



ESTUDO DA TERMODINÂMICA NO ENSINO MÉDIO POR MEIO DA MODELAGEM CIENTÍFICA E CICLOS DE MODELAGEM

STUDY OF THERMODYNAMICS IN HIGH SCHOOL THROUGH
SCIENTIFIC MODELING AND MODELING CYCLES

MARIA GÉSSICA DA SILVA¹, CLÁUDIO DANTAS², WILSON HUGO
CAVALCANTI FREIRE²

¹Secretaria de Educação do Estado do Ceará - SEDUC

²Universidade Regional do Cariri - URCA

DOI: 10.26512/rpf.v5i3.39056

Resumo

O trabalho investiga o aprendizado da Termodinâmica por meio de modelagem científica por alunos de uma escola pública de ensino médio da cidade de Acopiara - Ceará - Brasil. Exploramos modelos representacionais, conforme definido por Mario Bunge, sobre as Leis da Termodinâmica a partir do funcionamento de um motor de combustão interna de uma motocicleta utilizando instruções de modelagem. A investigação é qualitativa, com enfoque na pesquisa-ação com o objetivo de perseguir formas diferenciadas de ensino que visem melhorar a prática docente e estimular o desejo dos alunos pela aprendizagem de física. O estudo revela dificuldades iniciais dos alunos em compreender a representação de uma situação real sobre o mecanismo de operação do motor. No processo didático, os alunos progrediram e se apropriaram de aspectos conceituais da física. Eles tiveram acesso aos conceitos fundamentais da Termodinâmica por meio da estratégia da modelagem científica. Todos os alunos se envolveram ativamente na concepção dos modelos. Houve sinais de melhora no aprendizado sobre o assunto e um despertar para estar sempre aprendendo por meio da investigação dentro ou fora da escola.

Palavras-chave: Instrução por modelagem. Modelo representacional. Termodinâmica.

Abstract

The work investigates the learning of Thermodynamics using scientific modeling by students in a public high school in the city of Acopiara - Ceará State Brazil. We explore representational models, as defined by Mario Bunge, about the Laws of Thermodynamics from the operation of an internal combustion engine of a motorcycle using modeling instruction. The research is qualitative, focusing on action research with the aim of pursuing different forms of teaching aimed at improving teaching practice and stimulating the students' desire to learn physics. The study reveals initial difficulties of students in understanding the representation of a real situation about the engine's operating mechanism. In the didactic process, students progressed and appropriated conceptual aspects of physics. They had access to fundamental concepts of Thermodynamics through the strategy of scientific modeling. All students were actively involved in designing the models. There were signs of improvement in their learning about the subject and an awakening to always be learning through investigation inside or outside the school.

Keywords: Modeling instruction. Representational models. Thermodynamics.

I. INTRODUÇÃO

Documento oficial recente, de caráter obrigatório, a Lei da Base Nacional Comum Curricular BNCC (BRASIL, 2018) estabelece conteúdos a serem tratados na Educação Básica e que o ensino de Ciências possa estimular o caráter investigativo dos estudantes. A BNCC normatiza também 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.

Dentre várias possibilidades a modelagem científica visa uma formação dos estudantes de forma mais participativa e reflexiva rompendo com atitudes passivas em sala de aula (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).

A literatura revelam produções que sugerem o ensino de ciência usando a modelagem científica, por exemplo: Brandão et al. (2008) afirmam que não existem modelos corretos, mas adequados; Brandão et al. (2011) e Heidemann (2016b) associam o processo de modelagem científica no ensino de física com um campo conceitual; Heideman et al. (2016a; 2018) concordam que possa haver uma associação entre aulas de laboratórios de física com a modelagem científica (conceituam de episódios de modelagens que, segundo eles, produzem à formação de concepções epistemológicas não ingênuas sobre a natureza da ciência); Souza e Rozal (2016) 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; Corrallo et al. (2018) apresentam uma proposta de associação entre os ciclos de modelagem com a

automatização de atividades experimentais usando a plataforma de prototipagem Arduíno ; Brandão et al. (2008) afirmam que o modelo é uma representação de um fenômeno, não se constituindo no fenômeno real e que em algum momento pode haver falha ao representar a realidade.

