vivenciada (foi solicitado por escrito seguido de escutas aos estudantes). Abaixo destacamos algumas dessas opiniões:

Estudante Q (representante da equipe 01): *“Nessas aulas vimos como se funciona um motor de uma moto, também estudamos a função de cada peça, com isso aprendemos bastante e tivemos a chance de conhecer coisas que jamais tínhamos visto antes.”*

Estudante R (representante da equipe 02): *“Com as aulas aprendemos muito, foi muito produtivo, gostamos muito. Foi uma forma mais fácil de aprender, pois foi bem dinâmica.”*

Estudante S (representante da equipe 03): *“Aprendemos um pouco de cada peça do motor, como economizarmos bastante energia. Sem dúvidas gostamos muito e aproveitamos.”*

Estudante T (representante da equipe 04): *“Essas aulas foram importantes para compreendermos mais como funciona um motor de uma moto e todas as peças que precisa para ele funcionar.”*

Estudante U (representante da equipe 05): *“Nas aulas iniciadas no dia 28/11 começamos a desenhar um motor de uma moto por dentro do jeito que agente imaginava, achamos muito difícil, mas conseguimos. E no dia 03/12 terminamos de pintar o motor da aula passada e apresentamos. Já no dia 17/12 a professora Géssica resolveu dar uma aula de Física expositiva, pois estava muito perto da semana de*

prova. E no dia 20/12 estudamos sobre conceitos de reversível e irreversível e no dia 27/12 nessa aula a professora passou umas questões para agente responder e desenhar mais um motor. Hoje dia 03/01 de 2019 terminamos de pintar o motor e fazer este relatório. Concluimos que a Termodinâmica é essencial em nosso dia a dia.”

Estudante V (representante da equipe 06) *“Nós aprendemos a desenhar um motor de uma moto. Todas as aulas valeram muito a pena, pois conseguimos entender a forma de fazer um motor.”*

Estudante X (representante da equipe 07) *“No dia 28 de novembro de 2018 iniciamos as aulas com um questionário, no dia 03/12 fizemos um motor e pintamos. No dia 20/12 estudamos a segunda lei da Termodinâmica, no dia 27/12 respondemos perguntas, desenhamos e pintamos um motor. A nossa equipe agradece os ensinamentos da Professora Géssica.”*

Como podemos perceber a experiência de estudo da Termodinâmica por meio da abordagem da modelagem científica foi recebido com muita aceitação pelos estudantes. Em suas opiniões revelam que tiveram dificuldades iniciais de representação de uma situação real (o funcionamento do motor da moto), mas que foram progredindo e se apropriando de aspectos teóricos da física por trás desta tecnologia. Todos os estudantes se envolveram de forma ativa na elaboração dos modelos, de forma colaborativa e participaram de todas as discussões. Dificuldades também existiram e que escutamos dos estudantes, por exemplo, muitas paradas em virtude de terem que realizar provas bimestrais exigidas pela escola, o tempo longo entre os encontros, as poucas aulas de física, certa resistência de alguns estudantes em participarem e serem o centro do processo de produção do conhecimento e a necessidade de investigação. Foi percebida também uma evolução qualitativa no processo de aprendizagem dos estudantes. A turma 2º ano C que antes percebia como já dissemos fundamentado em nossa experiência profissional resultante de observação de muitas aulas, era uma turma que tinham dificuldade de aprendizagem e era muito indisciplinada. É muito gratificante ver os alunos empolgados para desenvolver as atividades propostas, e com isso observar a aprendizagem de cada um, uns aprenderam um pouco mais que outros, mas houve uma melhoria em suas aprendizagens e um despertar para sempre estarem aprendendo por meio da investigação dentro ou fora da escola.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem da instrução por modelagem revelou ser uma estratégia potencial de apoio ao estudo da Termodinâmica em uma turma do ensino médio. A escolha do mecanismo de funcionamento do motor de uma moto serviu de base como tecnologia do cotidiano presente da realidade dos estudantes. Foram os próprios alunos que manifestaram o interesse de explorar os conceitos da física que podiam explicar o funcionamento do motor.

