



ROGÉRIO DE SOUZA SANTOS

**O DESENVOLVIMENTO DO PENSAMENTO TEÓRICO NO
ENSINO DA TERMODINÂMICA EM SITUAÇÕES
DESENCADEADORAS DE APRENDIZAGEM**

LAVRAS – MG

2018

ROGÉRIO DE SOUZA SANTOS

**O DESENVOLVIMENTO DO PENSAMENTO TEÓRICO NO ENSINO DA
TERMODINÂMICA EM SITUAÇÕES DESENCADEADORAS DE APRENDIZAGEM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. José Antônio Araújo Andrade

Orientador

Profa. Dra. Iraziet da Cunha Charret

Coorientadora

LAVRAS – MG

2018

**Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Catalográfica da Biblioteca
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Santos, Rogério de Souza

O Desenvolvimento do Pensamento Teórico no Ensino da Termodinâmica em Situações Desencadeadoras de Aprendizagem / Rogério de Souza Santos. – Lavras : UFLA, 2018.

232 p. : il.

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de Lavras - 2018.–Universidade Federal de Lavras, 2018.

Orientador: Prof. Dr. José Antônio Araújo Andrade.

Bibliografia.

1.Teoria da Atividade.2.Nexos Conceituais da Termodinâmica.3.Situações Desencadeadoras de Aprendizagem.I.Andrade, Antônio Araújo.II.Charret, Iraziet da Cunha.III.Título.

ROGÉRIO DE SOUZA SANTOS

**O DESENVOLVIMENTO DO PENSAMENTO TEÓRICO NO ENSINO DA
TERMODINÂMICA EM SITUAÇÕES DESENCADEADORAS DE APRENDIZAGEM
THE DEVELOPMENT OF THEORETICAL THINKING IN THE TEACHING OF
THERMODYNAMICS IN LEARNING TRIGGERS SITUATION**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 13 de Julho de 2018.

Prof. Dr. Guilherme da Silva Lima	UFOP
Prof. Dr. Antônio dos Anjos Pinheiro da Silva	UFLA
Profa. Dra. Rita de Cassia Suart	UFLA
Profa. Dra. Iraziet da Cunha Charret	UFLA

Prof. Dr. José Antônio Araújo Andrade
Orientador

Profa. Dra. Iraziet da Cunha Charret
Co-Orientadora

**LAVRAS – MG
2018**

A Maria das Neves e Pedro, minha amada mãe e meu amado pai.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Funcionamento 001.

Agradeço a CAPES por ter financiado a presente pesquisa e agradeço em especial ao presidente LULA por sua visão e incentivo as Instituições de Ensino e Pesquisa.

Agradeço a Deus, Provedor e Mantenedor da vida. Fonte de inspiração e sabedoria.

Agradeço aos meus pais, em quem encontro fonte de amor e carinho. Meus maiores incentivadores em minha longa jornada acadêmica, mostrando-me constantemente a importância dos estudos para a minha formação profissional e cidadã.

Ao meu filho Daniel, fonte de inspiração e amor, mostrando-me constantemente o amor incondicional, sugando as últimas energias do papai em meio ao processo de estudos e trabalhos.

Agradeço a minha maior adversária, Renata, irmã querida, estudiosa, meu parâmetro de dedicação aos estudos e de luta pela vida. Sua vontade de viver me faz querer ir cada vez mais longe.

Agradeço ao irmão que a vida me deu, professor Wilio Torres, que contribui para a minha vida profissional e pessoal, amigo de todas as horas.

Agradeço ao professor Guilherme por gentilmente me receber em sua sala e aceitar ao convite para a banca do mestrado.

Agradeço a professora Rita, o professor Antônio dos Anjos por prontamente aceitarem o convite para a minha banca de qualificação e defesa da dissertação.

Agradeço ao meu orientador Dr. José Antônio pela grade contribuição na vida acadêmica. O seu suporte teórico mudou a minha vida profissional, um verdadeiro divisor de águas, fazendo me ver mais distante por me colocar em ombros de gigantes. Ao amigo Zé Antônio, que a academia me deu. Nos momentos difíceis e ingratos de escrita, me transmitiu calma e paciência, às vezes até demais.

Agradeço à minha coorientadora Iraziet, a maior crítica do nosso trabalho. Grandes contribuições na nossa escrita e na minha profissão.

Agradeço as ricas contribuições a professora Cristina Matos no referencial teórico do nosso presente trabalho.

Agradeço aos meus colegas de trabalho do IFMG Edio, Luellerson, Elis, Natália, Mário, Bretas, Victor, Ana Carolina, Fernanda, Neri, Júlio, Gislayne, Fernando, Clarice e Ana Flávia.

Agradeço aos meus professores da Graduação dos quais destaco os professores Júlio Fábris, Laércio Ferracioli e João Bosco *in memoriam*.

Agradeço aos melhores professores que já tive pela atenção e cuidado dispensados aos meus colegas e a mim. Vocês, Antônio Marcelo, Antônio dos Anjos, Alexandre, Gilberto, Iraziet, Helena, José Antônio e Ulisses deram contribuições significativas ao nosso desenvolvimento acadêmico e profissional.

Agradeço aos meus colegas que iniciaram comigo essa jornada do mestrado, Heleno, Cinara, Maria Emília e Cesinha. Aprendi muito com vocês, amigos que ganhei.

Agradeço a Patrícia por seu amor, dedicação, companhia e por deixar o meu texto mais fluido. Esse último não só eu, mas todos os que leram e lerão essa dissertação agradecem!

A todos aqui e os que esqueci os meus singelos agradecimentos.

*Aquele que mais profundamente estudar os mistérios da Natureza, mais plenamente se compenetrará de sua própria ignorância e fraqueza. Compreenderá que existem profundidades e alturas que não poderá atingir, segredos que não poderá penetrar, e vastos campos de verdades jazendo diante de si, não penetrados. Dispor-se-á a dizer com Newton: "Pareço-me com a criança na praia, procurando seixos e conchas, enquanto o grande oceano da verdade jaz por descobrir diante de mim."
(Ellen G. White)*

RESUMO

A presente pesquisa teve por objetivo analisar o desenvolvimento do pensamento teórico em Termodinâmica a partir do processo de significação de estudantes de Ensino Médio gerado em situações desencadeadoras de aprendizagem. Para se alcançar esse objetivo geral, a pesquisa teve os seguintes objetivos específicos: analisar como os elementos de mediação produzidos pela cultura humana desencadeia o processo de significação que provocam o desenvolvimento do pensamento dos estudantes; analisar as potencialidades das situações desencadeadoras de aprendizagem que compõem a Unidade Didática na criação da zona de desenvolvimento iminente, mobilizando os sujeitos para a realização das atividades de estudos. A teoria histórico-cultural da Atividade e a teoria do Ensino Desenvolvimental formaram o embasamento estruturante da investigação, norteadora a intencionalidade do professor em sua atividade de ensino, incluindo a elaboração da Unidade Didática. O desenvolvimento do produto educacional foi realizado com estudantes do segundo ano do Ensino Médio de cursos técnicos integrados e, em particular, com uma turma de terceiro ano do Ensino Médio do curso técnico integrado de Manutenção Mecânica, pois a Termodinâmica fazia parte do componente curricular para essa etapa. Ao desenvolver as tarefas dessa Unidade Didática, os estudantes foram mediados em suas atividades de aprendizagem pelo professor, que em sua atividade de ensino os orientou na construção social dos conceitos da Termodinâmica por meio do pensamento teórico. A questão norteadora da presente pesquisa foi: que elaborações conceituais são produzidas pelos estudantes ao se tentar desenvolver o pensamento teórico a respeito das leis da Termodinâmica por meio de situações desencadeadoras de aprendizagem? Para a produção dos dados da pesquisa foram utilizados gravadores de áudio, notas de campo do professor e as tarefas do Produto Educacional que traziam espaços para a produção textual dos estudantes. Assim, o *corpus* da investigação foi constituído pelas produções textuais dos estudantes nas elaborações conceituais das leis da Termodinâmica, pelas transcrições dos áudios que captaram o processo de produção e negociação de significados na Unidade Didática e pelas notas de campo do pesquisador. O planejamento da sequência de aulas de Termodinâmica, os roteiros de aula e uma síntese da teoria que nos norteou em nossa intencionalidade de ensino compõem a Unidade Didática ou Produto Educacional. Essa Unidade Didática foi desenvolvida no meio do primeiro trimestre do ano letivo de 2017 no Instituto Federal de Minas Gerais, após serem trabalhados os conceitos de hidrostática, com a qual se trabalhou com a mesma perspectiva teórica de aprendizagem. Com a construção do corpus da análise, foram construídas as categorias da análise por meio da análise textual discursiva. A categoria *a priori* foi as leis da Termodinâmica, para analisar a estrutura da Unidade Didática e os nexos conceituais. As categorias *a posteriori* ou emergentes foram à mediação e a falsa passividade dos estudantes, para analisar as aulas na perspectiva da teoria histórico-cultural da atividade do Produto Educacional. Os estudantes no início fluíram no pensamento empírico, agrupando os dados empíricos, passando por um processo de significação dos conceitos da Termodinâmica sem que pudessem defini-los. Com o desenrolar das tarefas os estudantes conseguiram compreender os conceitos por meio de uma construção coletiva, socializando as impressões dando interpretações coerentes aos dados empíricos e sintetizando-os em conceitos. Na parte final do desenvolvimento das tarefas os estudantes operavam por conceitos, característico do desenvolvimento do pensamento teórico. A mediação caracterizou-se por um elemento complexo, por ser uma operação feita por instrumentos como celulares e livros, signos, além de ter o professor como uma ponte entre o ponto em que se encontram e o conteúdo a ser alcançado. Analisamos também que todos os estudantes estão em atividade, pois segundo Leontiev (1978) a atividade é inerente ao ser humano, exceto que esteja dormindo ou vegetando, as funções intelectuais estão sempre ativas, podendo estar em uma atividade diferente que não necessariamente a atividade de estudos. Com isso, no planejamento das aulas, o professor criou

situações desencadeadoras de ensino que na prática produziu uma zona de desenvolvimento iminente, chamando a atenção e o interesse dos estudantes em atividades de estudos.

Palavras-chave: Teoria da Atividade. Ensino de Física. Pensamento Teórico. Termodinâmica. Nexos Conceituais.

ABSTRACT

The present research had as objective to analyze the development of the theoretical thought in Thermodynamics from the process of signification of students of High School generated in situations triggering of learning. In order to achieve this general objective, the research had the following specific objectives: to analyze how the elements of mediation produced by human culture triggers the process of signification that provoke the development of student thinking; to analyze the potential of the situations triggering learning that make up the didactic unit in the creation of the zone of impending development, mobilizing the subjects to carry out the study activities. The Historical-Cultural Theory of Activity and the Theory of Developmental Teaching formed the structuring foundation of research, guiding the intentionality of the teacher in his teaching activity, including the elaboration of the Didactic Unit. The development of the educational product was carried out with students of the second year of High School integrated technical courses and, in particular, with a third year class of the High School of the integrated technical course of Mechanical Maintenance, since the Thermodynamics was part of the curricular component for this step. In developing the tasks of this Didactic Unit, the students were mediated in their learning activities by the teacher, who in their teaching activity guided them in the social construction of the concepts of thermodynamics through theoretical thinking. The guiding question of the present research was: what conceptual elaborations are produced by the students when trying to develop the theoretical thinking about the laws of Thermodynamics through situations triggering learning? For the production of the research data, audio recorders, field notes of the teacher and the tasks of the Educational Product were used, which provided spaces for the students' textual production. Thus, the corpus of research was constituted by the textual productions of the students in the conceptual elaborations of the laws of Thermodynamics, by the audio transcriptions that captured the process of production and negotiation of meanings in the Didactic Unit and by the field notes of the researcher. The planning of the sequence of Thermodynamics classes, the lesson scripts and a synthesis of the theory that guided us in our intentionality of teaching make up the Didactic Unit or Educational Product. This didactic unit was developed in the middle of the first quarter of the 2017 school year at the Federal Institute of Minas Gerais, after working the concepts of hydrostatics, with which we worked with the same theoretical perspective of learning. With the construction of the corpus of analysis, the categories of analysis were constructed through discursive textual analysis. The priori category was the laws of thermodynamics, to analyze the structure of didactic unit and the conceptual nexus. The posteriori categories or emergent were to the mediation and the false passivity of the students, to analyze the classes in perspective of the historical-cultural theory of the activity of the Educational Product. Initially the students flowed in empirical thinking, grouping the empirical data, going through a process of meaning of the concepts of thermodynamics without being able to define them. As the tasks unfolded, the students were able to understand the concepts through a collective construction, socializing the impressions giving coherent interpretations to the empirical data and synthesizing them into concepts. In the final part of the development of the tasks students operated by concepts, characteristic of the development of theoretical thinking. Mediation was characterized by a complex element, since it is an operation done by instruments such as cell phones and books, signs, besides having the teacher as a bridge between where they are and the content to be reached. We also analyze that all students are active, because according to Leontiev (1978) the activity is inherent to the human being, except that he is sleeping or vegetating, the intellectual functions are always active, being able to be in a different activity that not necessarily the activity of studies. re they are and the content to be reached. With this, in the planning of the classes, the teacher created teaching-triggering

situations that in practice produced an imminent zone of development, drawing the attention and interest of students in study activities.

Keywords: Theory of Activity. Teaching Physics. Theoretical Thought. Thermodynamics. Conceptual Nexus

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Mapa Conceitual do Materialismo Histórico Dialético	29
Figura 2.2 – Mapa Conceitual da Teoria Histórico-cultural.	34
Figura 2.3 – Relação Dialética entre Sujeito e Objeto	43
Figura 2.4 – Mapa conceitual da Teoria da Atividade.	47
Figura 2.5 – Mapa conceitual da Teoria do Ensino Desenvolvimental	57
Figura 3.1 – Máquina de Heron	70
Figura 3.2 – Máquina de Savery	73
Figura 3.3 – Máquina de Newcomen (1712)	74
Figura 3.4 – Máquina de Watt	76
Figura 3.5 – Máquina de Boulton e Watt	77
Figura 3.6 – Esquema do equivalente mecânico de Joule	79
Figura 3.7 – Esquema de uma máquina térmica	81
Figura 3.8 – Máquina Refrigeradora	82
Figura 4.1 – Trecho da Tarefa 1 produzido pelos estudantes do Grupo 1	100
Figura 4.2 – Trecho da Tarefa 2 produzido pelos estudantes do Grupo 2	101
Figura 4.3 – Máquinas a vapor	108
Figura 4.4 – Estudantes realizando o experimento da bacia de Locker	110
Figura 4.5 – Experimento da Ebulição da água	110
Figura 4.6 – Simulações	112
Figura 4.7 – Máquina a vapor e os casos particulares	113
Figura 4.8 – Esquema do movimento cíclico no cilindro da máquina a vapor, pelo G1 . .	114
Figura 4.9 – Esquema do movimento cíclico no cilindro da máquina a vapor, pelo G2 . .	114
Figura 4.10 – Ilustração do experimento mental, explorado pelo professor.	115
Figura 5.1 – O G1 usa o termo "aquecimento" e "calor"	118
Figura 5.2 – O G1 usa o termo aquecimento	118
Figura 5.3 – O Grupo G2 dá significado místico ao fogo e de defesa contra ameaças. . .	119
Figura 5.4 – O G2 usa o termo aquecer atribuindo ao fogo	120
Figura 5.5 – Resposta do G1 a pergunta 2 da T4	125
Figura 5.6 – Resposta do G2 a pergunta 2 da T4	125
Figura 5.7 – Resposta do G1 a pergunta 6 da T4	126
Figura 5.8 – Resposta do G2 a pergunta 6 da T4	126

Figura 5.9 – Resposta do G1 a primeira pergunta da T5	129
Figura 5.10 – Resposta do G2 a primeira pergunta da T5	129
Figura 5.11 – Resposta do G1 a primeira pergunta da parte 2 da T5	131
Figura 5.12 – Resposta do G2 a primeira pergunta da parte 2 da T5	131
Figura 5.13 – Resposta do G1 a segunda e terceira perguntas da parte 1 da T5	132
Figura 5.14 – Resposta do G2 a segunda e terceira perguntas da parte 1 da T5	132
Figura 5.15 – Resposta do G1 na T5 dos conceitos de calor e temperatura	134
Figura 5.16 – Resposta do G2 na T5 dos conceitos de calor e temperatura	134
Figura 5.17 – Respostas da T2 referentes a pressão do G1	136
Figura 5.18 – Respostas da T2 referentes a pressão do G2	136
Figura 5.19 – Resposta da terceira questão da T2 do G1	137
Figura 5.20 – Resposta da terceira questão da T2 do G2	137
Figura 5.21 – Resposta da quarta questão da T2 do G1	138
Figura 5.22 – Resposta da quarta questão da T2 do G2	138
Figura 5.23 – Resposta da segunda questão da T2 do G1	139
Figura 5.24 – Resposta da segunda questão da T2 do G2	140
Figura 5.25 – Resposta da T3 do G2	140
Figura 5.26 – Resposta da T3 do G1	141
Figura 5.27 – Resposta da primeira questão da T6 da G1	143
Figura 5.28 – Resposta da primeira questão da T6 da G2	144
Figura 5.29 – Resposta da segunda questão da T6 da G1	145
Figura 5.30 – Resposta da segunda questão da T6 da G2	146
Figura 5.31 – Resposta da terceira questão da T6 da G1	149
Figura 5.32 – Resposta da terceira questão da T6 da G2	150
Figura 5.33 – Resposta da quarta questão da T6 da G1	151
Figura 5.34 – Resposta da quarta questão da T6 da G2	152
Figura 5.35 – Resposta da quinta questão da T6 da G1	154
Figura 5.36 – Resposta da quinta questão da T6 da G2	155
Figura 5.37 – Modelo matemático da 1 ^a Lei da Termodinâmica na respostas do G1	155
Figura 5.38 – Modelo matemático da 1 ^a Lei da Termodinâmica na respostas do G2	156
Figura 5.39 – Quadro usado pelo professor no diálogo com os estudantes na mediação da 1 ^a lei da Termodinâmica no desenvolvimento da T6.	157

Figura 5.40 – 1ª lei da Termodinâmica pelo G2	159
Figura 5.41 – 2ª lei da Termodinâmica G1.	164
Figura 5.42 – 2ª lei da Termodinâmica G2.	165
Figura 5.43 – Modelo da Segunda lei da Termodinâmica que os grupos poderiam chegar realizado em outra turma que desenvolveu a mesma UD do mesmo colégio.	168
Figura 1 – Máquina a vapor de Newcomen	189
Figura 2 – Máquina a vapor de Watt	190
Figura 3 – Tela de simulação.	195
Figura 4 – Tela de simulação.	195
Figura 5 – Transformação não especificada.	206
Figura 6 – A Lata gelada e a chapa quente.	208
Figura 7 – O plano e a mola	209
Figura 8 – Mapa conceitual do fogo.	230
Figura 9 – Mapa conceitual de calor e temperatura	231
Figura 10 – Mapa conceitual simplificado da Primeira lei da Termodinâmica.	231
Figura 11 – Mapa conceitual simplificado da Segunda lei da Termodinâmica.	232