Buscamos entender neste trabalho as seguintes questões: i) De que forma a abordagem da modelagem didática associada à instrução por modelagem pode contribuir para a aprendizagem sobre aspectos conceituais da Termodinâmica? ; (ii) Como pode ser desenvolvido o progresso dos modelos representacionais dos estudantes em direção à modelagem conceitual de um objeto real de seu cotidiano?

Neste trabalho procuramos, como objetivo maior, investigar a aprendizagem sobre 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, CE. Como objetivos específicos buscamos: a) Explorar os modelos representacionais dos estudantes acerca de aspectos conceituais da Termodinâmica e investigar o que pensam sobre os mecanismos de funcionamento de um motor a combustão interna; b) 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; c) Investigar a ocorrência do desenvolvimento de aprendizagens dos estudantes sobre aspectos conceituais da Termodinâmica com a utilização da proposta de ensino centrada na Instrução por Modelagem.

Os resultados apresentados neste artigo são extraídos de um estudo maior a nível de mestrado, Mestrado Nacional Profissional em ensino de Física (MNPEF), referente ao Polo31, que funciona na Universidade Regional do Cariri (URCA) na cidade de Juazeiro do Norte, CE. O tema da dissertação defendida em 2017 foi: 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, CE.

Escrevemos uma seção que apresenta uma discussão sobre a abordagem da modelagem científica defendida por Mario Bunge e segue com uma descrição sobre as etapas de uma sequência de Instrução por Modelagem defendida por David Hestenes. Em outra seção apresentamos a construção da metodologia adotada neste trabalho conjuntamente com a elaboração adaptada de uma sequência de ensino inspirada na abordagem de Instrução por Modelagem. A próxima seção fornece uma discussão analítica descritiva sobre os principais resultados evidenciados nesta investigação. Em seguida construímos uma seção que integra algumas considerações conclusivas.

II. MODELAGEM CIENTÍFICA, INSTRUÇÃO POR MODELAGEM E IMPLICAÇÕES PARA O ENSINO DE FÍSICA

II.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 uma

parte 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 acerca do funcionamento de um fenômeno da realidade leva a necessidade de um maior aprofundamento da representação deste fenômeno integrando as leis gerais da ciência, ou seja, visando a construção 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. Ele diz que se o objeto representado for algo concreto seu modelo pode ser entendido como sendo uma idealização do mesmo.

Mario Bunge ressalta que esta representação pode ser pictórica, ou seja, por meio de um desenho, ou mesmo de forma 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.

Afirma o autor 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. Para ele o modelo teórico está relacionado com a evolução do conhecimento, desta forma, não sendo possível sofrer variação arbitrariamente.

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).

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) explica que os objetos-modelos mantêm-se estéreis a não ser que sejam introduzidos ou desenvolvidos em alguma teoria. (ibid., p. 32). 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).

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 discussão serviu de embasamento para elaboração de uma proposta de sequência didática para o desenvolvimento de uma intervenção didática neste trabalho que será clareada posteriormente no capítulo de metodologia.

II.2. A Instrução por Modelagem de David Hestenes: modelos representacionais e modelos conceituais

David Orlin Hestenes elaborou a 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; ROZAL, 2016).

A conceituação de modelos representacionais foi desenvolvida pelo psicólogo Johnson-Laird (1983). 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.

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 $F = m \cdot a$ representando a forma matemática que engloba os significados da Segunda Lei de Newton.

Hestenes (2006) define um modelo conceitual como um constructo 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 por meio 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 construir uma representação (um modelo conceitual). Estes modelos podem perpassar conhecimentos das leis gerais da física e pode ultrapassar o nível conceitual dos mesmos (ERIC BREWE, 2008).

Hestenes (2010) diz que o ciclo de modelagem pode ser construído em duas etapas: uma de desenvolvimento do modelo e outra de aplicação. 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 (quadro branco); aplicação do modelo; resolução colaborativa; nova sessão de whiteboard e avaliação. Abaixo apresentamos um detalhamento das etapas propostas pelo autor.