O referencial sobre modelagem científica de Mario Bunge foi importante para embasamento teórico acerca desta estratégia. A apropriação da realidade por meio da modelagem científica revelou ser um desafio para os estudantes. A construção de seus modelos representacionais evidenciou que a maioria já possuía conhecimentos científicos ou não sobre o assunto. Como vimos inicialmente os estudantes concentraram sua atenção em partes externas do motor, naturalmente por observarem cotidianamente a moto em funcionamento.

Neste estudo centramos especificamente no estudo da Termodinâmica usando a modelagem científica e focando o estudo do funcionamento do motor de uma moto. É fundamental argumentarmos que outros assuntos podem ser abordados e discutidos com essa estratégia. Por exemplo, autores como Brandão et al. (2008) exemplificam outros assuntos da física que o professor pode incluir: (i) situação a ser modelada - o escoamento da água no interior de uma tubulação. Objeto_modelo – fluido contínuo sem viscosidade/ fluido contínuo com viscosidade. Teoria Geral – Mecânica dos fluidos. Modelo-teórico – Modelo do fluido ideal/ Modelo do fluido viscoso; (ii) Situação a ser modelada – Comportamento da matéria em nível microscópico. Objeto-modelo – Sistema Planetário. Teoria geral – Mecânica Clássica e Eletromagnetismo. Modelo teórico – Modelo atômico de Rutherford. Desta forma podemos trabalhar vários assuntos do programa da física escolar na perspectiva da modelagem científica.

De forma geral, vimos que a abordagem por Instrução por Modelagem valoriza o processo investigativo pelos estudantes. Percebemos uma intensa participação ativa dos mesmos em cada etapa do desenvolvimento da sequência sempre com a mediação da professora. Acreditamos que foi possível compreendermos as questões iniciais de investigação, reproduzimos cada uma delas novamente: (i) A aprendizagem dos

estudantes de uma turma do ensino médio sobre as Leis da Termodinâmica poderá ser facilitada com a abordagem da modelagem didática científica, especificamente a partir da construção de um modelo conceitual do funcionamento de um motor a combustão de uma moto? A partir da experiência firmamos que os estudantes se comprometeram com interesse e desejo de aprender os conceitos da física, conceitos fundamentais foram problematizados. É preciso dizer que necessitaríamos de um maior tempo para compreendermos melhor a questão, mas a breve intervenção mostra que a instrução por modelagem ajudou os estudantes a entenderem o assunto, até mesmo para revelar dificuldade dos estudantes (por exemplo, o difícil entendimento do princípio da conservação da energia, rendimento de uma máquina térmica). (ii) O desenvolvimento de uma sequência de ensino por meio da abordagem da modelagem científica poderá despertar interesse dos estudantes e possibilitará a promoção de aspectos conceituais da Termodinâmica? Os resultados mostram que foi essencial a realização das aulas norteadas por uma sequência de ensino planejada. Também a experiência pode servir de parâmetro para melhorias em futuras novas intervenções. Por exemplo, oferecer mais espaço para os estudantes registrarem suas produções nos cadernos de campo. De forma geral os estudantes tiveram acesso a conceitos fundamentais da Termodinâmica por meio da estratégia da modelagem científica. (iii) É possível o desenvolvimento progressivo dos modelos representacionais dos estudantes em direção à modelagem conceitual de um objeto real de seu cotidiano? Os resultados evidenciam que os estudantes tiveram uma evolução progressiva de suas aprendizagens, apesar de resistirem mudar suas concepções acerca dos fenômenos, por exemplo, em relação ao conceito de energia térmica associado a uma sensação térmica de quente e frio distanciando do entendimento científico de um fluxo de energia entre os corpos.

7 REFERÊNCIAS

BALDOW, R., & JR, F. N. **Os Livros Didáticos de Física e Suas Omissões e Distorções na História.** Revista de Educação em Ciência e Tecnologia, 3, p.3-19, (Maio de 2010).