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 – Tarefas I, II e III.	94
Tabela 4.2 – Tarefas IV e V.	95
Tabela 4.3 – Tarefas VI e VII.	97
Tabela 4.4 – Tabela de Codificação da Pesquisa	102

LISTA DE QUADROS

Quadro .1 –	Palavras de busca: História da Física, Histórico-cultural e Teoria da Atividade	211
Quadro .2 –	Palavras de busca: Leontiev e Ensino de Física	213
Quadro .3 –	Palavras de busca: "Teoria da Atividade" e "Ensino de Física"	215
Quadro .4 –	Palavras de busca: Termodinâmica, Histórica da Ciência e Ensino de Física	218
Quadro .5 –	Palavras de busca: "Ensino de Física" e "Máquinas Térmicas"	220

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	Constructos Teóricos da Teoria Histórico-Cultural	23
2.1	Contribuições do Materialismo Histórico Dialético na Constituição da Teoria Histórico-cultural do Conhecimento	23
2.2	Elementos da Teoria Histórico-Cultural para o desenvolvimento do pensamento teórico	30
2.3	Teoria da Atividade	33
2.4	A Formação da Consciência	46
2.5	Ensino Desenvolvimental	54
2.5.1	O Pensamento segundo os fundamentos do Materialismo Histórico Dialético	54
2.5.2	O Pensamento Empírico e a Formação do Pensamento Teórico	56
2.5.3	Atividades de Ensino e Estudos	62
3	O Desenvolvimento Lógico-Histórico da Termodinâmica	66
3.1	Elementos Lógico-históricos que Permitiram o Surgimento da Máquina a Vapor	67
3.1.1	O Fogo	67
3.1.2	Máquina de Heron	69
3.1.3	Pressão e a Descoberta da Pressão Atmosférica	70
3.2	Contexto Histórico para o surgimento da Máquina a Vapor	71
3.3	O surgimento e Desenvolvimento das Máquinas a Vapor	72
3.4	A Máquina a Vapor: Objeto Central do Desenvolvimento dos Conceitos da Termodinâmica	75
3.4.1	A Conservação da Energia e a Primeira Lei da Termodinâmica	77
3.4.2	A Deterioração da Energia e a Segunda Lei da Termodinâmica	80
3.4.3	Calor, Temperatura e Energia Térmica	83
3.5	Os Nexos Conceituais da Termodinâmica em uma Unidade Didática	84
4	Metodologia de Pesquisa	92
4.1	Apresentação e desenvolvimento do produto educacional a ser investigado	93
4.2	A produção da documentação da pesquisa	97
4.3	Análise Textual Discursiva na Pesquisa	99
4.3.1	A montagem do <i>Corpus</i> da Análise	100

4.3.2	A Formação das Categorias da Análise	102
4.4	Descrição das Aulas	105
4.4.1	Tarefa 1: O que é o fogo?	105
4.4.2	Tarefa 2: A panela de pressão	107
4.4.3	Tarefa 3: Máquinas a Vapor	108
4.4.4	Tarefa 4: Atividades Experimentais	109
4.4.5	Tarefa 5: Simulação	111
4.4.6	Tarefa 6: Estudo Orientado - 1ª Lei da Termodinâmica	112
4.4.7	Tarefa 7: Experimento Mental - 2ª lei da Termodinâmica.	114
5	Análise do Desenvolvimento do Ensino de Termodinâmica em uma Perspectiva Histórico-cultural da Atividade	117
5.1	As leis da Termodinâmica	117
5.1.1	Calor, Temperatura e Energia	117
5.1.2	Pressão, Trabalho e a Máquina a Vapor	135
5.1.3	Energia e a 1ª Lei da Termodinâmica	142
5.1.3.1	Os Processos Termodinâmicos e as Abstrações no Ensino	148
5.1.4	A Energia e a 2ª Lei da Termodinâmica	163
5.2	Mediação	168
5.2.1	A interação entre os estudantes e dos estudantes com o professor	169
5.2.2	As Tecnologias e a Mediação	171
5.3	A falsa passividade dos estudantes	174
6	Considerações Finais	178
	REFERÊNCIAS	182
	APENDICE A – As Tarefas de Ensino e Estudos	186
	APENDICE B – Revisão Bibliográfica	210
	APENDICE C – Diálogos dos Estudantes	223
	APENDICE D – Mapas Conceituais da Termodinâmica	230

1 INTRODUÇÃO

A presente pesquisa teve como motivação o meu desejo pessoal de ultrapassar as barreiras e dificuldades em ensinar o componente curricular Termodinâmica no Ensino Médio em uma sequência lógica de desenvolvimento, configurando-se em uma falta de perspectiva metodológica para tal. Enfrentar essa barreira me incentivou a procurar a professora Iraziet após o meu ingresso no programa de mestrado, pois sabia do seu trabalho na linha de pesquisa histórico-cultural no Ensino de Física voltados para o conteúdo de Termodinâmica. Por meio dela cheguei ao meu orientador o professor José Antônio e a professora Iraziet tornou-se minha coorientadora. Essa parceria se fez profícua na produção dessa pesquisa, culminando na elaboração e desenvolvimento desta investigação.¹

A atenção principal da presente pesquisa esteve voltada para o desenvolvimento do pensamento teórico dos estudantes a fim de contribuir para a produção de suas elaborações conceituais das leis da Termodinâmica por meio de situações desencadeadoras de aprendizagem, visando mobilizar os principais nexos conceituais da Termodinâmica, tais como os conceitos de calor, temperatura e energia térmica.

A configuração desse objeto é construída por questões postas ao Ensino de Física de uma forma geral e para a prática pedagógica em Termodinâmica em específico. Para tanto, buscou-se argumentos nos documentos curriculares e na revisão de literatura realizada em bancos de dissertações e teses que tinham como foco a discussão do ensino da Termodinâmica.

As Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN+) da Física nos apontam algumas diretrizes para sanar a "necessidade de inovação no Ensino de Física e na formação integral dos estudantes"(BRASIL, 2007). Uma das linhas de competência adotada é a contextualização sócio-histórico-cultural, a qual trabalha com a Ciência e Tecnologia na História, na busca por compreender o conhecimento científico e tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social.

Na busca por alguns materiais que envolvessem um processo histórico e cultural na construção e no surgimento de algum conceito encontramos; nos livros didáticos, alguns pequenos quadrinhos em destaque, mostrando um fragmento da história da origem do conceito e seu autor final sem ao menos mencionar as condições históricas e culturais em que o fato científico foi construído. Como relata Baldow e Júnior (2010, p. 13):

¹ A partir desse ponto a dissertação prossegue na primeira pessoa do plural.

infelizmente, os livros fazem, na maioria das vezes inserções factuais, ilustrativas, não mergulhando na análise crítica do desenvolvimento dos conceitos científicos, na influência do contexto sócio-político de cada época nos caminhos da pesquisa científica, nem ao menos como fonte de busca de subsídios no desenvolvimento de aulas experimentais calcadas em aparatos que fizeram parte do desenvolvimento das diversas teorias científicas. Tal postura levaria possivelmente a um maior interesse por parte do estudante. Ao invés disto, a maioria destes textos continua ainda a veicular um conhecimento estático, fortemente focado nas fórmulas e cheio de exercícios que buscam apenas o treino no uso dos algoritmos matemáticos subjacentes às teorias e modelos científicos ensinados.

Baldow e Júnior (2010) vêem a importância de se inserir História da Ciência com uma abordagem que favoreça o desenvolvimento do pensamento científico. Um ramo da Física que tem grandes potencialidades para essa abordagem é a Termodinâmica. A Termodinâmica teve o seu desenvolvimento acentuado em conjunto com os avanços da ciência e da tecnologia no final do séc. XVII até meados do séc. XIX, influenciando diretamente nas mudanças dos hábitos e costumes na sociedade civil pelos processos de industrialização da Europa, com destaque para os grandes avanços no Reino Unido. Essa situação foi alavancada pelas necessidades humanas, que devidamente abordadas e contextualizadas no Ensino de Ciências, abrem grandes possibilidades para o desenvolvimento do pensamento científico dos estudantes, facilitando a apropriação dos conceitos da Termodinâmica como uma construção humana aberta a inovações.

O pensamento científico pode ser trabalhado com os estudantes combinando a relação dialética entre o pensar e o agir em atividades de estudos. Na teoria histórico-cultural, privilegia-se o desenvolvimento do pensamento científico, no nosso caso específico, por meio dos conceitos da disciplina de Física, substituindo o estímulo feito aos estudantes no ensino tradicional da "simples memorização de fórmulas ou repetição automatizada de procedimentos, em situações artificiais ou extremamente abstratas"(BRASIL, 2007, p. 2)

Vigotski (2009) destaca o desenvolvimento do pensamento no período da adolescência, período esse que engloba o final do Ensino Fundamental e todo o Ensino Médio, como sendo o momento de se trabalhar com conflitos de pensamentos e não de transmitir um conteúdo acabado, sem sentido. Nesse sentido, Vigotski (2009, p. 229) afirma que:

a adolescência não é um período de conclusão, mas de crise e amadurecimento do pensamento. No que tange à forma superior de pensamento, acessível à mente humana, essa idade também é transitória, e o é em todos os outros sentidos. Esse caráter transitório do pensamento do adolescente torna-se sobretudo nítido quando não tornamos o seu conceito em forma acabada mas em ação e o fazemos passar por um teste funcional, uma vez que essas formações revelam a sua verdadeira natureza psicológica na ação, no processo da aplicação.

Ao mesmo tempo, quando estudamos o conceito em ação descobrimos uma lei psicológica de suma importância, que dá fundamento à nova forma de pensamento e lança luz sobre o caráter do conjunto da atividade intelectual do adolescente e sobre o desenvolvimento da personalidade e da concepção de mundo desse adolescente.

Na tentativa de abarcar as necessidades do processo ensino-aprendizado em privilegiar o desenvolvimento do pensamento teórico dos estudantes no componente curricular Termodinâmica, na presente pesquisa, foi elaborada uma Unidade Didática para tratar da Termodinâmica para o Ensino Médio, dentro da perspectiva histórico-cultural da atividade do ensino desenvolvimental.

Os conceitos trabalhados com os estudantes foram as Leis da Termodinâmica, estruturados em uma Unidade Didática com uma proposta de ensino desenvolvimental das Leis da Termodinâmica. Envolvermos os conceitos dessa parte da matéria com o seu surgimento histórico. Começamos a Unidade discutindo o significado do fogo e a sua utilização pela humanidade. Depois fizemos o mesmo caminho, a partir da utilização das máquinas a vapor. Uma vez que os estudantes conseguiram descrever e explicar como as máquinas a vapor funcionavam, de maneira empírica, foram orientados a pensar mais profundamente sobre os conceitos da Termodinâmica e sua estrutura.

Com isso, a nossa intencionalidade foi orientar o estudante a pensar teoricamente sobre os conteúdos estudados. E para que tenha um sentido pessoal, o estudante deve partir de aspectos empíricos e pensar sobre esses aspectos, porém, deve ir além dessa superficialidade e entender toda a estrutura do conhecimento estabelecido historicamente, tornando-o assim mais consciente em sua formação humana e cidadã.

Durante o desenvolvimento dessa Unidade Didática com estudantes do terceiro ano do Instituto Federal em Minas Gerais, foram produzidos os documentos de pesquisa, por meio das elaborações textuais, gravações durante o desenrolar das atividades e em notas de campo do professor.

A pergunta que orientou a presente investigação foi: *Que elaborações conceituais são produzidas pelos estudantes ao se desenvolver as leis da termodinâmica por meio de situações desencadeadoras de aprendizagem?* O foco da pesquisa foi o processo evolutivo do desenvolvimento do pensamento teórico presente nas elaborações conceituais das leis da Termodinâmica pelos estudantes, confeccionando assim o objeto da pesquisa.

Entendemos por elaborações conceituais as manifestações do pensamento teórico substanciado em palavras (conceitos) quer orais ou escritas (LANNER DE MOURA; SOUSA,

2002 apud CUNHA, 2008, p. 2). Por pensamento teórico entendemos que seja o desenvolvimento de conceitos formado por um concatenamento de argumentos vindos de dados empíricos captados por meio de atividades práticas ou sendo formado a partir de outros conceitos.

No planejamento e durante o desenvolvimento da Unidade Didática, o professor/pesquisador fez uso das necessidades oriundas do período histórico da gênese dos conceitos, destacados nos marcos históricos da Termodinâmica, para criar *situações desencadeadoras de aprendizagem*. Ao levar essas situações aos estudantes, o professor teve a intenção de fazê-los resolver as tarefas de ensino em atividade cognitiva e desenvolver os seus pensamentos até que, por meio desse procedimento, eles conseguissem se apropriar efetivamente do conceito desejado. Com isso, a função do professor transmissor de conteúdos fica de lado e passa-se a negociar com seus estudantes os significados produzidos no processo interativo de *atividade*. Segundo Leontiev (1978 apud NÚÑEZ, 2009, p. 69):

a atividade produtiva do estudante com os conceitos a assimilar, a relação com os outros seres humanos e a mediação por instrumentos têm um papel importante no desenvolvimento das funções psicológicas superiores, pois constituem um meio para a inclusão de novas estruturas do pensamento. O conceito como formação psicológica é fruto de atividade.

Com isso, tivemos a expectativa de que na atividade produtiva do estudante, voltada para as tarefas em sala de aula, fossem relacionadas a um contexto acessível ao estudante (próximo a sua realidade), potencializando a discussão e a apropriação dos conteúdos. Em seu processo ativo de aprendizagem, o estudante deveria sanar a sua necessidade em ações de aprendizagem, promovendo o maravilhoso encontro entre a necessidade e o objeto de estudo. O professor teria o papel de mediador no processo ativo de aprendizagem do estudante. A atividade de ensinar vai desde o planejamento a elaboração de tarefas, com a intencionalidade de promover o desenvolvimento do pensamento teórico do estudante.

Após o desenvolvimento da Unidade Didática de Termodinâmica, iniciamos o processo de análise. O objetivo geral de investigação da presente pesquisa consiste em analisar o desenvolvimento do pensamento teórico em Termodinâmica a partir dos processos de significação de estudantes do Ensino Médio por meio das elaborações conceituais dos estudantes produzidas em situações desencadeadoras de aprendizagem, visando mobilizar os principais nexos conceituais da Termodinâmica, tais como os conceitos de calor, temperatura e energia térmica, na produção em atividades de estudos da construção das leis da Termodinâmica.

Para se alcançar o objetivo geral, traçamos alguns objetivos específicos: Analisar como os elementos de mediação produzidos pela cultura humana desencadeia o processo de signifi-

cação que provocam o desenvolvimento do pensamento dos estudantes; analisar as potencialidades das situações desencadeadoras de aprendizagem que compõem a Unidade Didática na criação da zona de desenvolvimento iminente, mobilizando os sujeitos para a realização das atividades de estudos.

Uma vez estabelecidos os objetivos da pesquisa para a orientação da análise, buscamos nos documentos de pesquisa as produções textuais dos estudantes para seguir metodologicamente os procedimentos de uma análise textual discursiva.

Uma das conclusões a que chegamos foi que o desenvolvimento da Unidade Didática da Termodinâmica, elaborada no processo da pesquisa, trabalhada na perspectiva histórico-cultural da atividade e do Ensino Desenvolvimental, desempenhou o seu papel de promover o desenvolvimento do pensamento teórico nos estudantes acerca das leis da Termodinâmica.

Na busca da relevância para o nosso tema de pesquisa, fizemos uma revisão bibliográfica. Antes de iniciá-la, escolhemos um conjunto de palavras-chave relevantes no que se desejava pesquisar, para que a partir dessas palavras fosse possível fazer a busca em sites de pesquisa de bibliotecas de teses e dissertações. O site escolhido foi do ibict² e a busca feita em seu banco de teses e dissertações. As palavras-chave escolhidas foram: História da Física, sócio-histórico, histórico-cultural, teoria da atividade, lógico-histórico, termodinâmica, história da ciência e nexos conceituais. Essas palavras foram escolhidas, pois carregam consigo conceitos-chave e construtos teóricos muito relevantes para a presente pesquisa.

Fizemos várias combinações que estão descritas na revisão bibliográfica encontrada no Apêndice B, em que encontramos um total de catorze trabalhos relevantes que nos auxiliaram a localizar e dar relevância a nossa pesquisa, e são esses os autores: Carvalho (2016), Lago (2013), Gomes et al. (2013), Toti (2007), Rodrigues (2009), Castro (2015), Mendes (2010), Silva (2013b), Camillo (2011), Tavares (2012), Dias (2016), Pascoal (2016), Rafael (2007) e Sabka (2016).

A partir da revisão bibliográfica, podemos perceber que nossa pesquisa tem a contribuir no geral com alguns construtos teóricos na perspectiva da Teoria da Atividade para o Ensino de Física, influenciando nas estratégias metodológicas de ensino. Além disso, os nexos conceituais, os processos de significação por situações desencadeadoras de aprendizagem e o desenvolvimento do pensamento teórico, são frutos da Teoria da Atividade e do Ensino desenvolvimental, desenvolvidas por nós no Ensino de Física.

² <<http://bdtd.ibict.br/vufind/Search/Advanced>>

Já na elaboração da Unidade Didática foram estruturadas atividades experimentais com o aspecto desencadeador de uma situação de aprendizagem. Além disso, o pluralismo metodológico na confecção das tarefas beneficia a construção dos dados empíricos pelos estudantes com a intenção do desenvolvimento do pensamento teórico. Buscamos nos processos de ensino e aprendizagem com que os estudantes avançassem do pensamento empírico, em *processos de significação* e na formação de conceitos, para o intuito de alcançar o desenvolvimento do pensamento teórico. Este trabalho está estruturado da seguinte forma:

No capítulo 2 levantamos os aspectos mais relevantes da Teoria Histórico-cultural, da Teoria da Atividade e da Teoria do Ensino Desenvolvimental para o desenvolvimento da presente pesquisa. Destacamos o método de Marx em uma breve introdução ao materialismo histórico dialético e suas contribuições para o desenvolvimento das referidas teorias. Ao final do capítulo, são destacadas aspectos das atividades de estudos e ensino.

No capítulo 3 *O Lógico-histórico da Termodinâmica*, destacamos os marcos históricos essenciais, identificando os elementos tensionadores e os nexos conceituais para o desenvolvimento conceitual da Termodinâmica. Apresentamos as necessidades humanas e sua relação com o processo de desenvolvimento humano dos conceitos historicamente estabelecidos, ou seja, apresentamos o processo histórico como uma construção humana socialmente organizada.

No capítulo 4 anunciamos a pesquisa qualitativa e o tratamento qualitativo da análise. Além disso, destacamos o produto educacional e seu planejamento. Depois, mostramos os esquemas de análise, baseado na análise textual discursiva.

No capítulo 5 avaliamos o desenvolvimento do pensamento teórico dos estudantes associado com os conceitos da Termodinâmica a partir das elaborações conceituais dos estudantes em situações desencadeadoras de aprendizagem. Além disso, analisamos a dinâmica trazidas pelas mediações com seus instrumentos diversos em sala de aula.