Em relação ao desenvolvimento do modelo:

- (i) Discussão do tema. Experimento, situações problemas, simulações, situações fenomenológicas do cotidiano. Negociação do tema deve estar relacionada a uma teoria científica. Identificação das seguintes estruturas do modelo: sistêmica; geométrica; descritiva; interação e temporal . (HESTENES, 2010).
- (ii) Laboratório de investigação. Etapa proposta para encontrar grandezas científicas que englobam o fenômeno que fará parte do modelo conceitual. Divisão da turma em grupos colaborativos. Incentivo de procedimentos e pesquisas em várias fontes. Uso de diferentes inscrições simbólicas, tais como: verbal, escrita, algébrica, diagramática e gráfica, na tentativa de propor respostas para as questões de modelagem. (HESTENES, 2010).
- (iii) Sessão de whiteboard (quadro branco). Trabalho com miniquadros para representação dos modelos conceituais construídos pelos estudantes. Explicação do desenvolvimento de seu modelo e um momento interessante para socializarem suas construções e pensamentos. Esta etapa pode ajudar na reformulação, renegociação de modelos representacionais dos estudantes que são incompatíveis com o conhecimento científico trabalhado (HESTENES, 2010; SOUZA; SANTO, 2017).

Em relação a aplicação do modelo, ou seja, discussão de problemas selecionados vinculados à estrutura sistêmica do modelo conceitual dos estudantes:

- (iv) Resolução colaborativa: Esta fase é para incentivar os estudantes a elaborarem relatórios escritos e desenvolvam o pensamento crítico no momento de resolução de problemas.
- (v) Nova Sessão de whiteboard (quadro branco). 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 (o professor mantém seu papel de orientador) (HESTENES, 2010).

- (vi) Avaliação: A avaliação deve ser baseada em um processo formativo e de busca das aprendizagens dos estudantes, pensada durante todo processo de modelagem. (HESTENES, 2010).

Na sequência apresentamos a construção do percurso metodológico norteadora do desenvolvimento da investigação, ou seja, o pensar o planejamento e a realização de aulas de física no Ensino Médio considerando a Modelagem Científica articulada com a proposta da Instrução por Modelagem.

III. METODOLOGIA

O estudo é de natureza qualitativa. Esta abordagem valoriza os aspectos subjetivos, descritivos e interpretativos à luz de uma fundamentação teórica consistente. A fonte principal de coleta de dados no ambiente natural é o investigador (neste trabalho a pesquisadora é a professora de uma escola pública). Na pesquisa qualitativa todos os resultados revelados não são usados para tentativas de confirmação de hipóteses elaboradas antecipadamente, mas os resultados evidenciados (as abstrações propositivas) são elaborados a partir das análises rigorosa dos dados. Uma das características fundamentais da abordagem qualitativa é a valorização das opiniões das pessoas, pois dão sentidos às suas vidas principalmente na atribuição de significados de suas ações. (BOKDAN; BIKLEN, 1994).

A investigação é do tipo 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).

A escola onde avaliamos uma sequência de ensino inspirada na Instrução por Modelagem foi uma escola pública estadual do município de Acopiara na região central do estado do Ceará. A professora investigadora trabalhava, 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.

A turma tinha 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 era, em geral, muito dispersos (resultados revelados em provas escritas e observações pela professora do envolvimento dos estudantes em aulas). Do total eram 25 alunos do sexo masculino e 17 do sexo feminino. Ao todo foram 15 aulas usadas para intervenção.

O meio de transporte mais usado pelos estudantes era a moto (motocicleta) fortemente presente na sua realidade. Apesar de usarem bastante este transporte, a maioria desconhecia a Ciência por trás de seu funcionamento.

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); escutas 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, por exemplo, entendimento dos estudantes

sobre os significados de: temperatura; calor; conservação da energia; rendimento de uma máquina; trabalho mecânico na Termodinâmica; energia interna; 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; processos reversíveis e irreversíveis; e 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 registrarem suas observações das aulas, das situações didáticas, suas dúvidas, suas expectativas, delineamento da organização das tarefas. 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 serviu de parâmetro para ajudar a diagnosticar as dificuldades e progressos dos estudantes.