_____, **Base Nacional Comum Curricular/ BNCC Proposta Preliminar.** Conselho Nacional de Educação/ CNE. Ministério da Educação/ MEC, 2016a Disponível em: <http://basenacionalcomum.mec.gov.br/documentos/bncc-2versao.revista.pdf>. Acesso em 01 de agosto de 2018.

BRANDÃO, Rafael Vasques. ARAUJO, Ives Solano. VEIT, Eliane Angela. **A modelagem científica vista como um campo conceitual.** Cad. Bras. Ens. Fís., v. 28, n. 3: p. 507-545, dez. 2011.

BRANDÃO, Rafael Vasques. ARAUJO, Ives Solano. **A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física.** Física na escola, v. 9, n.1, 2008.

BRASIL, **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.** Ministério da Educação (MEC), Secretaria de Educação Média e Tecnológica (SEMTE). Brasília: MEC/Semtec, 1999.

BUNGE, Mario. Teoria e Realidade. São Paulo: Perspectiva, 2017.

CIÊNCIAS DA NATUREZA, m. e. **Orientações curriculares para o ensino médio (Vol. II).** Ministério da Educação. BRASÍLIA, 2006

CORRALLO, Marcio Vinicius. JUNQUEIRA, Astrogildo de Carvalho. SCHULER, Tunísia Eufrausino. **Ciclo de Modelagem associado à automatização de experimentos com o Arduino: uma proposta para formação continuada de professores.** Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 35, n. 2, 634 p. 634-659, ago. 2018.

DEMO, Pedro. Teoria e prática da avaliação qualitativa. **PerspectivasOnLine 2007-2011**, v. 1, n. 1, 2007.

_____, **Estatística, I. B. (2010).** IBGE . IBGE CIDADES. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/acopiara/panorama>. Acesso em 11 de abril de 2019,

FREIRE, Hugo C. **Termodinâmica para Licenciatura**, Um roteiro. São Paulo: Livraria da Física, 2019.

REF, **Grupo de Reelaboração do Ensino de Física**, Instituto de Física da USP. Leituras de física: física térmica, para ler, fazer e pensar, 1998.

HESTENES, D. Modeling theory for math and science education. In: LESH, R. et al. (Ed.), **Modeling student's mathematical modeling competencies** (pp. 13-42). New York: Springer, 2010.

HESTENES, D. **Notes for a modeling theory of science, cognition and instruction.** In: Proceedings Girep Conference. Amsterdam: University of Amsterdam, 2006, p. 34-65.

HEIDEMANN, Leonardo Albuquerque. ARAUJO, Ives Solano. VEIT, Eliane Angela. Ciclos de modelagem: uma proposta para integrar atividades baseadas em simulações computacionais e atividades experimentais no ensino de física. **Cad. Bras. Ens. Fís.**, v. 29, n. Especial 2: p. 965-1007, out. 2012.

HEIDEMANN, Leonardo Albuquerque. ARAUJO, Ives Solano. VEIT, Eliane Angela. Atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica: Uma alternativa para a Ressignificação das aulas de laboratório em cursos de graduação em física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 38, nº 1, 1504, 2016a.

HEIDEMANN, Leonardo Albuquerque. ARAUJO, Ives Solano. VEIT, Eliane Angela. Modelagem Didático-científica: integrando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 33, n. 1, p. 3-32, abr. 2016b.

HEIDEMANN, Leonardo Albuquerque. ARAUJO, Ives Solano. VEIT, Eliane Angela. Dificuldades e avanços no domínio do campo conceitual da modelagem didático-científica: um estudo de caso em uma disciplina de física experimental. **Investigações em Ensino de Ciências – V23 (2)**, pp. 352-382, 2018.

_____, IBGE, I. B. (2010). *Cidades IBGE.gov*. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/ce/acopiara>. Acesso em 30 de março de 2019

JÚNIOR, F. R., GILBERTO, F. N., & SOARES, P. A. **Os Fundamentos da Física (6ª ed., Vol. 2)**. Moderna. São Paulo, 1993.