2 CONSTRUCTOS TEÓRICOS DA TEORIA HISTÓRICO-CULTURAL

Nesse capítulo abordamos os construtos teóricos da psicologia pedagógica soviética, enraizados no materialismo histórico dialético, destacando a teoria Histórico-cultural e seus desdobramentos na teoria da Atividade e do Ensino Desenvolvimental. As funções superiores presentes no homem e o seu desenvolvimento por meio do pensamento tem centralidade nas teorias supracitadas e destacadas nas próximas seções.

2.1 Contribuições do Materialismo Histórico Dialético na Constituição da Teoria Histórico-cultural do Conhecimento

A teoria histórico-cultural tem seu início com o pesquisador e psicólogo russo Lev Semenovich Vigotski (1896-1934). Para a construção dessa teoria Vigotski teve importantes colaboradores, dos quais destacaram-se Alexei N. Leontiev (1903-1979) e Alexander Romanovich Luria (1902-1977). Após a morte de Vigotski, Leontiev deu prosseguimento à teoria histórico-cultural com a teoria da Atividade, na psicologia em específico. Na área pedagógica, também na linha da teoria da Atividade, destacamos o psicólogo russo Vasili Vasilevich Davidov (1930-1998) com a teoria do Ensino Desenvolvimental.

Antes de adentrarmos nas teorias acima citadas, vamos situá-las em sua gênese, o local de sua origem e apresentar sucintamente os seus pressupostos filosóficos.

Tudo começa um pouco antes, durante e segue após a Revolução Russa (1917) com a queda do czarismo e a ascensão dos bolcheviques liderados por Lenin. Uma vez no poder, Lenin se dedicou pessoalmente à instauração do sistema escolar e à campanha pelo fim do analfabetismo na Rússia Soviética. Nesse período, havia ali a necessidade de se desenvolver a economia por meio da industrialização de base, implementação de hidrelétricas para o aumento do fornecimento de energia elétrica e o aprimoramento dos meios de produção da agricultura. Vencer os altos níveis de analfabetismo, que chegava aos 90% na região da Sibéria e 70% na Rússia Europeia, era outro ponto crucial (BITTAR; FERREIRA JR, 2015).

Durante esse período Lounatcharski desempenhou a função de chefe do Comissariado do Povo para a Instrução¹. Ele tinha a missão de buscar uma escola viva, com um ensino prático na formação estudantil. O componente básico era a atividade², desenvolvida por meio

¹ No Brasil, em uma simples comparação, o Comissariado do Povo para a Instrução equivaleria ao Ministério da Educação e Cultura (MEC).

² O termo atividade aqui tem o mesmo sentido da categoria atividade no materialismo histórico dialético encontrado em Kopnin (1978).

da brincadeira ou de jogos no ensino primário para a apropriação de novos conhecimentos, como destaca Bittar e Ferreira Jr (2015, p. 441):

no que diz respeito à escola primária russa, segundo Lounatcharski, a tendência pedagógica era a mesma iniciada nos jardins de infância, mas com o cuidado de se passar da brincadeira ao trabalho no sentido mais lato do termo, conduzir o assunto de modo a que as crianças adquirissem conhecimentos brincando, ao mesmo tempo em que trabalhassem, sem atingir a fadiga. Os professores deveriam deixar os alunos juntar-se em grupos, escolher uma ocupação, e guiá-los na finalidade da aquisição de novos conhecimentos. Depois de fixado um objetivo preciso, deveriam dar às crianças material preparado para estudo e conclusões.

Para Leontiev, Luria e Vigotski (2016, p. 119) a atividade da criança é "comumente chamada de brincadeira". Por meio dela a criança é levada a se apropriar de novos conhecimentos, preparando-a para a vida adulta. O passar da brincadeira ao trabalho em seus estágios intermediários tem uma característica peculiar no marxismo, ao identificar todos esses estágios como uma atividade, para que, ao chegar à fase adulta, o indivíduo tenha consciência de sua atividade, o trabalho. Então, a criança precisa entender a migração da brincadeira ao trabalho³. Nessa migração, há um processo de conscientização crescente de seu papel nas atividades, de brincadeira, de estudos ou na atividade laboral do trabalho.

A influência do marxismo é evidente e declarada na Revolução Russa de 1917 e no decorrer das décadas seguintes. Tal influência foi levada para o Comissariado do Povo para a Instrução na década que se seguia no período em que Lenin era o chefe do Estado Russo. Marx em seus trabalhos filosóficos defende a formação do homem completo, omnilateral e faz críticas à alienação trazida pelo capitalismo. Ele ressalta a importância da consciência do todo, da coisa em si, principalmente no trabalho, entendido como práxis, sendo o trabalho meio pelo qual o homem se desenvolve e que configura sua principal atividade. Prestes (2010, p. 56) nos diz que:

a revolução socialista na Rússia possibilitou acesso à riqueza de ideias e buscas filosóficas que fundamentaram a psicologia soviética desde sua origem. O estudo dos trabalhos de Marx e Engels abriu um mar de possibilidades para o pensamento daqueles que acreditavam numa sociedade nova, num homem novo. A intenção de usufruir das ideias marxistas para apresentar reflexões importantes para a área educacional estava ligada ao compromisso com os ideais da revolução.

³ Na filosofia marxista o trabalho é compreendido como práxis, ou seja, o ato de agir e de pensar do homem para que nele possa se desenvolver.

A psicologia da educação russa teve embasamento no materialismo histórico dialético e no conceito de trabalho como práxis do homem, conceitos que estão incrustados no marxismo. Para entendermos como os teóricos russos da psicologia da educação pensavam é necessário entendermos as suas bases e como se desenvolveu a construção da teoria histórico-cultural, teoria da Atividade e a teoria do Ensino Desenvolvimental.

O materialismo do marxismo é influenciado por Demócrito, filósofo da Grécia Antiga e tema de sua tese doutoral, além de Ludwing Feuerbach, materialista contemporâneo de Marx. Marx flui do pensamento idealista de Hegel, dele se utiliza da dialética e incorpora o materialismo de Demócrito e Feuerbach. Este último diz que tudo provém da matéria, inclusive as ideias. Um exemplo é a afirmação de que Deus é criação do homem e não o homem é a criação de Deus. A intenção de Feuerbach é sair do campo místico que a ideologia trazia e caminhar no campo sólido e tangível da matéria. No marxismo, as ideias de Feuerbach e Hegel são superadas, unindo o materialismo e a dialética na atividade transformadora do homem com a matéria. A filosofia marxista dá dinamismo ao materialismo com o aspecto desenvolvimentista da dialética, com a ideia de que o homem modificando o objeto, muda não só a natureza do objeto como a sua própria natureza, se desenvolvendo.

A concepção de desenvolvimento traz consigo um aspecto histórico. Para se ter a exata ideia de como um objeto se desenvolve é necessário saber quais as condições materiais envolvidas, qual período histórico, quais as necessidades sociais vieram a suprir, ou seja, saber em qual contexto ocorre tal desenvolvimento. Com isso, o materialismo não pode ser pensado isoladamente sem o aspecto histórico dentro do marxismo, e esta relação é uma relação dialética (KOPNIN, 1978), (KOSIK, 1976).

Ao trazer para o referencial teórico as nossas percepções localizaremos o contexto em que o materialismo histórico dialético foi desenvolvido por Marx, com contribuição e participação de Engels. É importante ressaltarmos como surgiu e em quais condições se deu a gênese do materialismo histórico dialético, pois ele dá base para a teoria histórico-cultural usada como referencial teórico no processo pedagógico de nossa pesquisa.

Marx e Engels viveram no séc. XIX, época em que a burguesia já havia se consolidado no poder na Europa. Fato que seu deu por conta da Revolução Burguesa e da Revolução Industrial na Europa, ocasionando o desenvolvimento acentuado na Inglaterra no final do séc. XVII e início do séc. XVIII. Dentro das fábricas o trabalho era dividido em tarefas distribuídas pelo empregador, que determinava o que o trabalhador deveria executar, dando-lhe meios materiais

para esse fim. O capitalista comprava a força de trabalho em troca da produção do trabalhador. O problema deste modo de produção é que rompia com a ideia construída historicamente de que o homem sempre se organizou e se desenvolveu em suas relações sociais no ambiente de trabalho (MARX; ENGELS, 1983),(FARA, 2014).

No início da Era Moderna o homem trabalhador (proletário) era um ‘executor de tarefas’, e por isso não tinha uma atividade que produzisse seu desenvolvimento mental. O trabalhador não pensava em tudo que envolvia a produção e em como deveria produzir. Assim, ficava limitado a desempenhar sempre com os mesmos procedimentos, mecanicamente. Nesse período, o trabalhador necessitava apenas de ser treinado a fazer uma tarefa mecânica, semelhante ao apertar parafusos do filme *Tempos Modernos*.

Nesse contexto, Marx, ao analisar as relações de trabalho na sociedade moderna industrializada, por meio da perspectiva do materialismo histórico dialético, tenta resgatar o conceito histórico de trabalho e restituir ao proletariado o papel histórico de classe trabalhadora, da qual deveria surgir uma revolução. O trabalho tem um papel central no marxismo. Marx encara o trabalho não apenas como um emprego, ou um lugar para se ganhar dinheiro, mas também e, principalmente, como uma práxis. A práxis é um conjunto de duas atividades que se completam. Ela é a unidade entre a atividade prática (agir) e a atividade do pensamento (pensar), que são cruciais para o desenvolvimento do homem.

Em nossa interpretação, Marx está propondo que os trabalhadores tenham não só a atividade prática, mas também a atividade de pensar, pois é este o conceito de trabalho historicamente constituído. A forma como a atividade prática era pensada, deveria ocorrer dentro de um diálogo entre os trabalhadores com a participação do empregador, mediada pelas condições de trabalho e por suas ferramentas culturais. Com isso, o homem se desenvolve no trabalho, aqui encarado como práxis.

Na teoria histórico-cultural, quando Vigotski fala da criação da Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI)⁴ é ressaltado o desenvolvimento por meio das relações sociais abordadas na filosofia marxista. Na ZDI o professor orienta os estudantes a solucionar um problema para que, por meio dele, possam se desenvolver em ações sociais e mentais, daí a necessidade de as atividades em sala de aula serem em grupo. O método de Marx é utilizado por Vigotski:

a teoria histórico-cultural, desenvolvida por um grupo de cientistas que liderava, foi um marco importante para a psicologia mundial e serviu de base para o desenvolvimento da psicologia como ciência. É preciso lembrar,..., que o

⁴ Expressão utilizada por Prestes (2010)

contexto histórico à época em que Vigotski desenvolveu suas ideias influenciou seu trabalho. O desejo de aprender com o *método de Marx* guiou seus estudos; para ele o importante era que o marxismo oferecia para a psicologia constituir-se como ciência. (PRESTES, 2010, p. 55) [*grifo nosso*]

O método de Marx referido por Prestes (2010) é o materialismo histórico dialético e o conceito de trabalho historicamente constituído. Como já vimos, o trabalho tem um papel central para Marx, pois é no trabalho⁵ que o homem se desenvolve por meio de suas relações sociais e constrói a própria história, produzindo e acumulando conhecimento.

O trabalho é tratado no materialismo histórico dialético como um conjunto de *atividades*. A *atividade* no *materialismo histórico dialético* é estruturada por ações objetivadas e operações por meio de instrumentos agindo sobre o objeto, exercida por sujeitos. A práxis, já definida em outro momento como a atividade de agir e de pensar, pode ser exercida por qualquer sujeito em qualquer idade, pois a atividade é inerente ao ser humano.

Mas qual é o ponto de partida da atividade? Agir ou pensar? A atividade, no materialismo dialético, existe para satisfazer uma necessidade, que não faz parte da atividade, mas cria um motivo para que a atividade exista e o motivo coincide com o objeto. Para Koppin (1978, p. 61) "o materialismo dialético aborda o ser e suas formas partindo das necessidades da atividade transformadora do homem".

Antes de adentrarmos o materialismo histórico dialético, devemos ressaltar um de seus princípios fundamentais, que é a relação dialética entre o sujeito e o objeto. No objeto, encontramos e captamos a realidade. Esta realidade é captada pelo sujeito que a conscientiza. Não há um movimento contrário neste processo, ou seja, o sujeito não determina nenhuma realidade ao objeto, quem tem o papel de determinar a realidade é o objeto. Esta extração só poderá ocorrer se o sujeito estiver ativo no processo e isso requer duas atividades, a da prática e a do pensamento. É necessário percebermos que a atividade é algo inerente ao ser humano. Mas, qual seria o ponto de partida para a conscientização deste objeto para que a realidade se transforme em conhecimento? O ponto de partida dessa atividade é a ação prático-sensorial do homem voltada para o objeto. Tomando como base a atividade na teoria do conhecimento formulada por Marx, Leontiev (1978, p. 20) nos diz que:

quando Marx introduziu o conceito de atividade na teoria do conhecimento ele atribui um sentido rigorosamente materialista: para ele a atividade, em sua forma inicial e básica, é uma atividade sensorial prática, durante a qual os homens se põem em contato prático com os objetos do mundo circundante,

⁵ Entendemos trabalho como uma atividade laboral com a finalidade de desenvolvimento humano.

experimentam em si mesmos a resistência desses objetos e agem sobre eles, subordinado a suas propriedades objetivas. É esta a diferença central que existe entre a doutrina marxista sobre a atividade e a idealista, que admite que a atividade somente em sua forma abstrata, especulativa.

O homem, por meio da atividade prático-sensorial, extrai as informações imediatas (realidade) do objeto e são criadas imagens das diversas facetas do objeto na mente. A partir destas imagens é iniciado um movimento de apreensão da realidade no pensamento. Então ocorre a ascensão do abstrato ao concreto⁶. O abstrato refere-se à extração das particularidades da realidade do objeto e de suas determinações⁷. O movimento que se faz com as imagens e suas determinações na mente é o *reflexo psíquico*, que faz o processo da conexão dessas imagens e suas determinações para se tornar um conceito concreto e estruturado (LEONTIEV, 1978), (KOPNIN, 1978).

É como determinar o que é um elefante apalpado por cegos. Cada cego determinará características de partes do elefante, mas não ele todo. Ao fazer a junção dessas particularidades na mente é possível formar a imagem do todo físico do elefante. Se buscarmos informações do significado social do elefante, do que ele come, de sua afetividade com seus filhotes, teremos mais determinações do elefante. Se há uma investigação mais acurada científica, estudando sua estrutura biológica e molecular, teremos mais determinações no âmbito científico. Mas o elefante não deixou de ser elefante. O movimento das determinações auxilia na formação estrutural do conceito concreto, com suas características multifacética, de elefante na mente. Esse movimento da apreensão da realidade pelo pensamento faz parte do método de Marx, da ascensão do abstrato para o concreto. Para Kosik (1976, p. 30):

o método da ascensão do abstrato ao concreto é o método do pensamento; em outras palavras, é um movimento que atua nos conceitos, no elemento da abstração. A ascensão do abstrato ao concreto não é uma passagem de um plano (sensível) para outro plano (racional): é um movimento no pensamento e do pensamento. Para que o pensamento possa progredir do abstrato ao concreto, tem de mover-se no seu próprio elemento, isto é, no plano do abstrato, que é negação da imediatividade, da evidência e da concretividade sensível. A ascensão do abstrato ao concreto é um movimento para o qual todo o início é abstrato e cuja dialética consiste na superação desta abstratividade. O progresso da abstratividade à concretividade é, por conseguinte, em geral movimento da parte para o todo e do todo para a parte; do fenômeno para a essência e da essência para o fenômeno; da totalidade para a contradição e da contradição para a totalidade; do objeto para o sujeito e do sujeito para o objeto. O processo do abstrato ao concreto, como método materialista do conhecimento da realidade,

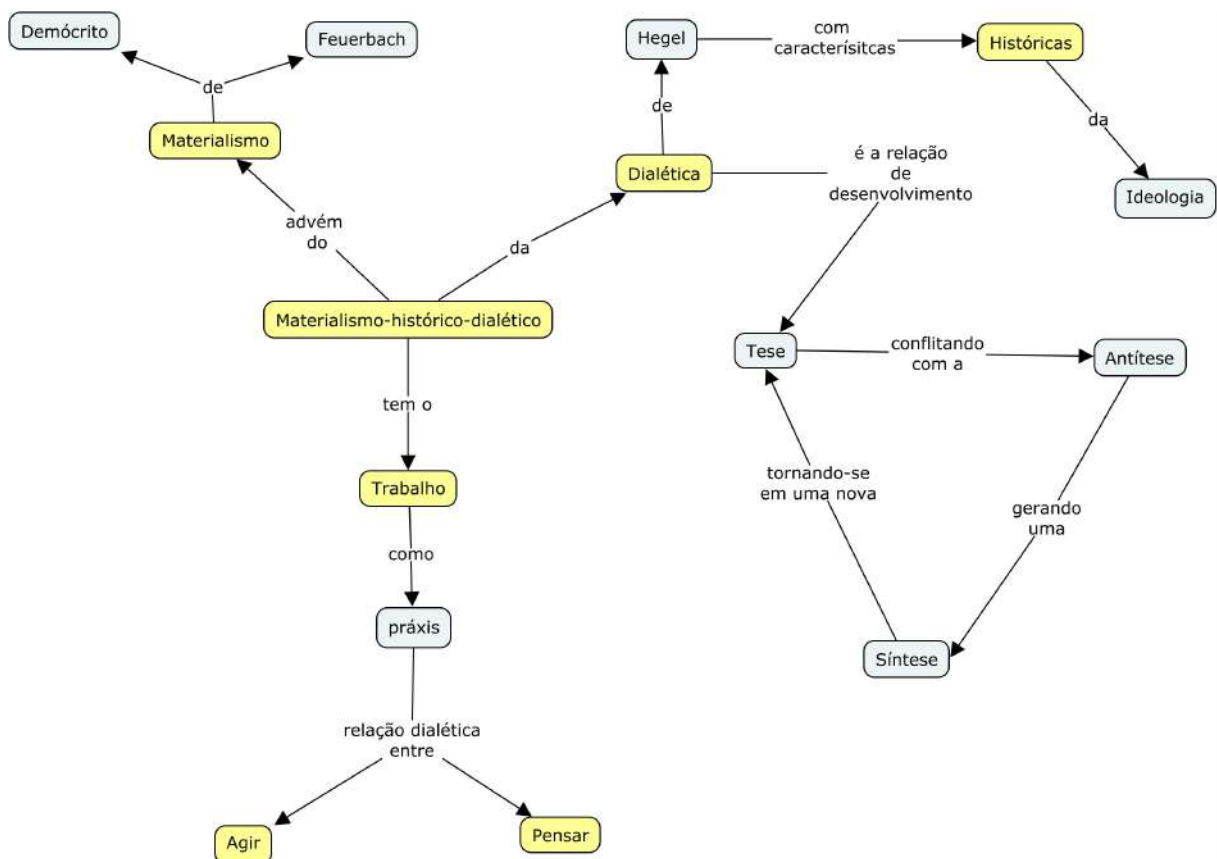
⁶ Essa afirmação é um resumo. Será melhor explorado nas seções e subseções subsequentes.