Foi preciso solicitar autorização a direção e aos pais dos estudantes por meio de um termo de consentimento livre e esclarecido.

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 vivenciada por eles.

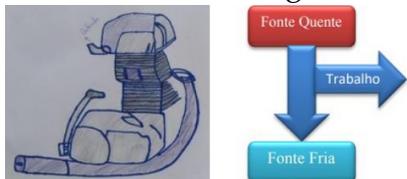
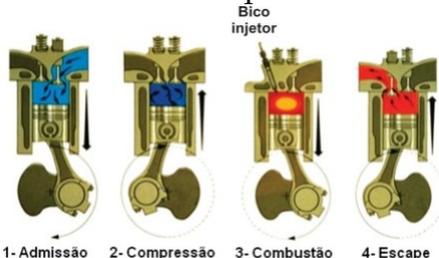
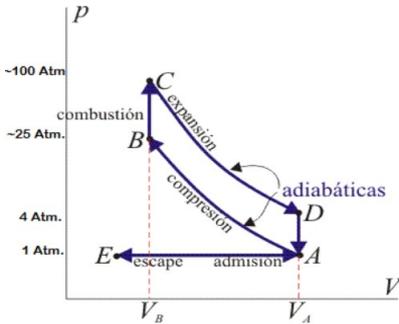
Elaboramos uma sequência de ensino de aproximadamente 15h aulas como já foi dito. Descrevemos a seguir: (I) uso de um questionário onde os alunos poderiam responder o que sabiam sobre conceitos básicos da Termodinâmica (aspectos conceituais da física que explica o funcionamento de uma motocicleta); (II) formação de equipes e incentivo para desenharem um modelo representacional sobre como pensam o funcionamento do motor à combustão de uma moto (momento de exploração dos saberes existentes dos estudantes). Na sequência foi dada uma aula expositiva sobre as leis da Termodinâmica (uso da lousa e apresentação de slides) e suas relações com os motores. Para complementar foi sugerido uma leitura de recorte do livro Grupo de Reelaboração do Ensino de Física que apresenta as etapas de funcionamento de um motor a combustão interna (GREF, 1998); (III) uma primeira sessão de whiteboard (quadro branco) em que entregamos para cada equipe um quadro branco para os estudantes imprimirem suas produções por meio de desenhos. Incentivamos uma socialização dos modelos representacionais com toda a sala. Realizamos uma adaptação considerando o uso de cartolinas de papel branco e pinceis coloridos fornecidos pela coordenação da escola. Na cartolina os alunos foram estimulados a desenharem um modelo representacional (antes do acesso as discussões conceituais da física em relação a área da Termodinâmica); (IV) etapa de 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); (V) nova sessão de whiteboard (quadro branco). Usando outra cartolina, os estudantes elaboraram um modelo conceitual na tentativa de revelarmos a apropriação de aprendizagens; (VI) momento de realização da avaliação da professora 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.

Desenvolvimento do modelo
Etapa I: Discussão do tema
1° e 2ª aulas
<ul style="list-style-type: none"> · 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 (motocicleta). Com isso espera-se obter subsídio para a aula seguinte.
Etapa II: Laboratório de investigação
3° e 4ª aulas
<ul style="list-style-type: none"> · dividir a turma em grupos de seis pessoas; · entregar cadernos de campo, para as anotações da equipe; · entrega de quadro branco ou cartolinas para cada grupo para a produção de um modelo representacional sobre o funcionamento do motor de uma motocicleta;
Etapa III: sessão de whiteboard (quadro branco)
5ª aula e 6° aulas
<ul style="list-style-type: none"> · socialização dos modelos representacionais com toda a sala.
7° e 8ª aulas
<ul style="list-style-type: none"> · aula expondo os conceitos termodinâmicos, considerando o uso de livros didáticos, 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
9°, 10° e 11ª aulas
<ul style="list-style-type: none"> · discussões de exercícios do livro; · atividades para os estudantes fazerem em casa; · uso da internet;
Etapa V: nova sessão de whiteboard
12°, 13° e 14ª aulas
<ul style="list-style-type: none"> · elaboração de um modelo conceitual na tentativa de revelarmos a apropriação de aprendizagens; · a professora neste momento atuou como orientadora, e os alunos fizeram um debate para defenderem seus modelos de representação do motor usando os conhecimentos adquiridos nas aulas e mais uma vez o quadro, ou cartolinas, para ajudar a visualização de cada modelo; · os alunos foram orientados a desenharem novamente e em seguida explicarem o modelo do motor, mostrando o que entenderam; · socialização dos resultados das produções dos estudantes associando agora com os conceitos vistos anteriormente; · a professora atuando como articuladora; · discussão de todas as dúvidas e conceituações dos discentes, fazendo assim as correções necessárias.
Etapa V: avaliação
15ª aula
<ul style="list-style-type: none"> · por meio 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.