KELLY, G. A theory of personality – The psychology of personal constructs. New York: W. W. Norton & Company, 1963.

LIBÂNEO, José Carlos. **didática**. Cortez Editora,

MARITAN, Jacques. Elementos de filosofia: introdução à filosofia. 1963.

MARTINI, G., SPINELLI, W., REIS, H. C., & SANT'ANNA, B. **Conexões com a Física (3ª ed., Vol. 2)**. Moderna. São Paulo, 2016.

_____, Ministério da Educação/MEC. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais Complementares aos PCN. Ciência da Natureza, Matemática e suas Tecnologias**. Brasília, 2002.

MOREIRA, Marco Antonio. Teorias de Aprendizagem. São Paulo: EDU, 2011.

MOREIRA, Marco Antonio. Modelos científicos, modelos representacionais, modelagem computacional e modelagem matemática: aspectos epistemológicos e implicações para o ensino. **Revista Brasileira de Ciência e Tecnologia**. V. 7, n. 2, maio-ago 2014.

PIETROCOLA, A. C. **A relevância da epistemologia de Mario Bunge para o ensino de ciências**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19, 100-125. Florianópolis, 2002.

PIETROCOLA, M. Construção e Realidade: **O Realismo Científico de Mário Bunge e o Ensino de Ciências através de modelos**. Investigações em Ensino de Ciências, 213-227. Florianópolis, 1999

SCHELLER, Morgana. BONOTTO, Danusa de Lara. MADRUGA, Zulma Elizabete de Freitas. BIEMBENGUT, Maria Salett. SÁNCHEZ, Jose Maria Chamoso. **Modelagem nos anos iniciais da educação básica: como os estudantes modelam situações-problema?**. *Ciênc. Educ.*, Bauru, v. 23, n. 1, p. 197-217, 2017.

SERWAY, Raymond A. and Jewett Jr., John W. *Princípios de Física*, volume 2. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, 2004.

SOUZA, Ednilson Sergio Ramalho. ROZAL, Edilene Farias. Instrução por modelagem de David Hestenes: uma proposta de ciclo de modelagem temático e discussões sobre alfabetização científica. **Revista de Educação em Ciências e Matemática**, v.12 (24) Jan-Jul 2016. p.99-115.

SOUZA, Ednilson Sergio Ramalho. SANTO, Adilson Oliveira do Espírito. **A teoria da modelagem de David Hestenes no ensino de ciências e matemática**. *REnCiMa*, v.8, n.3, p.21-40, 2017.

_____,UECE, U. E. Governo do Estado do Ceará. Disponível em Faculdade de Educação, Ciências e Letras do Iguatu: http://www.uece.br/fecli/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=235. Acesso em 30 de março de 2019

_____,UECE, U. E. (s.d.). Governo do Estado do Ceará. Disponível em Faculdade de Educação, Ciências e Letras do Iguatu: http://www.uece.br/fecli/index.php?option=com_wrapper&view=wrapper&Itemid=235. Acesso em 30 de 03 de 2019

WESTPHAL, M., & Pinheiro, T. C. **A Epistemologia De Mario Bunge E Sua Contribuição Para O Ensino De Ciências**. *Ciência & Educação*, 585-596. Santa Catarina, 2004.

YOUNG, H. D.; FREEDMAN, R. **Física II: Termodinâmica E Ondas/ Young E Freedman (12 Ed., Vol. 2)**. (C. S. MARTINS, Trad.), Addison Wesley. São Paulo, 2008.

APÊNDICES

ANEXO A: Questionário inicial para explorar concepções dos estudantes sobre conceitos da Termodinâmica



Questionário

- 1) Em sua opinião, o que é temperatura?
- 2) O que é energia térmica?
- 3) Você saberia dizer o que seria conservação da energia?
- 4) O que é trabalho mecânico na Termodinâmica?
- 5) O que é energia interna?
- 6) Se você coloca alimentos em uma panela de pressão e fornece energia térmica a ela, neste caso com o passar do tempo ela irá aquecer e começar a soltar vapor, neste caso há conservação da energia?
- 7) O que são fatos reversíveis e irreversíveis?
- 8) O que é uma transformação cíclica?