⁷ São exemplos de determinações: a casa é branca, a casa tem paredes lisas, etc.

é a dialética da totalidade concreta, na qual se reproduz idealmente a realidade em todos os seus planos e dimensões. Os processos do pensamento não se limitam a transformar o todo caótico das representações no todo transparente dos conceitos; no curso do processo o próprio todo é concomitantemente delineado, determinado e compreendido.

Em síntese, no processo de ascensão do abstrato ao concreto, o sujeito tem como sua atividade a captação e a conscientização da realidade do objeto. O sujeito é um agente social que age sobre o objeto, captando o conhecimento por meio de instrumentos. Isso não ocorre de maneira imediata, é necessária uma investigação mais acurada. Em contato direto do homem com o objeto é a aparência que se manifesta diretamente. A aparência revela e ao mesmo tempo esconde a essência e a estrutura interna do objeto. O objeto só é apreendido em sua totalidade, quando tem o fenômeno e sua essência bem compreendido pelo homem, participando ativamente do movimento dialético que existe entre a essência e o fenômeno.

Figura 2.1 – Mapa Conceitual do Materialismo Histórico Dialético



Fonte: O autor.

2.2 Elementos da Teoria Histórico-Cultural para o desenvolvimento do pensamento teórico

Vigotski (2009), procurou desenvolver um método que possibilitasse a compreensão da natureza do comportamento humano enquanto parte do desenvolvimento histórico, buscando subsídios na lógica dialética-materialista (PALANGANA, 2015).

Ao utilizar a dialética-materialista como base de sua teoria, Vigotski (2009) dá ênfase aos processos de desenvolvimento do pensamento dos estudantes para a apropriação dos objetos. No caso da educação dos estudantes em idade escolar esses objetos seriam os conceitos científicos. Para Kopnin (1978, p. 54):

enquanto lógica, a dialética materialista se distingue de qualquer outra ciência pelo fato de tomar como base o conhecimento das leis de desenvolvimento de qualquer objeto, do objeto em geral, e criar um método universal de movimento do pensamento no sentido da verdade, elaborar problemas lógicos que se apresentam ante cada ciência (ciência em geral) no processo de apreensão da verdade, ao passo que qualquer outra ciência concretiza e aplica essa lógica ao conhecimento do seu objeto específico.

Além de trabalhar na perspectiva do materialismo histórico dialético inerente ao marxismo, Vigotski, influenciado pelas políticas públicas adotadas pela Rússia Soviética, incorpora o conceito de atividade em sua teoria. Para Vigotski a brincadeira de faz de conta é uma atividade que leva a criança a ter uma representatividade das atividades na fase adulta, em particular as atividades no trabalho. Nela a criança se apropria de novos conhecimentos e se desenvolve.

Vigotski (2009) fala sobre fases de desenvolvimento da criança em idade escolar. O desenvolvimento atual (real) é algo que a criança consegue executar em suas tarefas sem o auxílio de um adulto, ou de outro tipo de mediação. Podemos considerar o desenvolvimento atual como um conhecimento consolidado, mas para que a criança possa se desenvolver, adquirir mais conhecimento ou se aprofundar em algum conhecimento já consolidado, chegando em um outro nível de conhecimento, é necessário um problema com que ela se envolva e que a ela seja possível uma resolução com o auxílio de uma *mediação*, podendo alcançar assim um novo conhecimento.

O papel do professor é criar situações desencadeadoras de aprendizagem entre o conhecimento que a criança já possui e o conteúdo que é intencionalmente planejado para que o estudante tenha aumentada a sua potencialidade de aprendizagem. Vigotski denomina esta

situação desencadeadora criada pelo professor de Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI)⁸, o que no Brasil é conhecido como Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP). A criação da ZDI segue um processo, e possui importância em sua totalidade no resultado processual, não no resultado final. Primeiramente, o professor dá a instrução para o desenvolvimento da tarefa, a resolução de um problema em grupo. Por exemplo, partindo do princípio que o ser humano se desenvolve por meio de suas relações sociais, o trabalho deve privilegiar situações em que os estudantes levantam hipóteses/conjecturas e negociação de significados entre si, como ocorre por exemplo, na resolução de problemas em grupo ou em aulas dialogadas. A socialização e a validação, ou não, das hipóteses/conjecturas entre os estudantes e o professor, deve ser finalizada com uma sistematização dos significados produzidos.

Nesse processo reside a mediação, em que o professor tem o papel principal de orientar os estudantes na resolução do problema, visando o desenvolvimento do pensamento teórico. Essa orientação também pode ser executada por um dos colegas, chamado por Vigotski (2009) de colega mais capaz. Nesse momento, as hipóteses levantadas pelos estudantes são socializadas e negociadas, ou seja, há uma interação ou momento intersíquico, em que o professor tem o papel de orientar na formação das ideias e na apropriação de conteúdos na psique dos estudantes, fazendo com que ocorra a construção de conceitos científicos. A formação dos conceitos científicos é depois apropriada individualmente, caracterizando o momento intrapsíquico. Vale ressaltar que na resolução de problemas aparecem outros elementos mediadores: os signos e os instrumentos.

Entendemos que a mediação influencia em dois momentos, no interpsicológico e no intrapsicológico, nas relações sociais primeiramente e depois individualmente. Externamente, ocorre pela orientação do professor ou do colega mais capaz, na socialização de sentidos e significados entre os colegas e por meio de outros instrumentos culturais acessíveis aos estudantes. Internamente, ocorre formando o que Kopnin (1978) chama de formação de *juízos*, que são parâmetros pelos quais o pensamento deve ser balizado. Os juízos são formados pela internalização do momento das discussões sociais ocorridas na mediação. "Sem a atividade judicativa o pensamento é disperso e indefinido; o juízo dá ao pensamento sistematicidade e rigorosidade."(KOPNIN, 1978, p. 143)

Os momentos intersíquico e intrapsíquico que ocorrem dentro da ZDI é destacado por Leontiev (1978) por atividade interna e externa, "as ideias das quais partiu Vigotski, e que

⁸ Expressão utilizada por Prestes (2010) em correção a tradução feita por Paulo Bezerra em Vigotski (2009)

o levaram ao problema de que a atividade psíquica interna se origina na atividade externa, diferem essencialmente das concepções teóricas de outros autores de sua época". Leontiev (1978) continua dizendo que essas ideias,

nasceram da análise das particularidades da atividade especificamente humana, ou seja, a atividade laboral, produtiva, que se realiza por meio de instrumentos, da atividade que é social desde seu início, isto é, que se desenvolve somente mediante a cooperação e a comunicação dos homens. Na verdade Vigotski separou dois aspectos principais intervencidos, que devem construir a base da ciência psicológica: a estrutura instrumental da atividade do homem e sua inserção no sistema de inter-relações com outros homens, que são precisamente as que determinam as peculiaridades dos processos psíquicos do homem. O instrumento mediatiza a atividade que liga ao homem não somente com o mundo das coisas, mas também com outros homens. Graças a ele, sua atividade absorve a experiência da humanidade. Daqui deriva que os processos psíquicos do homem (suas 'funções psíquicas superiores') adquirem uma estrutura que tem como ligação inevitável meios e procedimentos que se há formado no plano histórico-social, que lhe são transmitidos pelos homens que o rodeiam no processo de colaboração, de comunicação com estes. Mas é impossível transmitir os meios, o procedimento para cumprir um ou outro processo, mais que em forma exterior, em forma de ação ou de linguagem externa. Em outras palavras, os processos psicológicos superiores específicos do homem podem nascer unicamente na interação do homem com o homem, isto é, como interpsicológico, e só depois começam a ser efetuados independentemente pelo indivíduo; ademais, alguns destes processos perdem logo sua forma exterior inicial e se transformam em processos intrapsicológicos. (p. 78)

As atividades externas e internas citadas por Leontiev (1978) fazem parte da ZDI de Vigotski. No Brasil conhecemos a ZDI como zona de desenvolvimento proximal (ZDP), traduzido do russo para o português por Paulo Bezerra como zona de desenvolvimento imediato. A denominação feita por Prestes (2010) como Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI) torna-se a mais apropriada, pois a instrução não garante que o estudante terá o desenvolvimento conforme planejado pelo professor, que o estudante ainda não possui, mas a ZDI aproxima o desenvolvimento que o estudante já possuiu e o desenvolvimento planejado pelo professor, na iminência de ocorrer. Outra situação que Prestes (2010) nos chama a atenção é a não existência de um nível potencial pré-determinado, embora até possa existir um nível potencial estimado pelo professor, mas não um nível potencial concretizado, por isso, torna-se inadequado utilizar o termo *nível de desenvolvimento potencial*.

Ainda dentro da ZDI, é importante ressaltar a natureza da apropriação dos conceitos, que deve ser feita de maneira social. Vigotski (2009), após seus estudos experimentais concluímos que o desenvolvimento das funções psíquicas superiores se dá primeiro de maneira interpsíquica, ou seja, na interação com outros colegas e com o professor, por meio da mediação e

da interação, momento em que é formada a consciência social e a aquisição da cultura, que também é um bem social. Em um segundo momento, um momento de reflexão, esta aquisição cultural é consolidada na psique do sujeito. Segundo Núñez (2009, p. 26),

a aprendizagem como atividade humana tem caráter social. Acontece em um meio social em ativa interação com outras pessoas, por meio de colaboração e de comunicação. O caráter social da aprendizagem significa que, na etapa inicial, existe um caráter interpsicológico como atividade conjunta. E no próprio processo de assimilação se internaliza, passando ao plano intrapsicológico.

Embora Vigotski (2009) tenha trabalhado mais questões como a linguagem, a fala, o pensamento e a apropriação de conceitos, e a ascensão de conceitos espontâneos para conceitos científicos, ele prossegue seus estudos sobre o processo de aprendizagem com o foco na atividade da criança. O autor deu início a Teoria da Atividade, mas não progrediu muito nesta teoria por causa de sua morte prematura (Vigotski morreu em 1934 aos 38 anos de idade). Prestes (2010) relata a brincadeira de faz de conta das crianças como uma atividade que supre a necessidade das crianças de um contato social, como sugere Vigotski (2009). Kozulin citado por Asbahr (2006) relaciona Vigotski e a Teoria da Atividade:

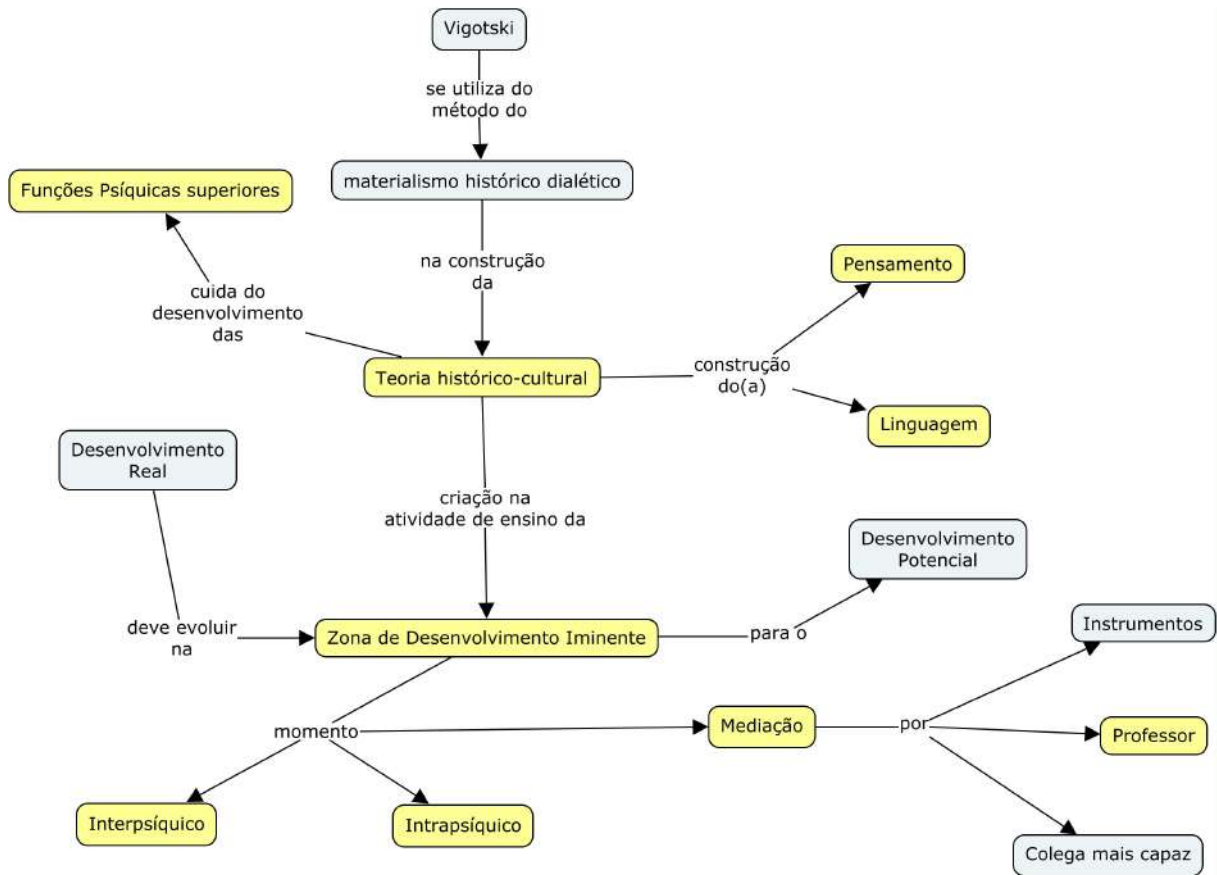
Vigotski utiliza o conceito de atividade já em seus primeiros escritos e sugere que a atividade socialmente significativa é o princípio explicativo da consciência, ou seja, a consciência é construída de fora para dentro por meio das relações sociais. (p. 109)

Parece-nos evidente que, mesmo de maneira pouco intencional, Vigotski utilizou do conceito de *atividade*, por ser um conceito pertencente ao método de Marx. A ZDI, conceito criado por Vigotski, é claramente um momento de aprendizado ativo por parte do estudante e que o próprio Leontiev (1978) identifica na ZDI a atividade externa e interna. Vemos com clareza o desenvolvimento da Teoria da Atividade melhor estruturada nos trabalhos de Leontiev, dada a morte prematura de Vigotski. Portanto, ficou para Leontiev a responsabilidade de dar continuidade a Teoria referida e ele o faz com maestria.

2.3 Teoria da Atividade

O materialismo histórico dialético é o principal referencial teórico para a formação da psicologia russa. Deste referencial a categoria *atividade* ganha destaque, pois, segundo a teoria, a construção do conhecimento humano ocorre em atividade. A vida do homem é construída e constituída em movimento, ou seja, em atividade.

Figura 2.2 – Mapa Conceitual da Teoria Histórico-cultural.



Fonte: O autor.

Na formação da psicologia russa pós-revolução de 1917, Vigotski e seus colaboradores constroem, com base na filosofia marxista, a Teoria histórico-cultural, nela está contida implicitamente a categoria da *atividade*. A atividade, aqui, sem ter sua estrutura determinada dentro da Teoria histórico-cultural. Com o falecimento de Vigotski, Leontiev que participou do processo de elaboração da Teoria histórico-cultural, posteriormente desenvolveu a Teoria da Atividade, embora essa decorra daquela, não há um aspecto de continuidade e sim de complementaridade como afirma Prestes (2010, p. 147):

por mais que se tente negar o papel fundamental que A.N.Leontiev desempenhou ao longo do desenvolvimento da teoria histórico-cultural, é nela que se baseia sua teoria da atividade. Não é uma continuação direta da teoria histórico-cultural de Vigotski, mas faz parte dela, dela decorre.

Leontiev tem uma apropriação maior do materialismo histórico dialético e o incorpora em sua teoria. O foco para a construção da Teoria da Atividade está no desenvolvimento da consciência do sujeito a partir da realidade extraída do objeto. Além de analisar o processo de construção do conhecimento e como esse é constituído no sujeito, Leontiev (1978) analisa a

conexão do desenvolvimento humano com as suas atividades, sendo a atividade o foco central. A atividade é antecessora e motor do desenvolvimento de qualquer faculdade humana, por isso a Teoria é da Atividade.

Apesar da atividade ser algo inerente ao ser humano, por ser dotado de racionalidade, os animais também a possuem para atender apenas necessidades fisiológicas e de uma comunicação muito rudimentar se comparada com a complexa e sistemática comunicação humana. O comportamento dos animais pode ser explicado pelo esquema behaviorista estímulo-resposta $S \rightarrow R$ ⁹, pela simplicidade da psiquê do animal, que serve para a sobrevivência e a articulação do seu sistema motor.

Para o ser humano, dotado de pensamentos orientados para a aquisição de conhecimento, o sistema psicológico $S \rightarrow R$ é extremamente limitado para explicar ou interpretar os pensamentos, a formação da consciência e da linguagem do ser humano, quiçá as suas funções psicológicas superiores¹⁰ (LEONTIEV, 1978, p. 61). Davidov (1988, p. 31) elucida a diferença da relação psicológica que há no campo materialista, que trata a atividade como mediadora do conhecimento e no campo idealista que trata os homens como animais, como seres reativos:

características distintivas peculiares da atividade constituem a base para superar as concepções idealistas, e também as mecanicistas, amplamente difundidas na psicologia burguesa. Particularmente a utilização da categoria da atividade possibilita e permite superar o 'postulado do caráter imediato', típico das tendências mecanicistas. Este postulado afirma que a condição do sujeito está determinada de maneira imediata pelo objeto, conforme o seguinte esquema: quando o objeto atua sobre os sistemas receptivos do sujeito, surgem neste reações de resposta, imagens e atos comportamentais. Segundo esta interpretação, o sujeito é um ser reativo, totalmente e integralmente subordinado às influências do meio.

A atividade como categoria da dialética materialista é pertencente e parte essencial da vida do homem. A atividade é mediadora da relação sujeito-objeto. O homem sem a atividade das funções mentais superiores e inferiores, não vive, simplesmente vegeta ou está morto.

O movimento do sujeito para a aquisição de conhecimento passa por um processo. No primeiro momento, há o contato do sujeito com o objeto por meio da atividade prática, externa ao ser humano, mas recebido e interiorizado pelo homem. Depois da interiorização e da criação

⁹ S: Stimulus, traduzido para o português como estímulo; R: Response, traduzido para o português como resposta. Mantivemos a sigla em inglês Stimulus \rightarrow Response.

¹⁰ As funções psicológicas superiores são responsáveis pelo pensamento, formação da linguagem, nos permitem operações com conceitos, cálculos e sistemas lógicos. Essas atividades são particularidades da humanidade. Segundo Leontiev (1978) as funções superiores é o que diferencia o homem dos animais.

de imagens na mente, a atividade passa para a mente do sujeito no processo de conscientização da realidade para que seja possível a formação da linguagem, do conhecimento estruturado e da comunicação deste conhecimento. Dentro da perspectiva do materialismo histórico dialético, esta construção humana ocorre no trabalho. Para Libâneo (2004, p. 7) "a atividade, cuja expressão maior é o trabalho, é a principal mediação que os sujeitos estabelecem com o mundo objetivo".