Quadro 1: Sequência de Ensino Instrução por Modelagem para o estudo do motor de uma motocicleta

Para melhor entender o que foi realizado abaixo se encontra o quadro 2 que relaciona os passos da Modelagem Científica adaptada a partir da proposta de sequência de ensino de David Hestenes.

<p>1) Propor perguntas coerentes e interessantes sobre a realidade - o Referente (fenômeno, objeto, sistema...)</p>	<p>Referente</p>  <p>Como funciona o motor de uma moto?</p>
<p>2) Construir Objeto-Modelo: simplificar, esquematizar o objeto/fato (oferecer imagem simbólica do objeto real) Objetos-modelo abordam certas relações entre teoria e realidade</p>	<p>Desenho pictórico do motor de uma motocicleta: entrada de combustível, combustão e descarga</p> 
<p>3) Construir o Modelo Teórico especificar o comportamento ou mecanismos internos do objeto - caixa translúcida Modelos teóricos permitem criar explicações e previsões</p>	<p>Especificando o mecanismo interno do motor a 4 tempos</p>  <p>1-Admissão 2-Compressão 3-Combustão 4-Escape</p>
<p>4) Inserir o modelo teórico em uma Teoria Geral Explicar os mecanismos com uma teoria aceita / criar uma</p>	<p>Termodinâmica - Ciclo de Otto</p> 
<p>5) Teste dos Modelos</p>	<p>Proporcionar aos estudantes oportunidades de coleta de dados (podem ser empíricos, computacionais, simulação, etc.)</p>

Quadro 2: Passos da Modelagem Científica em uma Sequência Didática na acepção de Mario Bunge e da Instrução por Modelagem de David Hestenes.

No capítulo seguinte descrevemos as análises e interpretação dos principais resultados.

IV. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS DO ESTUDO

IV.1. Etapa I: Descrevendo sobre a Discussão do tema

Na primeira aula 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.

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 domínio 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.

Em relação as suas concepções sobre o significado da conservação da energia 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 fundamentais da física, por exemplo, sobre o princípio da conservação. As respostas dos estudantes a questão mostram veementemente a necessidade de inserirmos uma estratégia didática para problematizarmos conceitos fundamentais da Ciência. 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.

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 ainda não terem tido a oportunidade de um maior aprofundamento sobre o assunto.

Acerca do entendimento sobre processos reversíveis e irreversíveis a maioria compreendia 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.

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 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.

IV.2. Etapa II: Descrevendo a etapa de Sessão de Laboratório de Investigação

Nesta etapa de desenvolvimento da sequência foi feito 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 centrando particularmente para o entendimento do funcionamento do motor da moto (de forma superficial, apenas para introdução da atividade da sessão de whiteboard quadro branco).

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 encontrá-los na cidade de Acopiara tendo que encomendar a produção que revelou ser inviável devido ao custo elevado (aprox. 90 R\$ cada). Desta maneira resolvemos usar cartolinas brancas, material mais acessível e disponível na escola.



Figura 1: A construção de um modelo representacional por estudantes que possuem experiência de mecânica de motos em seu cotidiano.

Fonte: Autor.