ANEXO B: Termo de Consentimento Livre e Esclarecido



Universidade Regional do Cariri – URCA

Centro de Ciência e Tecnologia - CCT

Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física - MNPEF

Polo 31 URCA – Juazeiro do Norte – CE



TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO (TCLE)

Estimada Diretora(o)/ Coordenador(a)/ Pai ou Mãe: _____

Por este meio informamos o desenvolvimento da pesquisa **“O estudo das leis da Termodinâmica usando a abordagem da Modelagem Científica de Mario Bunge através da proposta de Ciclos de Modelagens de David Hestenes em uma turma do ensino médio de uma escola pública da cidade de Acopiara, CE”**. A pesquisa está sendo realizada pela professora **MARIA GÉSSICA DA SILVA**, mestranda em Ensino de Física do Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional em Ensino de Física – MNPEF da Universidade Regional do Cariri - URCA. O objetivo desta pesquisa é investigar a aprendizagem sobre as leis da Termodinâmica usando a abordagem da Instrução por Modelagem focando um ciclo de modelagem efetivada em uma turma do Ensino Médio de uma escola pública estadual do município de Acopiara (região central do Ceará). Com esse foco, propusemo-nos a responder às seguintes questões de pesquisa: (i) *A aprendizagem dos estudantes de uma turma do ensino médio sobre as Leis da Termodinâmica poderá ser facilitada com a abordagem da modelagem científica, especificamente a partir da construção de um modelo conceitual do funcionamento de um motor a combustão de uma moto?* (ii) *É possível o desenvolvimento progressivo dos modelos representacionais dos estudantes em direção à modelagem conceitual de um objeto real de seu cotidiano?*

Realizaremos uma pesquisa em sala de aula, seguindo uma sequência planejada de ensino, utilizaremos recursos de questionários, entrevistas e gravações em áudio e vídeo de algumas aulas que comporão o processo de geração dos dados. Ressalto que o material gerado neste estudo será tratado de forma anônima e confidencial, isto é, em nenhum momento será divulgado o nome da escola e dos estudantes participantes da pesquisa. Quando for necessário exemplificar determinada situação, a privacidade dos participantes será assegurada uma vez que mantereirei o nome dos alunos em segredo. Os dados coletados serão utilizados apenas NESTA pesquisa e os resultados serão publicados em eventos e/ou revistas científicas.

A participação é voluntária. A qualquer momento você pode desistir de autorizar a participação do estudante e pedir para retirar o seu consentimento, seja antes ou depois da coleta de dados, independentemente do motivo e sem nenhum prejuízo ao estudante. Sua recusa não trará nenhum prejuízo em sua relação com o pesquisador ou com a instituição.

A sua participação no estudo não traz riscos e nem complicações legais. O benefício será a contribuição da pesquisa para fortalecer o campo de estudos científicos que trata sobre o ensino de Física, particularmente sobre a abordagem da modelagem científica. O estudante não terá nenhum tipo de despesa para participar desta pesquisa, bem como nada será pago por sua participação.

Você receberá uma cópia deste termo onde consta o telefone e o endereço da pesquisadora, podendo tirar suas dúvidas sobre a pesquisa e sobre a sua participação, agora ou a qualquer momento.

Após estes esclarecimentos, solicito abaixo o seu consentimento de forma livre para autorizar a participar do estudante nesta pesquisa.

CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Tendo compreendido a temática, os objetivos, a forma como será desenvolvida a pesquisa, a minha colaboração no estudo, e estando consciente dos riscos e dos benefícios que a participação do estudante implica, concordo em autorizar a participação do estudante na pesquisa e para isso eu dou o meu consentimento livre e esclarecido.