A atividade tem o mesmo princípio da relação sujeito-objeto que há no materialismo histórico dialético, ou seja, no objeto reside a realidade e cabe ao sujeito o conjunto de atividades para a extração desta realidade e a sua conscientização. Por isso quando autores como Libâneo (2004), Núñez (2009) e o próprio Leontiev (1978), afirmam que a atividade é objetual, significa dizer que a atividade está orientada para um objeto, que sem objeto não há realidade, não há conhecimento a ser construído, não faz sentido a atividade, pois a atividade é do sujeito, fruto da sua interação com o objeto. A atividade pertence ao sujeito. Para Leontiev (1978, p. 68) "a característica básica ou, como geralmente é dito, constitutiva da atividade é sua objetividade. Em rigor, no conceito de fato da atividade está implicitamente contido no conceito de seu objeto (Gegenstand) [Assunto]".

A objetividade da atividade está ligada à sua fonte material, isto é, o objeto (daí o termo objetividade). O objeto é a fonte material por onde começa e termina a atividade humana. Até mesmo a *ideia* e a *imagem* do objeto tem origem material, sendo então consideradas objetos para as atividades internas. Mas para que a ideia, a imagem do objeto ou o conceito sejam formados, eles tiveram uma fonte objeto-material. Há uma marca deste objeto no cérebro do sujeito, fazendo com que a ideia, a imagem e o conceito se constituam matéria, mesmo porque eles não existiriam de outra forma. Núñez (2009, p. 78) nos diz que:

o objeto da atividade é para onde é dirigida a ação. Constitui a matéria-prima necessária para que o sujeito da atividade possa obter um produto determinado. Nesse sentido, o objeto pode ser também o produto transformado pela atividade. O objeto pode ser um objeto específico natural, uma instituição social ou outra e o próprio homem.

Vimos assim, que não faz sentido uma atividade não objetivada, que não possua um objeto. A dificuldade está em definir o objeto da atividade. Para tornar mais fácil a compreensão do que é o objeto, verificamos que a palavra objeto em alemão deixada em destaque por Leontiev é *Gegenstand* que pode ser traduzida como *assunto*. Em uma investigação acadêmica, por exemplo, fica mais fácil entender o *assunto da pesquisa* do que o *objeto da pesquisa*. Mas

a palavra objeto é mais abrangente por ser mais rica de significados e sentidos. Ainda sobre a atividade não objetivada Leontiev (1978, p. 68) diz que:

A expressão ‘atividade não objetivada’ carece de todo sentido. A atividade pode parecer não objetividade, mas a investigação científica da atividade exige que se descubra o seu objeto. O objeto da atividade aparece de duas maneiras: primeiro, em sua existência independente como subordinado e transformando a atividade do sujeito; segundo, como imagem do objeto, como produto do reflexo psíquico de sua propriedade, que se efetua como resultado da atividade do sujeito e não pode efetuar-se de outro modo.

A atividade tem sua razão de ser, e ela se encontra no objeto. O objeto é o motivo real da atividade, mas é o sujeito quem pratica as atividades ligadas ao objeto. Há uma necessidade global de todos os sujeitos dentro de uma sociedade: entender o mundo dos objetos e os interiorizar, conscientizando-os.

Há a necessidade intelectual de trazer para dentro a realidade externa ao homem. O início deste processo se faz na atividade denominada pelo materialismo histórico dialético como atividade concreto-sensorial e por Leontiev (1978) de atividade prático-sensorial. O termo concreto, extraído do termo *concreto-sensorial*, é referente ao objeto em sua forma primitiva. Já o termo sensorial é referente a atividade de extração do concreto pelos receptores sensoriais do homem (paladar, olfato, tato, visão e audição), não todos de uma só vez, mas a presença de pelo menos um no processo. Podemos atribuir a todo este processo a atividade prática do sujeito, que torna o objeto concreto em uma imagem na mente do sujeito, extraída pelos receptores sensoriais. Para Leontiev (1978, p. 57):

na percepção se opera em forma constante um processo de ‘extrair’ da realidade existente as propriedades, as relações, etc., disto, sua fixação em estados transitórios ou prolongados dos sistemas receptores e a reprodução destas propriedades em atos de formação de novas imagens, em atos de reconhecimento e memorização dos objetos.

Por meio das atividades externas o sujeito capta da realidade o conteúdo do objeto por meio de seus receptores nervosos, caracterizando esta atividade como prática-sensorial. As ações externas, mediadas por operações utilizando-se de instrumentos, fazem parte da atividade prática, que por sua vez é uma atividade externa.

Na ZDI são identificadas as atividades externas e atividades internas. Apesar desses termos não aparecerem explicitamente, Vigotski usa os termos interpsicológico e intrapsicológico que são similares as referidas atividades, respectivamente. As atividades propostas por Vigotski passam primeiro pela relação sujeito-objeto na atividade prático-sensorial desenvolvida social-

mente, externa ao sujeito para um processo interno, de atividade de reflexo psíquico individual na formação de conceitos.

No ato da leitura, o(s) objeto(s) da(s) atividade(s) é o conceito a ser apropriado. A ação externa com o objeto é a leitura, que faz parte da atividade prática-sensorial. O motivo pelo qual o sujeito está lendo é o próprio objeto (conceitos). O instrumento utilizado na leitura é o livro. O que o leitor também poderia fazer são ações de discussões sobre o objeto, esta atividade em grupo é uma atividade prática externa. Até aqui identificamos a atividade externa e ela é o ponto de ignição para que ocorra a interiorização do conceito ou conteúdo a ser apropriado. Leontiev (1978) denomina a interiorização como "a transição da qual resulta que processos externos por sua forma, com objetos também externos, materiais, se transformam em processos que transcorrem no plano mental, no plano da consciência (p. 76)".

A interiorização é o ato de transição para o interno do que estava externo, é transferir o objeto para a mente em forma de imagem, é transformar o objeto em imagem subjetiva, o objetivo no subjetivo. É o início da atividade interna que passará ainda pelo processo de apropriação do objeto, quando ocorre a conscientização do objeto pelo sujeito. A consciência é com-ciência, é ter ciência do objeto, é entender o objeto a ponto de interpretá-lo (LEONTIEV, 1978). A consciência individual é subordinada a consciência social e a linguagem. Na consciência social são elaborados os significados sobre o objeto e comunicados por meio da linguagem, mas isso é construído e estabelecido nas relações sociais. A consciência é uma construção social e depois interiorizada. Para Leontiev (1978) "a consciência não é algo dado desde o começo nem é engendrada pela natureza: é engendrada pela sociedade, se produz (p. 78)."

A interiorização é caracterizada pela formação de imagens. Uma vez as imagens formadas no cérebro, torna-se possível a atividade psíquica das funções psicológicas superiores. Essa atividade é do reflexo psíquico, que faz as conexões e une os vínculos que há entre as imagens extraídas do objeto. O reflexo psíquico se mostra assim um processo ativo e necessário para o pensamento humano. As imagens e os conceitos formados na mente humana não ficam estáticos, porém em constante movimento. Para Leontiev (1978, p. 58), "nossas imagens sensoriais generalizadas, assim como os conceitos, contém movimento e, por conseguinte, contradições; elas refletem o objeto em seus vínculos e mediações diversas. Isto significa que nenhum conhecimento sensorial é uma marca (pegada) petrificada".

É comum pensarmos no reflexo como um impulso nervoso de um ato mecânico de nosso corpo, sem que haja um pensamento vinculado ao reflexo. No entanto, o reflexo aqui colocado

é uma atividade mental do sujeito que articula vínculos entre as imagens em sua psiquê, daí denominá-lo de reflexo psíquico. Leontiev (1978, p. 54) compara a atividade prática com a atividade da luz. A luz é o agente ativo que forma a imagem de um objeto na retina de uma pessoa. Os objetos só podem ser visualizados se sua imagem é formada na retina e isso só é possível se o objeto se encontrar iluminado. A luz é um componente importante, pois sem ela a imagem não é criada. Mas a realidade do objeto não se encontra estática, ela está em movimento, variando suas formas, criando novas imagens também em movimento, que serão conectadas por uma atividade cerebral fisiológica, dada por interpretações (ressignificação) dos impulsos nervosos no cérebro. Da mesma forma ocorre com a atividade prática e o reflexo psíquico. É na atividade prática que se cria a imagem (psíquica) do objeto, como o objeto está em constante movimento criam-se várias imagens. As imagens psíquicas são conectadas e vinculadas entre si pelo reflexo psíquico e esta atividade ocorre de maneira intencional, ou seja, o reflexo psíquico depende da vontade do sujeito para que ele venha a acontecer.

Quando observamos uma fruta, por exemplo, criamos imagens oriundas dos nossos receptores nervosos que são percebidos pelo paladar, tato, visão e olfato. A partir disso, socializamos as nossas impressões e nas relações sociais criamos alguns conceitos sobre a fruta que são interiorizados para que se faça a conexão das nossas percepções com as informações extraídas das relações sociais, criando assim uma linguagem acessível dentro de uma sociedade, com significados bem estabelecidos. O autor deste movimento das imagens criadas é o reflexo psíquico.

O reflexo psíquico, como qualquer atividade é "um processo no qual se concretizam as transições recíprocas entre os polos sujeito-objeto"(LEONTIEV, 1978, p. 66). A atividade é uma estrutura dinâmica, é um agente vivo, o motor da formação do pensamento e do conhecimento em geral. A atividade é, para Leontiev (1978, p. 66-67):

uma *unidade molecular*, não é uma *unidade aditiva* da vida do sujeito corporal, material. É um sentido mais estrito, isto é, a nível psicológico, é a unidade de vida mediatizada pelo reflexo psicológico, cuja função real consiste em orientar o sujeito no mundo dos objetos (objetivo). Em outras palavras, a atividade não é uma reação nem um conjunto de reações, senão um sistema que tem estrutura, suas transições internas, seu desenvolvimento.

Apesar de estar intrinsecamente relacionada com a unidade sujeito-objeto, a atividade não é realizada por um único sujeito isolado e sim por meio das relações sociais, coletivamente. Mesmo que o sujeito se encontre isolado, as relações sociais aparecem na atividade direta ou

indiretamente. Os significados dos objetos só podem ser construídos e comunicados pelas relações sociais, na sociedade. Para Leontiev (1978, p. 67):

Sejam quais forem as condições e formas em que transcorre a atividade do homem, qualquer que seja a estrutura que tome, não podemos a considerar desgarrada das relações sociais, da vida da sociedade. [...] a atividade do indivíduo humano é um sistema incluído no sistema de relações da sociedade.

Nas relações sociais é formada a cultura. A cultura é um conjunto de conhecimentos que dá significados as palavras e em geral ao comportamento dos seres humanos de uma determinada comunidade ou sociedade. O sujeito se encontra imerso na cultura e é dentro dela que a atividade acontece e socializa elementos para a construção do conhecimento individual. Ou seja, não há conhecimento individual desvinculado do conhecimento social e esse se constitui como primário.

Se pensarmos no trabalho do professor e em seu labor solitário de planejamento podemos ser levados a pensar que sua atividade não depende das relações sociais, pois o faz sozinho. Mas a sua formação intelectual, que o qualifica a fazer um planejamento, não foi construída de maneira solitária e sem os elementos culturais construídos socialmente. Antes, o conhecimento por ele apropriado foi construído nas relações sociais, levando essas relações primárias ao conhecimento assim como o objeto.

Como podemos constatar a *Atividade* é uma estrutura complexa com diversos elementos que a compõe. Se pensarmos em uma estrutura simples veremos que a atividade mediatiza a relação sujeito-objeto e forma uma estrutura circular: "*mediação inicial* → *processos executores que realizam os contatos com o meio objetivo* ¹¹ → *correção e enriquecimento com o auxílio dos vínculos inversos da imagem aferida inicialmente*" (LEONTIEV, 1978, p. 69).

Leontiev (1978) nos mostra que o fundamental não é a estrutura circular em si, mas no movimento do reflexo psíquico a partir das imagens criadas pelo contato com o mundo dos objetos e da conscientização da realidade pelo sujeito formando o produto subjetivo ¹². Segundo suas palavras, Leontiev (1978) nos diz que:

o caráter circular dos processos executores da interação do organismo com o meio atingiu o consenso geral e está muito bem descrito. Porém, o fundamental não reside na estrutura circular em si mesma, mas em que o reflexo psíquico do mundo objetivo é engendrado não diretamente pelas influências externas (entre elas também as 'inversas'), mas pelos processos mediante os quais o sujeito estabelece contatos práticos com o mundo objetivo, e que, por isso, se subordinam necessariamente as suas propriedades, vínculos e relações independentes.

¹¹ Objetivo é referente ao objeto, ou ao mundo dos objetos.

¹² Subjetivo é referente ao sujeito, o que pertence ao sujeito

Isto significa que o ‘aferidor’ que dirige os processos da atividade, é primeiro o próprio objeto e, somente em segundo termo, sua imagem como produto subjetivo da atividade, que fixa, estabiliza e acarreta seu conteúdo objetivo. Dito de outro modo, se produz uma dupla transição: *a de objeto* → *processo de atividade e a transição atividade* → *seu produto subjetivo*. Mas a transição do processo a forma de produto se opera não somente no polo do sujeito; essa transição é mais notória mesmo no polo do objeto que se transforma pela atividade humana; nesse caso a atividade regulável de um modo psíquico pelo sujeito passa a ser ‘propriedade passiva’ (ruhende Eigenschaft)[propriedade estática] de seu produto objetivo. (p. 69)

A atividade é o meio onde as ações acontecem com a finalidade subjetiva de se interiorizar a realidade objetiva. A atividade é o elo entre o objeto e o sujeito, entre a realidade objetiva e a consciência subjetiva. A atividade é produtiva, produz conhecimento empírico, a que chamamos de *atividade prática* (LEONTIEV, 1978). Na mente há o vínculo das imagens criadas e da construção de novos conceitos, gerando novo conhecimento por meio das atividades de pensamento. Como a atividade é uma estrutura complexa é necessário agora entender os seus componentes para termos maior consciência deste nosso objeto, *a Atividade*.

A estrutura da *atividade*, até aqui exposta, mostra o mecanismo funcional. Este esquema estrutural da atividade nos mostra como o objeto se transforma em imagem e desse novo objeto (imagem) temos a atividade do reflexo psíquico que torna o objeto consciente. Distinguímos as atividades externas e internas e quais as suas finalidades, distinguímos os tipos de atividade, agora precisamos estabelecer a sua estrutura interna. A atividade está vinculada a um *objeto*, que é o seu *motivo* real. Mas a atividade surge para atender a uma *necessidade*. Da atividade requer-se *ações* que possuam *finalidades*. Dentro destas ações ocorrem *operações* por meio de *instrumentos*.

A *necessidade* surge no sujeito ou nas relações sociais. A necessidade antecede a atividade, e tem o papel de orientá-la e regulá-la, sendo um elemento psicológico social e individual. Social no que tange a uma necessidade emergente das relações sociais e individual quando o sujeito toma para si a necessidade social, ou tenta satisfazer uma necessidade própria. Leontiev (1978) nos chama a atenção de que a necessidade não se trata de um fator fisiológico, como a fome e sim de uma necessidade que leve ao desenvolvimento das funções psicológicas superiores, as quais nos diferenciam dos animais. Para Leontiev (1978, p. 70):

na psicologia das necessidades há de se partir desde o começo da seguinte diferenciação básica: diferenciar a necessidade como condição interior, como uma das premissas inevitáveis da atividade, e a necessidade como aquilo que orienta e regula a atividade concreta do sujeito no meio objetivo. ‘A fome pode fazer que um animal se levante, pode conferir a suas buscas um caráter mais

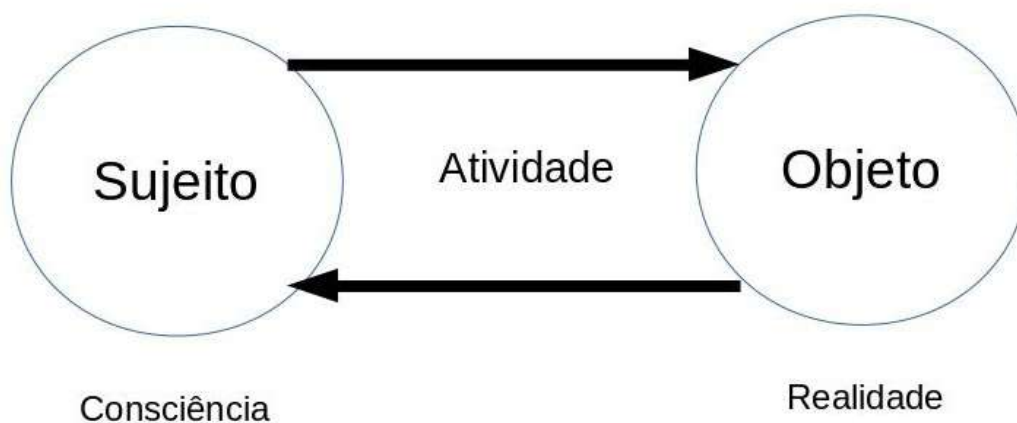
ou menos impetuoso, mas não há nele nenhum elemento que pode orientar o movimento para um ou outro lado e modifica-lo de acordo com as exigências do lugar e os encontros fortuitos', escreveu Séchenov. Em sua função orientadora é de onde a necessidade constitui o objeto do conhecimento psicológico. No primeiro caso, a necessidade não aparece mais que como estado de necessidade do organismo, que por si mesmo não pode provocar nenhuma atividade definidamente orientada; seu papel se limita a estimular as funções biológicas correspondentes e a excitação geral da esfera motriz que se manifesta nos movimentos de busca não orientados. Somente como resultado de seus 'encontros' com o objeto que lhe responde, a necessidade pode pela primeira vez orientar e regular a atividade.

Para exemplificar o surgimento da necessidade, sua orientação para a atividade e sua satisfação, olhemos para a situação da Europa no séc. XVII em uma mina de carvão mineral, típica do período. Os trabalhadores tinham a finalidade de extrair carvão, mas ao chegar na mina se deparavam com ela inundada de água. Antes de extrair o carvão havia a necessidade de se retirar a água. Pensando mais profundamente nos impactos salariais de se contratar uma mão-de-obra para retirar a água da mina e depois extrair o carvão, houve a necessidade de se construir uma máquina (a vapor) que retirasse a água. *Vimos então a necessidade orientando e regulando a atividade de criação do homem.* Depois da criação da máquina a vapor houve a necessidade de se estudar como ela funciona e como poderia ser aperfeiçoada. *O suprimento de uma necessidade nos leva a uma nova necessidade e então o surgimento de uma nova necessidade.* É perceptível que antes de qualquer atividade existe uma necessidade que orienta o pensamento do homem e regula as suas ações, sem deixar de lado a relação sujeito-objeto característico da atividade. (HOGBEN, 1952)

O sujeito pode entrar em contato com o objeto e simplesmente o ignorar, ou seja, o objeto não terá relevância para uma possível investigação. Porém se no sujeito surgir a necessidade de captar da realidade o conteúdo do objeto, há então o extraordinário encontro da necessidade com o objeto. E neste ato há a objetivação da necessidade. A necessidade irá orientar a atividade objetivada, pois a necessidade é um agente psíquico responsável por manter o sujeito 'focado' na atividade e na captação da realidade objetiva. Uma vez que esta necessidade é satisfeita, como vimos no exemplo acima, há a possibilidade do surgimento de uma nova necessidade, e assim também surgirá uma nova atividade, podendo tornar-se um ciclo aberto de atividades. A atividade é realizada pelo sujeito, tanto na prática captando a realidade do objeto, quanto no pensamento para a conscientização do sujeito, ilustrado na figura 2.3.