IV.3. Etapa III: Descrevendo a etapa de sessão de whiteboard (Quadro Branco)

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 consertos de motos socializando experiências com os colegas do grupo. Alguns destes alunos em aulas anteriores não participavam da aula, ficavam calados e nesta oportunidade tiveram a iniciativa de compartilharem seus saberes com seus colegas participando bastante.

Foi pedido aos alunos que desenhassem uma representação de como pensavam o funcionamento de um motor a combustão interna de uma moto (motocicleta). Pedimos para eles identificassem a estrutura de um motor, partes essenciais necessárias 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.

A teoria de Mário Bunge enfatiza que um mesmo objeto pode ser representado de várias maneiras a depender da imaginação de cada um, ou seja, pode haver a elaboração de vários objetos-modelos por parte dos alunos acerca de uma explicação sobre o funcionamento do motor da motocicleta.

Alguns alunos tiveram menos dificuldades, pois possuíam 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 1 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.

Duas aulas de 50 min cada não foram suficientes para que os estudantes produzissem seus modelos. 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 na busca de 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.

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 que queriam entender como funcionava o motor afirmando que iriam pesquisar na internet depois da aula.

Disponibilizamos na figura 2 os desenhos das equipes que mostram uma representação acerca do funcionamento de um motor de uma moto (motocicleta) antes deles terem a oportunidade de discussão teórica.