Acopiara, Dezembro de 2018

NOME COMPLETO DO (A) DIRETOR (A) / COORDENADOR (A) / PAI OU MÃE

MARIA GÉSSICA DA SILVA
Pesquisadora

Assinatura da pesquisadora

CONTATOS DO (A) PESQUISADOR (A):

ENDEREÇO:

TELEFONE:

CELULAR:

E-MAIL:

ANEXO C: Aulas teóricas de física sobre Termodinâmica

Secretaria de Educação

PERNAMBUCO
GOVERNO DO ESTADO

Ciências da Natureza e suas Tecnologias – Física
Ensino Médio, 2ª Série

Primeira lei da termodinâmica

FÍSICA - 2º ano do Ensino Médio
Primeira lei da termodinâmica

Experimente você mesmo!

No livro *Física mais que divertida*, do professor Eduardo Campos Valadares (Ed. UFMG), encontramos um experimento denominado "Usina Térmica". A experiência consiste em aquecer uma lata de refrigerante contendo água e um furo na parte superior. Bem a frente do furo deve ser colocada uma turbina (ventoinha).

Este é um bom exemplo de transformação de energia térmica em energia mecânica, ou seja, calor em movimento.

Imagem: Arturo D. Castillo / Creative Commons Attribution 3.0 Unported.

FÍSICA - 2º ano do Ensino Médio
Primeira lei da termodinâmica

Ao ser aquecido, o gás se expande empurrando o êmbolo para cima. Notamos que o calor fornecido ao gás produziu trabalho, ao mover o êmbolo, e fez aumentar a temperatura do gás. Isso demonstra que a energia se conservou. A energia na forma de calor transformou-se em outros tipos de energia.

A primeira lei da Termodinâmica corresponde, na verdade, ao princípio da conservação da energia. Assim, o calor fornecido ou retirado (Q) de um sistema resultará na realização de trabalho (δ) e na variação da energia interna do sistema (ΔU).

Clique aqui para fornecer calor ao gás.

$Q = \delta + \Delta U$

Imagem: Fire Icon / Piotr Jaworski / Public Domain.

FÍSICA - 2º ano do Ensino Médio
Primeira lei da termodinâmica

A ideia de aproveitar o calor para produzir movimento (trabalho) é bem antiga. Heron de Alexandria (10 d.C. a 70 d.C.) já propunha em sua *eolipila* tal aproveitamento.

Esta ideia ganhou a forma de máquinas térmicas e revolucionou, na segunda metade do século XVIII, a maneira pela qual as pessoas se relacionam e produzem seus bens.

Imagens: Eolipila: Katie Crisall para a U.S. Air Force / United States public domain. Heron de Alexandria: Autor desconhecido / United States public domain.

À Esquerda, Sala de máquinas penteadeiras a vapor Heilmann / Armand Kohl / Public domain. À Direita, Locomotiva a vapor / Don-kun / Public domain.

FÍSICA - 2º ano do Ensino Médio
Primeira lei da termodinâmica

A força para produção de bens era braçal e bastante personalizada.

O homem percebe que pode utilizar a força da água para realização de trabalhos como a moagem de grãos. Sugerimos que pesquise sobre rodas d'água e moinhos de água.

Com a máquina a vapor o homem passa a controlar a fonte de energia, sendo capaz de produzir bens em larga escala.

Imagens (de cima para baixo): a - Lewis W. Hine, Yale University Art Gallery / Public Domain; b - Roger May / Creative Commons Attribution-Share Alike 2.0 Generic; c - Emoscopes / GNU Free Documentation License.

FÍSICA - 2º ano do Ensino Médio
Primeira lei da termodinâmica

Trabalho realizado pelo gás ($\delta > 0$)

Quando o gás se expande, temos uma variação de volume positiva ($\Delta V > 0$). Então dizemos que o gás realizou trabalho ($\delta > 0$), pois é a força do gás que desloca o êmbolo.

Trabalho realizado sobre o gás ($\delta < 0$)

Quando o gás é comprimido, temos uma variação de volume negativa ($\Delta V < 0$). Então dizemos que o trabalho foi realizado sobre o gás ($\delta < 0$), pois uma força externa desloca o êmbolo.