Figura 2.3 – Relação Dialética entre Sujeito e Objeto

Relação Dialética Entre Sujeito e Objeto



Fonte: O Autor.

Para Libâneo (2004) a "atividade surge para suprir uma necessidade, que impulsiona um motivo orientado a um objeto¹³". O ciclo vai de necessidades a objetos e se consuma quando a necessidade é satisfeita. Já Asbahr (2006, p. 110) complementa observando que "necessidade, objeto e motivo são componentes estruturais da atividade". Além desses, a atividade não pode existir senão pelas ações, constituindo-se pelo conjunto de ações subordinadas a objetivos parciais (objetivos específicos) advindos do objetivo geral. Assim como a atividade relaciona-se com o motivo as ações relacionam-se com os objetivos.

Toda atividade requer um produto, podendo alcançá-lo ou não, como um alvo. O ser humano entra em atividade para o seu desenvolvimento, no processo de transformação do objeto. Mesmo que o objeto não se modifique em nada fisicamente, ele será transformado na mente do sujeito que o conscientiza, o produto a ser alcançado na atividade. Para atingir este alvo (produto) é necessário um processo, a *ação* ou um conjunto de ações. A *ação* é o principal componente da maioria das atividades humanas. A ação é um processo orientado e subordinado a um fim desejado, consciente. Não há atividade sem motivo, assim como não há ação sem uma finalidade¹⁴.

¹³ Divergimos neste ponto com Libâneo (2004), pois de acordo com Leontiev (1978) o objeto é o motivo da atividade, se há a identificação do motivo com o objeto não tem como o motivo ser orientado a um objeto.

¹⁴ A finalidade aqui é usada em planejamentos escolares ou até mesmo para projetos com o mesmo conceito de objetivos.

No trabalho há uma orientação para o resultado, há um alvo ser alcançado, um produto. Para o resultado a ser alcançado é necessário um conjunto de ações que conduza a obtenção deste produto. A mais simples divisão de trabalho leva a delimitar resultados intermediários, parciais, que não podem satisfazer as necessidades coletivas da atividade laboral, mas caminha na direção de satisfazê-las. Estes resultados intermediários são as finalidades das ações (LEONTIEV, 1978, p. 83).

Em atividades planejadas, há uma desintegração das funções que estão fundidas no motivo. É o motivo que impulsiona a atividade e esta função se conserva nele. As ações também são impulsionadas pelo motivo, mas estão orientadas para um fim. A atividade se realiza mediante um conjunto de ações subordinadas a fins parciais, que podem estar ligados a um fim geral. O papel do fim geral é cumprir um motivo consciente ou planejado, e graças a esta "conscientização é convertido em motivo-fim" (LEONTIEV, 1978, p. 84).

Há uma outra perspectiva para a ação. Ela pode se transformar em atividade desde que adquira um motivo próprio. A atividade também pode tornar-se uma ação, quando perde o seu motivo próprio. A atividade é regida pelo seu motivo, assim como as ações são regidas por finalidades. Núñez (2009, p. 73) define com clareza as ações de uma atividade:

as ações são os componentes principais pelos quais se realiza a atividade, em cujo processo elas se subordinam à representação do resultado da atividade, ou seja, no processo subordinado a um objetivo consciente. Dessa forma, o objetivo¹⁵ aparece intimamente relacionado à ação, que, por sua vez, não se separa da atividade. Como explica Leontiev (1989), a atividade humana não pode existir de uma outra forma que não seja a de ações ou grupo de ações, por exemplo, a atividade de aprendizagem se manifesta nas ações de aprender.

Aprendizagem é apresentada por Núñez (2009) como um produto que contém um conteúdo, e esse é o objeto central da atividade. O produto materializa o resultado e dá maior sentido às ações e às suas finalidades. Os fins ou finalidades se dão em determinadas condições objetivas (mundo dos objetos) e não pela arbitrariedade do sujeito, ou seja, o sujeito está submetido as condições materiais objetivas para executar as operações. Nas condições materiais se encontram os *instrumentos* para a execução das operações. As *operações* são delimitadas pelos instrumentos e desprovidas de finalidade, porém são subjacentes à ação.

A ação é executada por um sistema de operações, determinado pelas condições presentes para tal. As operações constituem "os procedimentos, métodos, técnicas, estratégias para

¹⁵ O objetivo se apresenta aqui com a conotação de finalidade. É interessante notarmos que a palavra objetivo mantém o radical da palavra objeto. Em nossa interpretação o objetivo é uma finalidade conectada a ações ligada a partes do objeto sem perdê-lo de vista. Ou seja, olhamos para a parte sem perder o todo (objeto) de vista.

realizar a ação e para a transformação do objeto em produto"(NÚÑEZ, 2009, p. 84). As condições para se realizar uma operação podem mudar, sem o prejuízo de se modificar o objetivo da ação. Por exemplo, ao estudar o tema calor há a possibilidade de fazê-lo por meio da leitura, ou por um experimento, ou em discussões em grupo. As operações vão depender das condições do momento e dos instrumentos a disposição. Os instrumentos são mediadores entre o sujeito da atividade e o objeto. Núñez (2009, p. 85) diz que:

os meios, como elementos da atividade, encontram-se e são mediadores entre o objeto e o sujeito da atividade. Existem meios materiais (objetos e instrumentos) e meios de natureza informativa ou simbólica. Os instrumentos (ferramentas) externos que os estudantes utilizam para desenvolver suas atividades de aprendizagem pertencem ao grupo de tecnologias, no sentido amplo dessa última categoria. Os recursos linguísticos, os objetos materiais ou suas representações são recursos necessários para o sucesso da atividade. Por isso, há a necessidade de compreender que função e quais são as potencialidades e limitações de cada tecnologia e recursos no planejamento e execução da atividade.

Em um planejamento escolar, a atividade do professor é ensinar. O conteúdo é o seu objeto e o motivo da atividade. A intencionalidade do professor é a aprendizagem do estudante. Para que a aprendizagem ocorra é primário que o estudante tenha a necessidade de apropriação do conteúdo que dê origem a atividade de estudos.

As ações do professor devem ser orientadas pela necessidade de ensinar, gerando as finalidades que encaminham a satisfação das necessidades. O motivo-fim torna-se o aprendizado pelos estudantes do conteúdo a ser ensinado. As ações tanto do professor e principalmente dos estudantes é alcançar este motivo-fim. As finalidades no planejamento são chamadas de objetivos. Os objetivos são as finalidades que orientam as ações, mas sem perder de vista o objeto e o produto que se almeja. O objeto aqui é o conteúdo e o produto da aprendizagem. O conteúdo nunca será o mesmo depois da atividade, ele será enriquecido e transformado dentro da consciência do estudante.

Davidov (1986) acrescenta o desejo como um outro elemento a lista de Leontiev para que uma pessoa possa entrar em atividade. O autor discorda que as ações são conectadas somente a necessidades e motivos. As ações, como formações integrais, podem ser conectadas somente com necessidades baseadas em desejos "e as ações ajudam na realização de certas tarefas a partir dos motivos"(DAVIDOV, 1986 apud LIBÂNEO, 2004).

Libâneo (2004) aponta a importância da ascensão do pensamento empírico para o pensamento teórico e isso deve ser promovido pela escola, pelos professores para a formação dos estudantes. O autor destaca a mudança que deve haver sobre a forma tradicional de um ensino

limitado apenas a reprodução de procedimentos ou na transmissão de estratégias que privilegie a memorização. Para sanar a deficiência do processo ensino-aprendizagem tradicional é sugerido, para a formação do estudante, o desenvolvimento do pensamento teórico. Segundo Libâneo (2004, p. 16),

as pesquisas de Davydov tiveram origem na análise crítica da organização do ensino assentada na concepção tradicional de aprendizagem, que leva à formação do pensamento empírico, descritivo e classificatório. Segundo ele [Davydov], conhecimento que se adquire por métodos transmissivos e de memorização não se converte em ferramenta para lidar com a diversidade de fenômenos e situações que ocorrem na vida prática. Um ensino mais vivo e eficaz para a formação da personalidade deve basear-se no desenvolvimento do pensamento teórico. Trata-se de um processo pelo qual se revela a essência e o desenvolvimento dos objetos de conhecimento e, com isso, a aquisição de métodos e estratégias cognitivas gerais de cada ciência, em função de analisar e resolver problemas e situações concretas da vida prática. O pensamento teórico se forma pelo domínio dos procedimentos lógicos do pensamento, que, pelo seu caráter generalizador, permite sua aplicação em vários âmbitos da aprendizagem.

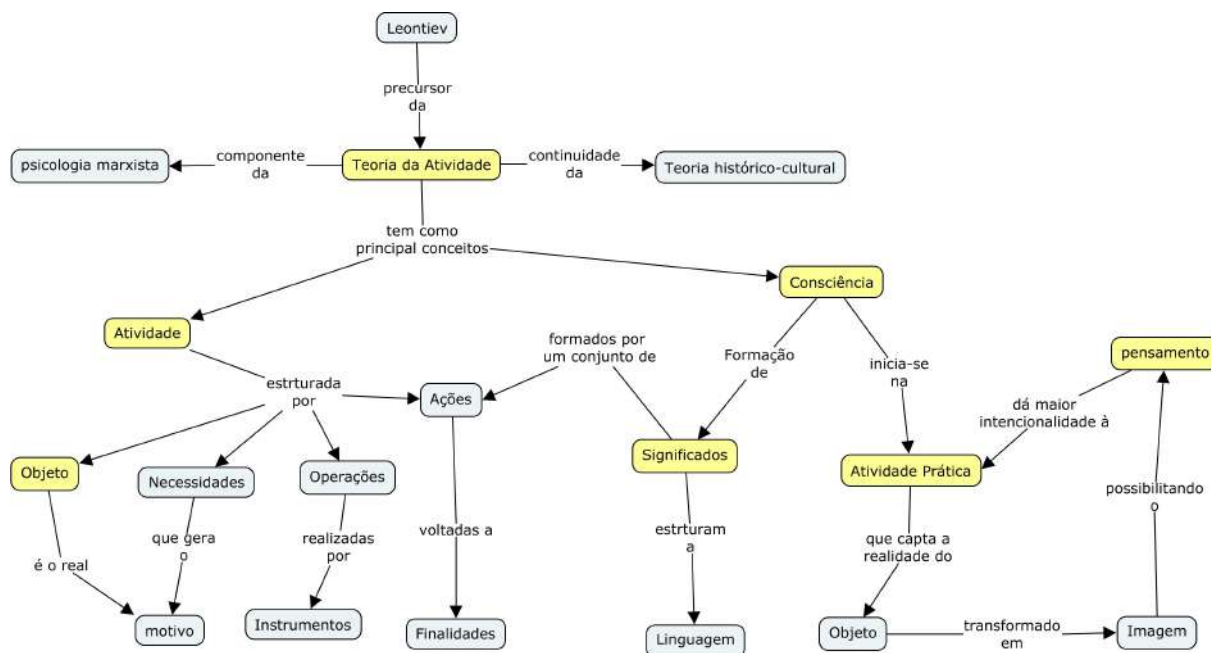
Leontiev, com a Teoria da Atividade nos mostra de forma estrutural como na atividade o objeto se torna consciente, mas a atividade tem características funcionais e psicológicas gerais, servindo como modelo de processo em qualquer atividade humana. Para o Ensino, Davidov é mais específico com o seu *Ensino Desenvolvimental*, nele veremos as atividades e ações em prol do processo Ensino-aprendizagem, mostrando o caminho a ser trilhado para um ensino intencional e uma aprendizagem consciente e integral.

É importante termos consciência da estrutura da atividade, principalmente quando as atividades se referem ao trabalho que executamos. Para o professor essa importância se dá notoriamente no planejamento e no desenvolvimento das aulas, ou de uma sequência de aulas. O objeto é identificado, as ações são idealizadas tendo como base as finalidades a serem alcançadas com as condições materiais para que possam ser realizadas as operações externas e internas dos estudantes, a partir do conhecimento do professor do objeto a ser explorado pelo estudante. Torna-se também essencial o entendimento da categoria consciência e sua relação com a atividade.

2.4 A Formação da Consciência

Para a psicologia soviética, as categorias consciência e atividade formam uma unidade dialética, visto que a consciência é um novo tipo de reflexo psíquico da realidade, é a forma especificamente humana do reflexo da realidade objetiva, pois abre ao homem um quadro do

Figura 2.4 – Mapa conceitual da Teoria da Atividade.



Fonte: O Autor.

mundo em que ele mesmo está inserido. A consciência refere-se, assim, à possibilidade humana de compreender o mundo social e o mundo dos objetos como passíveis de análise (ASBAHR, 2006, p. 111).

O reflexo psíquico mediatiza as atividades do sujeito, externas e internas. O processo começa pela percepção dos órgãos receptores gerando impulsos elétricos conduzidos no cérebro, onde o sinal é decodificado, retido e a informação compreendida. Além disso, o homem necessita das relações sociais para criar e validar as percepções e análises da realidade, transformando a informação das imagens criadas em linguagem, possibilitando a comunicação de significados e com isso construindo consciência coletiva e individual.

Há duas atividades em particular que diferenciam a função da consciência no sujeito: a atividade criativa e a atividade reprodutiva. Na atividade reprodutiva já se possui, de antemão, uma imagem ou um modelo mental de um objeto e o produto é a sua reprodução. Nesta reprodução há uma comparação do que é feito com o que é reproduzido, portanto uma atividade consciente. Se o homem quer construir uma casa, o fará de acordo com o que tiver planejado e irá reproduzi-la conforme o modelo de casa em sua mente. No nosso exemplo, a atividade de se fazer uma casa pode ganhar características criativas.

Na atividade criativa não há o produto na realidade, para isso é necessário partir de imagens subjetivas para que essas regulem as ações. Destas imagens vão sendo criadas novas

imagens, novos parâmetros, e isso ocorre por comparação com o já existente, fazendo emergir o produto, que em suas fases intermediárias foi mediado por algo já consciente e ao mesmo tempo criando uma nova consciência, com novas imagens e com um novo parâmetro.

A atividade de estudos é por natureza criativa. Deseja-se que o estudante seja ativo e consciente no processo de estudos para se ter uma aprendizagem plena. O estudante, inicialmente, não tem consciência do produto que se possa alcançar, mas ele não é uma *tábua rasa* ou um papel em branco que não possua conteúdo (imagem cognitiva) para que, a partir disso, tenha ações de estudos para o seu desenvolvimento em prol da aprendizagem almejada.

A consciência inicialmente é formada por meio da atividade prática, no conteúdo do objeto presente em sua imagem cognitiva no sujeito. Ainda há um problema nesta primeira abordagem, pois é na atividade que se cria a imagem cognitiva, mas é necessário um conteúdo prévio para a sua decodificação, que foi construído inicialmente. Forma-se então um ciclo e a sua formação e início é explicado por Leontiev (1978, p. 101) como "as transações sujeito → atividade → objeto formam uma força de movimento circular, por isso [nesse ciclo] pode parecer indiferente qual de suas ligações ou momentos se tomam como inicial. Este ciclo se abre [...] na atividade prática sensorial".

A cada ciclo que se completa nesta representação cíclica de Leontiev (1978), o sujeito se torna mais *rico* e esta riqueza se cristaliza no produto. A consciência em que se inicia o processo dá base para a atividade, mas a própria atividade a enriquece tornando a consciência também mais rica.

A consciência individual é antecedida pela consciência social, coletiva, construída e constituída nas relações sociais, na atividade laboral. Na consciência social há a necessidade de uma estrutura comum, que servirá para o entendimento coletivo e a comunicação cognoscível entre os sujeitos. Isso só é possível se esta estrutura for a própria linguagem, com significados compartilhados, construídos e constituídos coletivamente.

A consciência sobre um objeto específico passa por etapas, o que pode ser generalizado para a consciência dos demais objetos. A consciência primária existe em forma de imagem psíquica. Depois ela é transformada em objeto comparativo, ou ideal; nesta próxima etapa a atividade continua de mesma natureza, exterior e interior, porém a atividade passa a ser regulada e orientada pela consciência (ideal), e ao mesmo tempo a consciência se torna mais rica pela atividade, dando maior solidez e materialidade a este ideal. Leontiev (1978, p. 104) complementa dizendo que:

se toma consciência do ato de outros homens e através deles também dos atos do próprio sujeito. Agora estes são comunicados, denotados por meio de gestos e da linguagem articulada. É isto o que constitui a premissa para que surja as ações e operações internas que transcorrem na mente, e o plano da consciência.

Os *significados* são representantes mentais de um conjunto de signos, os mesmos que constituem a linguagem. A linguagem é a portadora dos significados, mas a centralidade dos significados está em sua representação mental. Podemos também dizer que um signo pode carregar vários significados. Um polegar apontado para cima comumente significa uma aprovação, mas pode ganhar um outro sentido e significar insatisfação se o signo é utilizado de maneira irônica. Nos significados está representado mental e idealmente o mundo real objetivo, com seus vínculos e relações, descobertos pela prática social conjunta (LEONTIEV, 1978, p. 111).

Para um profissional metalúrgico que trabalha em uma empresa automobilística, o automóvel significa para ele a transformação de uma ação prática planejada em um produto compatível com o planejamento. As ações desse planejamento e execução são formuladas (ou deveriam ser) coletivamente, e nesta coletividade o significado do automóvel é socializado no ambiente de trabalho. Podemos afirmar que há um significado coletivo nesse caso.

Leontiev (1978) diz que "os significados refratam o mundo na consciência do homem". Se utilizarmos a *figura de linguagem* aqui empregada, os significados têm a função de um prisma que ao se incidir luz branca dispersa essa luz em várias cores, mostrando que as ações práticas (luz) podem ganhar vários sentidos na mente do homem. O sentido que o homem vai dar a ação prática depende de sua riqueza cultural e da construção social desta cultura, é uma ação consciente e da consciência.

Voltando ao exemplo do automóvel, ele tem um significado diferente para a sociedade que irá adquiri-lo como mercadoria: terá o significado de uma ferramenta de trabalho ou um objeto de locomoção para comodidade e entretenimento. Portanto, ganha outros significados que vai depender da individualidade. O significado individual, que pode ser construído socialmente (coletivamente), terá um sentido único para este indivíduo, o que Leontiev (1978, p. 114) chama de "*sentido pessoal*".