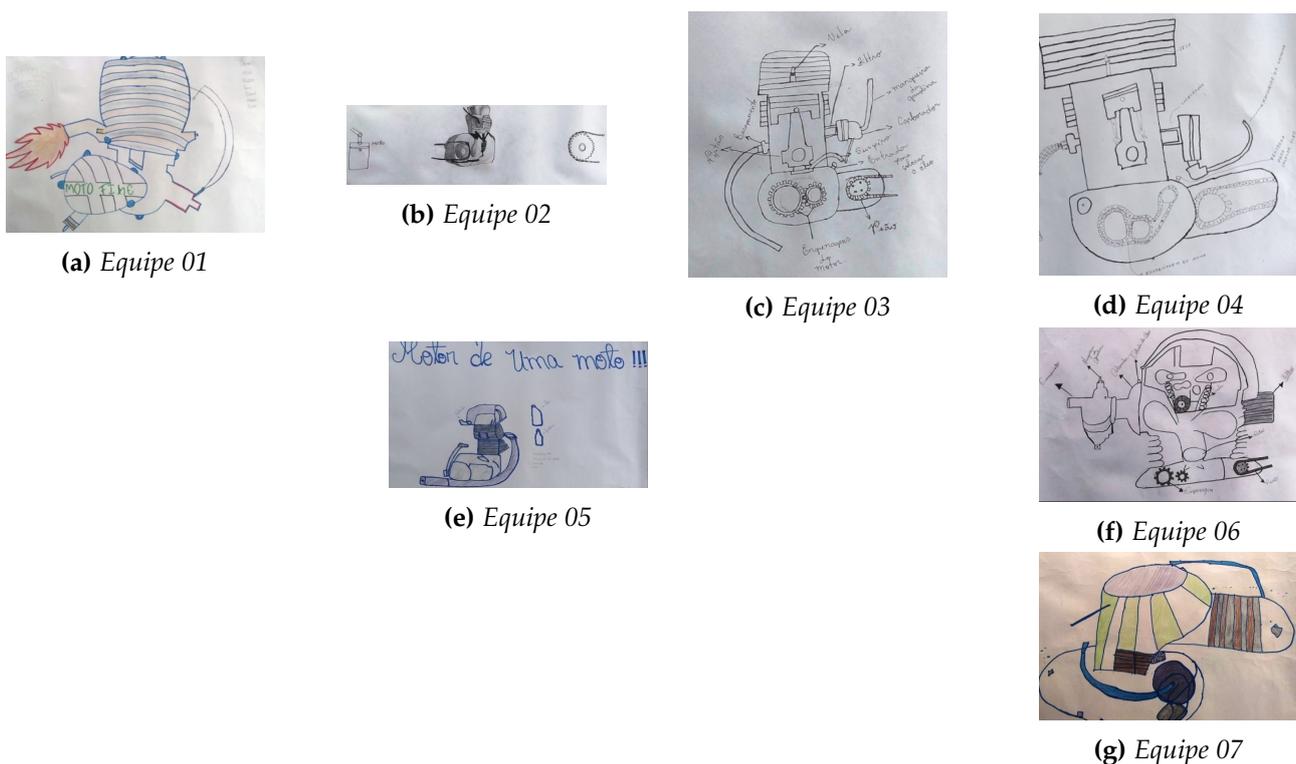


Figura 2: Desenhos produzidos pelos estudantes para representar o funcionamento de um motor de uma moto.
Fonte: Próprio autor

Percebemos que as equipes 01 e 07 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, 05 e 06 atentaram para a necessidade do uso do óleo no interior do motor. Particularmente a equipe 06 se aproximou dos conhecimentos que iríamos abordar, já que desenhou o motor completo com a fonte quente, e a fonte fria e ao ligar poderia realizar 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 motocicleta) 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 motocicleta.

IV.4. Etapa IV: 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. Os estudantes demonstraram certa inquietação neste momento, pois não tinham o hábito de seminários. Eles demonstraram certa resistência para falar para toda turma, na frente. Enfrentaram o desafio e explicaram seus desenhos. As explicações foram bem objetivas onde puderam socializarem seus desenhos sem muitos aprofundamentos

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.

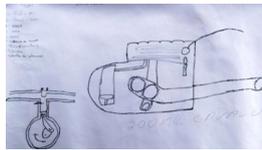
IV.5. Etapa V: Descrevendo a nova etapa de sessão de whiteboard (Quadro Branco)

Solicitamos aos grupos de estudantes que pudessem refazer seus desenhos (mapas representacionais) 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.

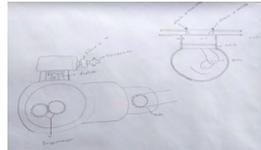
Pudemos notar uma evolução de seus modelos representacionais para a construção de um modelo teórico. Como nos ensina Mario Bunge, o processo de modelagem deve partir da representação de um fenômeno real da natureza na tentativa de se chegar a uma representação conceitual. Para isso, entendemos que o referente, que consiste em uma situação da realidade, no caso o motor de uma moto (motocicleta), 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.

A seguir, na figura 03, mostramos algumas produções dos estudantes nesta nova sessão de whiteboard (quadro branco), inspirado nas orientações de David Hestenes.



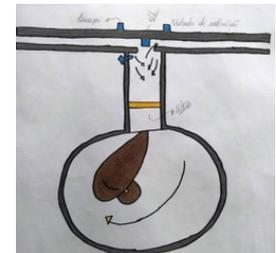
(a) Equipe 01



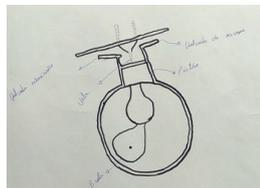
(b) Equipe 02



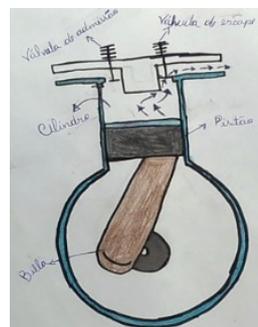
(c) Equipe 03



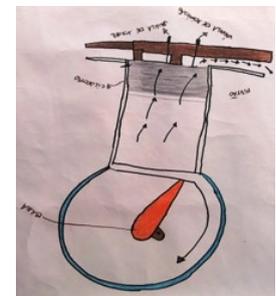
(d) Equipe 04



(e) Equipe 05



(f) Equipe 06



(g) Equipe 07

Figura 3: Desenhos produzidos pelos estudantes após discussões conceituais da Termodinâmica.
Fonte: Próprio autor

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.

IV.6. Etapa VI: 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 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 a gente imaginava. Achamos muito difícil, mas conseguimos. E no dia 03/12 terminamos de pintar o motor da aula passada e apresentamos...no dia 20/12 estudamos sobre conceitos de reversível e irreversível... Concluimos que a Termodinâmica é essencial em nosso dia a dia. (Grifos nossos).

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 motocicleta), mas que foram progredindo e se apropriando de aspectos teóricos da física por trás desta tecnologia. Dificuldades também existiram e que escutamos dos estudantes, por exemplo: muitas paradas em virtude de terem que realizarem provas bimestrais exigidas pela escola; o tempo longo entre os encontros; as poucas aulas de física; e certa resistência de alguns estudantes em participarem e serem o centro do processo de produção do conhecimento (protagonistas do processo de investigação). É muito gratificante ver os alunos empolgados para desenvolverem 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.

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O propósito de investigar o desenvolvimento de aprendizagens de aspectos conceituais da Termodinâmica por estudantes do ensino médio de uma escola pública do município de Acopiara (CE), usando a estratégia da modelagem científica, neste estudo, revelou ser uma alternativa que despertou o interesse dos estudantes. Os mesmos se comprometeram com interesse e desejo de aprender os conceitos da física especificamente conceitos fundamentais da Termodinâmica foram problematizados. 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 e rendimento de uma máquina térmica). De forma geral os estudantes tiveram acesso a conceitos elementares da Termodinâmica por meio da estratégia da Modelagem Científica. 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. A abordagem por Instrução por Modelagem valorizou o processo investigativo pelos estudantes.

REFERÊNCIAS

- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. K. *Investigação qualitativa em educação*. Portugal, Porto Editora, LDA, 1994.
- BRASIL, 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, R. V., ARAUJO, I. S. VEIT, E. A. A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física. *Física na escola*, v.9, n.1, p.10, 2008.
- BRANDÃO, R. V., ARAUJO, I. S. VEIT, E. A. A modelagem científica vista como um campo conceitual. *Cad. Bras. Ens. Fís.*, v. 28, n. 3, p. 50, 2011.
- BUNGE, Mario. Teoria e Realidade. São Paulo, *Perspectiva*, 2017.
- CORRALLO, M. V.; JUNQUEIRA, A. de C.; SCHULER, T. E. 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, p. 634, 2018.
- ERIC BREWE. Modeling theory applied: Modeling Instruction in introductory physics. *American Journal of Physics*, n.76, v.1155, 2008.
- GRAF, 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 students mathematical modeling competencies*. 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, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. 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, 2012.
- HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. 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*, v. 38, n.1, p.1504, 2016a.
- HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. Modelagem Didático-científica: inte-

grando atividades experimentais e o processo de modelagem científica no ensino de Física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 33, n. 1, p. 3, 2016b.

HEIDEMANN, L. A.; ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A. 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*, v. 23, n. 2, p. 352, 2018.

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

JOHNSON-LAIRD. *Mental Models*. Cambridge, Harvard University Press, 1983.

Louzada, A. N.; Elia, M. da F.; SAMPAIO, F. F. Concepções alternativas dos estudantes sobre conceitos térmicos: Um estudo de avaliação diagnóstica e formativa. *Rev. Bras. Ens. Fis.* v. 37, n. 1, 2015.

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

MOREIRA, M. A. *Teorias de Aprendizagem*. São Paulo, EDU, 2011.

MOREIRA, M. A., 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, p.1, 2014.

SCHELLER, M.; BONOTTO, D. de L.; MADRUGA, Z. E. de F.; BIEMBENGUT, M. S.; SÁNCHEZ, J. M. C. Modelagem nos anos iniciais da educação básica: como os estudantes modelam situações-problema?. *Ciênc. Educ.*, Bauru, v. 23, n. 1, p. 2017.

SOUZA, E. S. R.; ROZAL, E. F. 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, n. 24, p.99, 2016.

SOUZA, E. S. R.; SANTO, A. O. do E. A teoria da modelagem de David Hestenes no ensino de ciências e matemática. *REnCiMa*, v.8, n.3, p.21, 2017.

STAKE, R. *Pesquisa Qualitativa: estudando como as coisas funcionam*. Porto Alegre, Penso, 2011.