Deve haver uma relação entre significado, sentido pessoal e conceito no processo de apropriação de conceitos pelo sujeito. No processo Educacional o objeto para apropriação dos estudantes são os conteúdos educacionais, divididos em disciplinas. Para Zabala (1998, p. 31) há três características de conteúdo: atitudinais, procedimentais e conceituais. Os conteúdos atitudinais e procedimentais estão voltados para aspectos comportamentais da educação. Os

atitudinais são valores desenvolvidos na cultura pela sociedade. Os procedimentais abordam procedimentos técnicos, desenvolvidos especificamente em ambientes de trabalho. Os conceituais são voltados para a instrução dos estudantes e é construído historicamente pela sociedade, porém de caráter externo à consciência. O conteúdo conceitual é pertencente ao objeto e sua realidade, mas quando apreendido pelo sujeito age na consciência, pois o pensamento estruturado opera por conceitos.

A importância da operação por conceitos é permitir ao sujeito a formação de novos significados individuais (sentido pessoal), porém comunicáveis para a sociedade, que se apropria destes significados, muito em função de compartilhar os mesmos conceitos. Leontiev fez investigações da relação entre significados e conceitos. Nelas, destaca que:

foi demonstrado que os conceitos não se formam em absoluto na cabeça da criança segundo o tipo de formação das imagens sensoriais genéricas, senão que constituem um resultado do processo de apropriação de significados ‘preparados’, historicamente elaborados, e que este processo transcorre na atividade da criança, por meio de sua comunicação com aqueles que o rodeiam. Ao aprender a cumprir umas ou outras operações, chega a dominar as correspondentes operações, que em sua forma comprimida, idealizada, estão representadas justamente no significado. Nos primeiros estágios, a criança vai apropriando significados concretos, referidos em forma objetiva e direta [*objetos como uma esfera que se consegue arremessar e atribuir o nome de bola*]; mais adiante vai dominando também as correspondentes operações lógicas, mas da mesma maneira em sua forma externa, exteriorizada, posto que de outra maneira não podem ser comunicadas de nenhum modo. Ao interiorizar-se, formam os significados abstratos, os conceitos, tanto é que seu movimento constitui a atividade mental interna, a atividade ‘no plano da consciência.’ (LEONTIEV, 1978, p. 112) [*destaque em itálico nosso*]

Os significados existem na mente do sujeito, como um grupo de ações e é reduzido na linguagem, como já visto. Os conceitos existem negociados coletivamente, porém não é de característica subjetiva, pois é uma atribuição dos objetos e do mundo objetivo. Calor é energia térmica em trânsito entre objetos de temperaturas diferentes, independentemente dessa informação ser apropriada pelo sujeito. No processo educacional é necessário tornar o conceito compreensível ao sujeito para a apropriação, e a compreensão e o entendimento do conceito perpassam pelo sentido pessoal. Em nossa perspectiva educacional, a ideia é reproduzir de maneira lógica a construção do conceito para que ele seja significativo para o sujeito, ou seja, o conceito deve adquirir um sentido pessoal a partir do social.

A consciência é formada pelos significados gerados pela relação objetiva do sujeito com o mundo e pelo sentido pessoal, ou significado individual. O sentido pessoal age com parcialidade e subjetividade na consciência humana; agindo com seletividade da atenção, no tom

emocional e na dependência dos processos cognoscitivos a respeito das necessidades e inclinações.

A estrutura geral da atividade não é modificada pelo homem. As etapas de desenvolvimento da atividade se dão por ações conscientes em que há uma transição das metas a produtos objetivos e se subordinam aos motivos que a estimulam. O que se modifica é a relação entre as metas e os motivos da atividade. Essas modificações ocorrem na atividade da consciência. Leontiev (1978) fala que estas relações:

são decisivas no plano psicológico. O que ocorre é que para o próprio sujeito a apreensão e a realização de objetivos concretos, o domínio dos meios e operações da ação é um modo de afirmar sua vida, de satisfazer e desenvolver suas necessidades materiais e espirituais, objetivadas e transformadas nos motivos de sua atividade. É indiferente que o sujeito tome ou não consciência dos motivos, que eles denotem sua presença em forma de algo do interesse, do desejo ou da paixão; sua função, tomada desde o ângulo da consciência, reside em que aparente 'valorar' o significado vital que tem para o sujeito as circunstâncias objetivas e suas ações nessas circunstâncias, lhes conferem um sentido pessoal que não coincide diretamente com seu significado objetivo compreensível (p. 118).

Na sociedade de consumo, um trabalhador assalariado tem consciência do produto por ele produzido. O trabalhador dá um significado objetivo para este produto para que possa cumprir racionalmente seu labor. Mas o sentido de seu trabalho não se encontra no próprio trabalho, mas no salário pelo qual trabalha (LEONTIEV, 1978, p. 118).

Na sala de aula isso se repete, quando o estudante se compromete apenas a tirar nota e dá pouca relevância para o conhecimento adquirido no processo. A nota e o salário adquirem um sentido pessoal, pois a finalidade é satisfazer sua necessidade fisiológica e emocional. Com o salário pode-se comprar comida, uma bebida, viajar. Com a nota, pelo menos na média, o estudante é promovido para a próxima etapa. O significado objetivo do estudo encontra-se no conteúdo estudado, porém o motivo-fim do estudante muitas vezes é a nota de aprovação para alcançar a promoção, satisfazendo assim sua necessidade.

Mesmo que nas etapas primitivas da consciência os significados apareçam junto com os sentidos pessoais, em outras etapas o significado objetivo e o sentido pessoal não coincidem na consciência, possuindo funções distintas. O sentido pessoal é um sistema que compõe a consciência individual. Ele cria o plano oculto da consciência; não se forma diretamente nas atividades e se expressa nas forças motrizes internas incluídas desde o começo na própria natureza do homem (LEONTIEV, 1978, p. 120). O sentido pessoal está intrinsecamente ligado ao campo das emoções humanas.

Na consciência e, mais especificamente, nos sentidos pessoais se encontra parte da atividade, ou seja, os motivos, as necessidades e as emoções. É preciso entender a relação entre os motivos e as necessidades. A necessidade é mediatizada pelo reflexo psicológico e por aditivo de duas maneiras, segundo Leontiev (1978, p. 114):

Por um lado, os objetos que respondem às necessidades do sujeito se apresentam com seus traços sinalizadores objetivos. Por outro lado, também os próprios estados da necessidade são sinalizadores e refletidos sensorialmente pelo sujeito, nos casos mais simples como resultado da ação de estímulos de receptores internos. Ao mesmo tempo, a mudança mais importante que caracteriza a transição ao nível psicológico consiste no surgimento de vínculos *dinâmicos* entre as necessidades e os objetos que respondem a elas.

A necessidade, inicialmente, é requisito da atividade. O sujeito nasce dotado de necessidade, pois sempre tem necessidade de algo, de adotar significados para o objeto. No primeiro instante a necessidade não vislumbra um objeto, e quando há o encontro de ambos, a necessidade se transforma em força impulsionadora, atuando diretamente na atividade. O objeto passa a ser o motivo da atividade, de maneira consciente, ganhando seu caráter estimulador e orientador. Observamos então que há uma correlação entre as necessidades e os motivos.

Um animal faminto possui a necessidade de comer algo, quando ele encontra o alimento, encontrou também o objeto que satisfará a sua necessidade de comer o alimento. O objeto se torna agora o motivo da atividade do processo de adquirir e comer, o movimento do animal será orientado pelo alimento, muito em função da sua fome (necessidade). Os homens por possuírem um estômago e um sistema biológico com semelhanças a de um animal também possuem necessidades fisiológicas semelhantes, e neste caso entra em atividade de maneira similar, porém o ser humano possui a necessidade do preparo do alimento. Por isso diz-se que o ser humano possui necessidades superiores às do animal.

Ao tratar da necessidade biológica, que há nos animais e no homem, a evolução etária de ambos faz com que o objeto para a sua sobrevivência mude, mudando também a sua necessidade. O leite já não sustenta o filhote ou o bebê, ambos necessitam de alimento sólido. A mudança que há no objeto de consumo faz com que a necessidade também mude, não de natureza, que é biológica. O fim da atividade é satisfazer a necessidade que lhe deu origem, e consigo trará também uma nova necessidade a ser suprida, tendo uma relação cíclica de atividade → necessidade → atividade, ou necessidade → atividade → necessidade¹⁶.

¹⁶ Essa relação tem embasamento em Leontiev (1978, p. 115)

O consumo gera novas necessidades pois o consumo visa o conforto e comodidade, isso gera conseqüências nas emoções do sujeito. Nesse campo as necessidades são provocadas pelas vivências emocionais e por isso o homem se propõe às finalidades e cria novos objetos (LEONTIEV, 1978, p. 151).

Notamos até agora que há duas naturezas de necessidades: as sociais, que são propriamente humanas; e as biológicas que são compartilhadas por homens e animais. Os animais não possuem uma comunicação tão elaborada quanto o homem, não tem necessidade de se ter um bom preparo dos alimentos ou de pensar em fazê-lo. O homem tem suas necessidades de comunicação e precisa desenvolvê-la dentro de uma cultura de maneira social e em toda a sua complexidade. Mostra-se aqui a superioridade das necessidades sociais dos seres humanos. Leontiev (1978, p. 152) nos fala da natureza das necessidades superiores e suas metamorfoses:

junto com a modificação e enriquecimento do conteúdo objetivo das necessidades do homem se produz na modificação das formas de reflexo psíquico, como conseqüência do qual podem adquirir um caráter ideal e em virtude do qual se convertem em invariantes desde o ponto de vista psicológico; [...] o desenvolvimento da produção espiritual cria necessidades tais que só podem existir na presença do 'plano da consciência'. [...] se forma um tipo especial de necessidades: as objetivo-funcionais como, por exemplo, a necessidade de trabalho, da criação artística e outras. Apesar de que a satisfação das necessidades vitais segue sendo para ele a 'primeira questão' e a condição inevitável de sua vida, as necessidades superiores, especificamente humanas não criam em absoluto somente formações superficiais que se depositam sobre elas. Por isso sucede que se em um prato da balança se põe as necessidades vitais mais fundamentais do homem e no outro suas necessidades superiores, são estas últimas as que podem pesar mais.

O desenvolvimento das necessidades humanas começa a partir da atuação do homem em satisfazer suas necessidades vitais, mas mais adiante esta relação se inverte e o homem satisfaz as suas necessidades vitais para estar em atividade, ou seja, as necessidades vitais estão em um plano inferior às necessidades superiores. Este é o caminho essencial do desenvolvimento das necessidades do homem (LEONTIEV, 1978, p. 152).

Ao observarmos o desenvolvimento das necessidades, observamos também o papel do motivo na atividade. O motivo é tratado no nível psicológico como um estado emocional que faz o sujeito se movimentar para a ação. Nestas emoções estão colocados o querer, o desejar, etc. Para Leontiev eles não são motivos "pois não são capazes de gerar por si só uma atividade orientada e conseqüentemente a questão psicológica fundamental reside em compreender em que consiste o objeto desse querer, desse desejo ou paixão"(LEONTIEV, 1978, p. 153).

As emoções não subordinam a atividade, mas são o seu resultado e o mecanismo de seu desenvolvimento, atuando nas necessidades e nos motivos. O sujeito fica satisfeito (feliz) em alcançar o resultado esperado, a sua expectativa é um dos motores que leva o sujeito as ações e operações da atividade. As emoções são momentos relevantes da atividade e não ações e operações realizadoras das mesmas. A diversidade e a complexidade dos estados emocionais são resultantes da divisão da sensorialidade primária, na qual os aspectos cognoscitivos e afetivos se encontram juntos, fundidos.

2.5 Ensino Desenvolvimental

O Ensino Desenvolvimental é uma teoria psicológica que prioriza a atividade de ensino do professor gerando atividades de estudos para o estudante, que tem por finalidade o desenvolvimento do pensamento teórico dos estudantes. A atividade de ensino do professor deve ser intencional, ou seja, o professor deve ter consciência objetiva de todas as suas ações com a finalidade de proporcionar um aprendizado consciente e concreto para o estudante. Além disso, o professor deve criar ferramentas que possibilite ao estudante alcançar o objetivo do aprendizado, que é a apropriação dos conceitos científicos.

Nessa perspectiva surgem duas atividades no âmbito escolar: a Atividade de Ensino e a Atividade de Estudos, segundo Skatkin e Danilov (1978 apud DAVIDOV, 1988, p. 172). Por se tratarem de atividades humanas, de natureza objetual, são voltadas para um objeto. O objeto de ensino e o objeto de estudos é o mesmo, o conteúdo escolar. Apesar da identidade, o conteúdo é trabalhado de maneira diferente pelo professor e pelo estudante. Ora, se é trabalhado requer um desenvolvimento que passa por algumas etapas, que serão explicadas tendo como base o materialismo histórico dialético.

2.5.1 O Pensamento segundo os fundamentos do Materialismo Histórico Dialético

No *materialismo histórico dialético* a atividade humana é central para o desenvolvimento do homem, muitas vezes identificada com o trabalho (práxis). Temos então o pensamento como um dos componentes dessa práxis. Mas, como se processa o pensamento dentro das funções psíquicas superiores? Como ocorre o seu desenvolvimento? Precisamos identificar o seu ponto de partida e então ver como isso ocorre. O corpo humano possui sensores e as informações externas são por eles captadas e levadas a mente. A esse processo chamaremos de observação sensorial.

A observação sensorial do objeto por meio dos cinco sentidos, também chamada por Davidov (1988) de *contemplação viva*, formam a imagem deste objeto na mente. Nessa observação sensorial se dá a origem do pensamento. Ou seja, o pensamento parte da imagem criada da observação sensorial, que por Kopnin (1978) é chamado de sensório-material ou sensório-concreto. Para Kopnin (1978, p. 150-151):

o pensamento surge e se desenvolve em base sensório-material. É racional, mas leva em seu bojo um momento contrário, sensorial. A unidade do racional com o não-racional no pensamento atua antes de tudo como inter-relação entre racional e sensorial. O sensorial é não-racional no sentido em que seus resultados não são produzidos pelo pensamento na forma necessária ao homem, mas nos são dados como algo independente dele. [...] o sensorial antecede temporalmente, não só ao racional, mas a todo conhecimento humano.

Para Davidov (1986), além da atividade prática no contato direto do objeto com os sensores do homem, há uma série de atividades na formação do pensamento. Na atividade prática laboral da humanidade, os órgãos dos sentidos se desenvolveram nos homens distinguindo-os dos animais. Tomemos como exemplo a águia¹⁷, que consegue com seu olho ver mais longe que o olho humano, porém as percepções do homem, desenvolvidas em atividades laborais, fazem com que haja uma distinção maior entre os objetos por meio de sua visão, o que não ocorre com os animais. "Nos órgãos dos sentidos se desenvolveram formas de atividade que se asseguravam o planejamento e a regulação de complexos procedimentos e manipulações do homem com os objetos e meios de trabalho"(DAVIDOV, 1986, p. 288).

Nessa perspectiva, as imagens dos objetos criadas na mente humana pela atividade prática são aprimoradas nas relações sociais, na comunicação por meio da linguagem e consequentemente no compartilhamento de significados. Nas etapas iniciais de aprimoramento, os objetos passam a ser agrupados em *classes* (típico do pensamento empírico), determinadas pelos tipos de atividades orientadas a satisfazer as necessidades sociais. "A imagem sensorial dos objetos dessas necessidades serve como se estivéssemos falando de um 'padrão visual' para catalogar os objetos nas classes correspondentes"(DAVIDOV, 1986, p. 289).

No processo de classificação, cada classe de objetos ganha uma representação, denominado como um processo de *generalização empírica* dos objetos. Por outro lado, essa separação em classes faz com que a atividade dos órgãos dos sentidos tenham uma relação direta com a atividade perceptiva do homem, fazendo com que as informações obtidas pelos órgãos dos sentidos sejam automaticamente interpretadas. Segundo Davidov (1986, p. 291):

¹⁷ Exemplo usado por Engels em *Obras Escolhidas* do próprio autor e de Marx.

a atividade perceptiva - sendo componente estrutural das operações objetivas-práticas do homem - pode, reproduzir em formas inerentes à mesma dos métodos de desagregação e avaliação dos objetos, de suas propriedades e relações, que são matérias de determinadas operações. Graças a isso, ela pode cumprir a função planejadora e reguladora do processo global do trabalho.

Segundo Davidov (1988) as representações originam-se na atividade prática do homem e posteriormente elas são utilizadas na comunicação verbal. O homem, baseado em sua experiência e em suas representações, planeja em sua mente a atividade antes da sua execução em ações e operações. Segundo Davidov (1988, p. 131):

As representações, surgidas graças à imaginação na atividade objetiva-sensorial das pessoas e em sua comunicação, começaram a servir cada vez mais como meio para planejar as ações futuras e isto pressupõe a comparação de suas diversas variantes e a escolha da melhor. Graças a isto, as representações se tornaram objeto da atividade do homem sem uma referência direta às coisas mesmas. Surgiu uma atividade que permite transformar as imagens ideais, os projetos das coisas sem modificar até um certo momento as coisas mesmas.

A *generalização empírica* geradora das *representações*, e a *planejamento das ações* são elementos pertencentes ao *pensamento*. A transformação dos projetos das coisas não modificam fisicamente as coisas, mas sim a sua ideia é enriquecida na consciência pela atividade subjetiva do homem denominada de *pensamento*. Pensar significa:

inventar, construir 'na mente' o projeto idealizado (correspondente à finalidade da atividade, a sua ideia) do objeto real que deve ser o resultado do processo laboral pressuposto... Pensar significa transformar, em correspondência com o projeto ideal e o esquema idealizado da atividade, a imagem inicial do objeto de trabalho em um outro objeto idealizado (ARSÉNIEV, 1967 apud DAVIDOV, 1988).

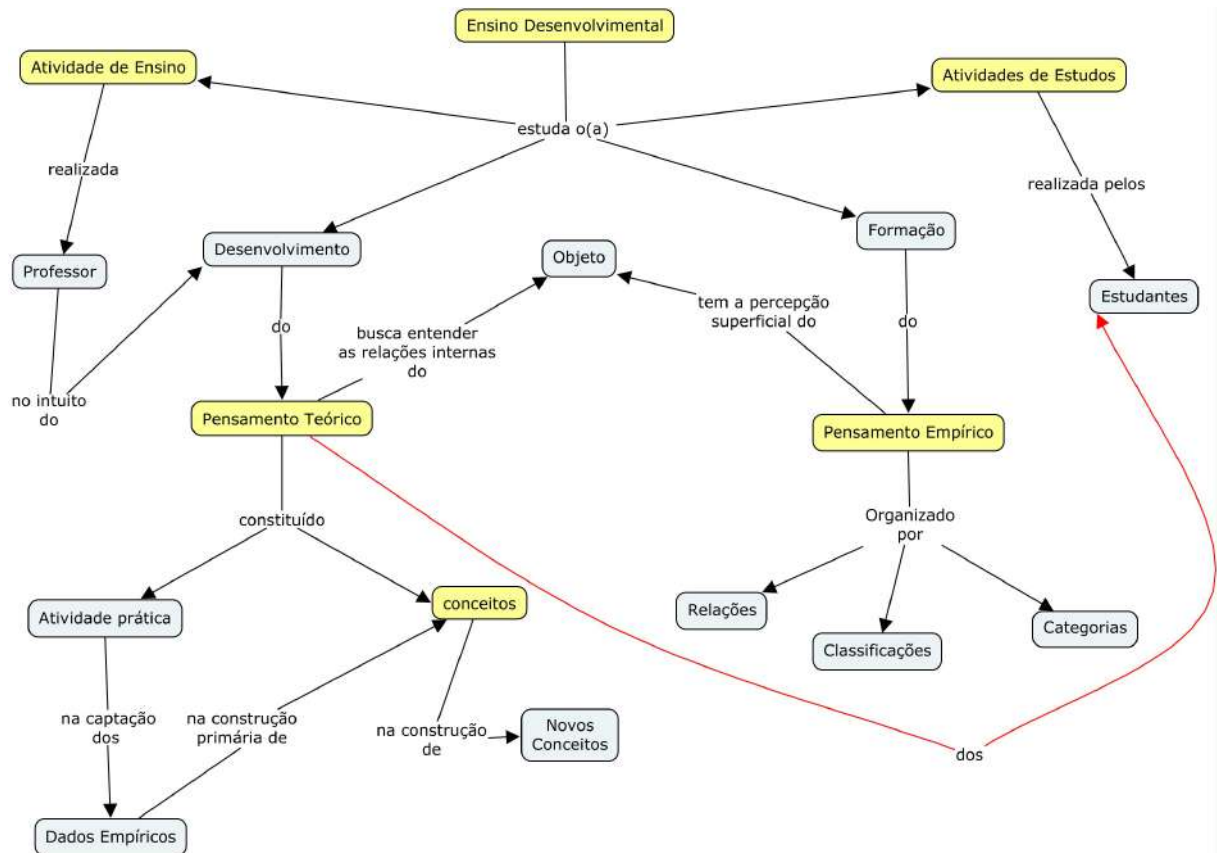
No processo criativo, complexo e contraditório do pensamento e da compreensão, há dois aspectos diferentes, porém complementares, da atividade objetiva e sua reprodução. O aspecto direto, externo da realidade (o fenômeno) atua como objeto do *pensamento empírico*. Entretanto, "no processo de compreensão [e de pensamento] também pode ser reproduzida a existência mediatizada, interna da realidade (essência)¹⁸, a que constitui o objeto do *pensamento teórico*" (DAVIDOV, 1988, p. 133).

2.5.2 O Pensamento Empírico e a Formação do Pensamento Teórico

No início do séc. XXI a popularização dos meios de comunicação fizeram com que as informações fossem veiculadas com uma grande velocidade e pulverizada sem precedentes

¹⁸ Denominações adotadas por Kosik (1976) para a formação do concreto do objeto: o fenômeno e sua aparência externa; e a essência, com sua estrutura conceitual interna.

Figura 2.5 – Mapa conceitual da Teoria do Ensino Desenvolvimental



Fonte: O autor.

na história mundial. O que gera um acúmulo de informações, fazendo com que o tempo para o pensamento e a formação sejam superficiais. Identificamos a esse tipo de pensamento na dialética materialista como *pensamento empírico*.

As representações, que identificam as classes formadas por grupos de objetos agrupados por seus traços similares e superficiais, encontram denominação verbal e identificação nos juízos-enunciados (isso é um boi, aquela é uma vaca, isso é uma fruta, etc...). "Uma série de juízos particulares análogos sobre quaisquer objetos pode substituir por uma nova palavra-denominação, cujo conteúdo será uma representação dos objetos ajuizados"(DAVIDOV, 1986, p. 296).

Davidov (1986) continua dizendo que, "com o auxílio das representações gerais e dos juízos produzido sobre a base das mesmas o homem pode chegar a deduções bastante complexas"(p. 296). Com base em experiências anteriores o homem pode se orientar e planejar uma nova atividade, pois nessas experiências o homem construiu representações e juízos que o levam a deduções para planejar e pensar na (e durante) a nova atividade. "A formação e o emprego de palavras-denominações genéricas que permitem dar à experiência sensorial a forma de *genera-*

idade abstrata. Graças a esta forma cabe generalizar a experiência nos juízos e empregá-los nas deduções. Essa [...] é uma peculiaridade do pensamento empírico"(DAVIDOV, 1986, p. 297).

Podemos concluir que o pensamento empírico é constituído por deduções (raciocínios) parametrizados por juízos que resultam de observações diretas e superficiais, em percepções advindas diretamente da atividade prática. O pensamento empírico "é o derivado direto da atividade objetual-sensorial das pessoas"(DAVIDOV, 1988, p. 134).

Colocar em um plano as ações para uma atividade laboral está sempre presente no pensamento teórico, o que não ocorre no pensamento empírico, que planifica as suas ações na atividade prática-sensorial, na superficialidade da percepção dos objetos, na aparência fenomênica, a partir dos dados sensoriais. "O método de obtenção e emprego dos dados sensoriais pelos homens, apropriados da linguagem, temos designado de *pensamento empírico*"(DAVIDOV, 1986, 298).

Entretanto, pensar requer raciocínio e o pensar é o construtor do conhecimento racional. O estado racional está presente desde o início da construção do conhecimento; mas é importante ressaltar que "apenas as sensações, as percepções e os dados sensoriais servem de fundamento e fonte de todo conhecimento do homem acerca da realidade"(DAVIDOV, 1986, p. 299).

Podemos afirmar que há uma relação dialética entre o racional e o sensorial na formação do conhecimento. Kópnin (1978) diz que ambos [racional e sensorial] "não são dois degraus do conhecimento, mas dois momentos que o penetram em todas as formas e em todas as etapas de desenvolvimento". E continua dizendo que "o próprio pensamento nunca pode carecer do sensorial quer na sua origem, quer na forma de existência". (p. 150)

A construção teórica tem o seu ponto de partida na atividade prática, ou seja, a partir das informações obtidas no contato imediato com o objeto e sua superficialidade, os dados empíricos na atividade prática-sensória são o que possibilita a construção do pensamento teórico (KOPNIN, 1978, p. 152). Se o objeto se revelasse em suas relações superficiais, não haveria necessidade da ciência, pois o papel da produção científica é desenvolver o pensamento teórico; é a busca da essência dos objetos localizada em sua estrutura interna.

Segundo Kosik (1976, p. 17) a essência "não se manifesta diretamente, e desde que o fundamento oculto das coisas deve ser descoberto mediante uma atividade peculiar". A atividade peculiar a que se refere Kosik (1976) é a relação dialética existente entre a atividade

prática e o pensamento teórico. Kosik (1976) continua dizendo que "se a aparência fenomênica e a essência das coisas coincidissem diretamente, a ciência e a filosofia seriam inúteis".

Nesse sentido, o papel da ciência na sociedade é a investigação do objeto tornando-o concreto. A concreticidade passa pela relação dialética entre a aparência do *fenômeno* e o conteúdo interno da *essência*. Chega-se ao concreto quando a *essência* é revelada e conhecida pela ascensão do abstrato ao concreto, realizado pelo pensamento teórico. Para Kopnin (1978):

o pensamento teórico reflete o objeto no aspecto das relações internas e leis do movimento deste, cognoscíveis por meio da elaboração racional dos dados do conhecimento empírico. Sua forma lógica é constituída pelo sistema de abstrações que explica o objeto.(p. 152)

O abstrato e o concreto são categorias da dialética materialista elaboradas para refletir a mudança da imagem cognitiva tanto no que concerne à multilateralidade da abrangência do objeto nessa imagem quanto à profundidade da penetração na essência dele. (p.154)

O concreto-sensório é o ponto de partida para o conhecimento do objeto. Na atividade prática-sensorial, este concreto é transformado em uma imagem e desta imagem são feitas algumas abstrações. A partir de então são analisadas as partes e verificada as suas singularidades comparadas com o todo. Também são reveladas as conexões internas existentes formando a estrutura deste objeto, sendo revelada aí a essência do objeto.

Quando o objeto é estudado em todas as suas características, feitas as conexões internas, revela-se à essência e o que há de concreto no objeto, a coisa em si. Davidov (1986) citando Rózov diz que "o processo da abstração consiste em elucidar a independência de estado ou situação de qualquer objeto [...] como resultado, esse objeto inicial é substituído mentalmente por outro: por seu *modelo*". Davidov (1986) destaca que "como resultado das abstrações se obtém um novo objeto idealizado"(p. 302).

Há diferenças significativas na relação das atividades entre o pensamento empírico e o pensamento teórico. O pensamento empírico possui uma relação direta entre a atividade prática-sensorial e a superficialidade encontrada na aparência fenomênica no movimento do objeto. O pensamento teórico possui uma relação dialética com a atividade prática-objetiva.

O pensamento teórico é "uma idealização do aspecto fundamental da atividade prática-objetiva, a saber, da reprodução nela das formas gerais das coisas, de sua medida e de suas leis". Davidov (1986) continua trazendo elementos do *materialismo histórico dialético* para o desenvolvimento do pensamento teórico e sua relação direta com o trabalho¹⁹, como atividade

¹⁹ Trabalho como práxis. Referente também ao ambiente de trabalho, com seus instrumentos propícios para a boa produção.

laboral, socialmente construída e constituída. "Esta reprodução tem lugar na atividade laboral como em um singular experimento sensório-objetivo"(p. 300).

Davidov (1986) coloca a atividade do pensamento teórico no plano mental, incluindo experimentos mentais e a própria construção dos conceitos do objeto, entendendo que os dados empíricos obtidos na atividade prática são anteriores e importantes, mas não fazem parte do pensamento teórico. A atividade do "pensamento teórico se constitui nas mediações, no reflexo psíquico, na essência dos objetos"(p. 299). Davidov (1986) fala da transição do experimento sensório-objetivo para o patamar de experimento mental, dizendo que "este experimento[o sensório-objetivo] vai adquirindo cada vez mais um caráter cognoscitivo, permitindo que o homem passe com o tempo para os **experimentos mentais**, atribua mentalmente aos objetos uma interação, determinada forma de movimento"(p. 300).

As singularidades do "experimento mental formam a base do pensamento teórico, que opera por conceitos científicos"(DAVIDOV, 1986). As particularidades fundamentais do experimento mental são destacadas por BÍBLER citado por Davidov (1986, p. 300) como um processo de três etapas.

- 1) O objeto do conhecimento se transfere mentalmente a condições nas quais sua essência pode revelar-se com singular certeza (como uma determinação);
- 2) Esse objeto se converte em matéria das sucessivas transformações mentais;
- 3) E neste mesmo experimento se integra mentalmente o meio, o sistema de relações, no que se localiza nesse objeto.

O conceito científico atua "como forma da atividade mental mediante o qual se reproduz o objeto idealizado e o sistema de suas conexões, que refletem em sua unidade a generalidade e a essência do movimento do objeto material"(DAVIDOV, 1986, p. 300). Por meio do conceito o pensamento trilha o seu caminho para o desenvolvimento estrutural do próprio conceito e da construção de outros, por isso é dito que o pensamento teórico opera mentalmente por conceitos. Davidov (1986) declara que "essa **operação** [por conceitos] de construir e transformar o objeto mental equivale ao ato de compreendê-lo, explicá-lo e revelar sua essência"(p. 301).

Feito assim, as construções teóricas ocorrem por meio de conceitos científicos já consolidados, gerando novos conceitos. A apropriação do conceito científico faz com que esse conceito transforme-se em *juízo especial*, segundo Kopnin (1978, p. 203). O pensamento teórico é parametrizado pelo conceito em forma de juízo especial, constituindo novos conceitos, consolidando o objeto e sua estrutura interna.

Em síntese, o desenvolvimento do pensamento empírico e do pensamento teórico geram conhecimentos de mesma natureza, respectivamente. Rubtsov (1996) separa os dois tipos

de conhecimento baseado em conclusões alcançadas por pesquisas de Davidov (1986) como destacado abaixo:

1. O conhecimento empírico é elaborado quando se compara os objetos às suas representações, o que permite valorizar as propriedades comuns dos primeiros. Já o saber teórico repousa numa análise do papel e da função de uma certa relação entre as coisas no interior de um sistema.
2. A comparação entre os objetos e suas representações dentro do conhecimento empírico torna possível a generalização formal das propriedades dos objetos, a qual, por sua vez, permite situar objetos específicos no interior de uma dada classe formal, independentemente da existência de laços entre esses objetos, ou da ausência de tais ligações. Por outro lado, por ocasião da análise do conhecimento teórico, procura-se saber que tipo de relação entre classes caracteriza, a um tempo, um representante de uma classe e um objeto em particular. Essa **relação** tão real e tão particular serve, ao mesmo tempo, de base principal para todas as outras manifestações do sistema. Ela se apresenta como uma forma universal ou como entidade representada em pensamento.
3. Qualquer conhecimento empírico baseia-se na **observação**. Reflete apenas as propriedades exteriores dos objetos e apoia-se inteiramente nas representações concretas. Já o saber teórico é oriundo de uma transformação dos objetos e reflete as relações entre as suas propriedades e suas ligações internas. Tão logo o pensamento reproduz um objeto sob a forma de conhecimento teórico, ele supera as representações sensoriais.
4. No caso do conhecimento empírico, a propriedade formal comum, construída a partir da comparação entre os objetos, é análoga às propriedades específicas dos objetos. Já o saber teórico determina a ligação de uma relação geral com as suas manifestações concretas, isto é, o elo entre o geral e o particular.
5. Concretizar o pensamento empírico é escolher exemplos relativos a uma certa classe formal. No caso do saber teórico, essa concretização exige a **transformação** do saber em uma teoria desenvolvida através de uma **dedução**, e de uma **explicação** das manifestações concretas do sistema, a partir de uma base fundamental.
6. É uma palavra, um "termo", que serve para fixar os resultados do conhecimento empírico. Ao contrário, o conhecimento teórico é expresso, a princípio, por diferentes modos de atividade intelectual e, em segundo momento, por diferentes sistemas semióticos (RUBTSOV, 1996, p. 129-130).

No processo ensino-aprendizagem, entendemos que o papel da escola é promover o desenvolvimento do pensamento teórico, com os estudantes em atividades de estudos orientados pelo professor que desempenha atividades de ensino, que abarca o planejamento, a elaboração de materiais didáticos e, no momento da aula, com a instrução e mediação com a intenção de promover o desenvolvimento das funções superiores dos estudantes.

2.5.3 Atividades de Ensino e Estudos

As atividades de ensino fazem parte das atribuições docentes, que vai desde planejar uma aula à elaborar tarefas para os estudantes e fazer a mediação na aula entre os estudantes e os conceitos a serem apropriados. A atividade de estudos é uma atribuição do estudantes, com o objetivo deles alcançarem a aprendizagem, com a dependência da mediação do professor, excetuando-se apenas em casos excepcionais. A atividade de estudos e de ensino, dentro da perspectiva histórico-cultural, possuem uma relação dialética, professor e estudantes trabalham com o mesmo conteúdo, mas com tarefas distintas.

No Ensino, os conteúdos das disciplinas são os objetos da aprendizagem e também do ensino, caracterizados por atividades diferentes; a atividade de ensino é do professor e a atividade de estudos é do estudante em idade escolar. Na exploração dos conteúdos, as informações imediatas constituem a aparência fenomenológica; a essência pode ser identificada pela estrutura de conceitos que tornam o conteúdo concreto, por meio do pensamento teórico, na mente do estudante. Especificamente sobre o conceito Davidov (1988, p. 137) diz que:

ter um conceito sobre um objeto significa saber reproduzir mentalmente seu conteúdo, construí-lo. A ação mental de construção e transformação do objeto constitui o ato de sua compreensão e explicação, a descoberta de sua essência. V. I. Lenin assinalou como correta a seguinte tese de Hegel: 'entendê-lo significa expressar sua essência em forma de conceito'. Tendo explicado essa tese, mais adiante V. I. Lenin a repete, mas já em forma generalizada: 'Entender significa expressar em forma de conceitos.' Esta tese, em nossa opinião conserva, do mesmo modo, seu sentido na seguinte formulação: expressar o objeto em forma de conceito significa compreender sua essência.

O objetivo do professor com seu embasamento no materialismo-histórico-dialético, é possibilitar ao estudante o pensar teoricamente, sendo esse o papel da escola. Pois o pensamento teórico possibilita ao estudante entender a totalidade do objeto, desde sua aparência fenomenológica ao interior do objeto em sua essência, tornando concreto o seu conhecimento. Além disso, o estudante potencializa a sua articulação em atividades laborais coletivas com o desenvolvimento do pensamento teórico por seu processo ativo habitual.

Para se ter o domínio do conceito e total consciência do objeto, precisa-se passar pelo processo de investigação. Nesse processo é necessário que se entenda como ocorreu a gênese do conceito (objeto) e em qual contexto ocorreu o seu surgimento, qual necessidade humana foi suprida para que tal conceito emergisse. E a partir da gênese do objeto compreender a lógica de seu desenvolvimento e as conexões internas no interior do objeto. Em um ensino com essas características, a escola deve proporcionar uma nova metodologia que segundo Skatkin e Dani-

lov (1978 apud DAVIDOV, 1988) o professor construa com os estudantes "o mesmo caminho percorrido pelo pensamento científico, forçando os alunos a seguir o movimento dialético do pensamento para a verdade, tornando-os, de certo modo, co-participantes da busca científica (p. 174). Inclusive, a ideia é que se explore essa abordagem por meio de problemas que façam os estudantes resgatarem os desafios enfrentados pelos cientistas no entendimento e na construção social dos conceitos científicos.

Para tanto, o grande desafio da Escola é proporcionar o pensamento teórico e seu caráter de ensino desenvolvimental aos estudantes. Se os estudantes tiverem a oportunidade de entender a totalidade do objeto por meio dos conceitos que lhes são ensinados, poderão ter total consciência de que o conhecimento é uma construção humana, que eles são componentes conscientes da sociedade e que também é seu papel modificar e movimentar os rumos da história.

No materialismo histórico dialético, a metodologia adotada para o desenvolvimento do pensamento é a inter-relação entre o lógico e o histórico. Segundo Kopnin (1978, p. 69) o elemento lógico está voltado para a "evolução do pensamento no sentido da verdade". Portanto o lógico é caracterizado pelo movimento do pensamento e é o reflexo do histórico. O histórico, por sua vez é "o processo de mudança do objeto, as etapas de seu surgimento e desenvolvimento"(KOPNIN, 1978, p. 183). Segundo Kopnin (1978, p. 186):

O lógico reflete não só a história do próprio objeto como também a história do seu conhecimento. Daí a unidade entre o lógico e o histórico ser premissa necessária para a compreensão do processo de movimento do pensamento, na criação da teoria científica.[...] A unidade entre o lógico e o histórico é premissa metodológica indispensável na solução dos problemas da inter-relação do conhecimento e da estrutura do objeto e conhecimento da história de seu desenvolvimento.

Antes de iniciar uma investigação no processo de apropriação do conceito científico, o estudante deve saber aspectos da essência do objeto em sua forma madura, mesmo sem ter muito aprofundamento, estabelecendo assim uma meta para se ter total compreensão do objeto no processo de apropriação. Segundo Kopnin (1978, p. 185) esse processo é feito pela dialética materialista que:

à base da unidade do histórico e do lógico, [define] o início do conhecimento e o sucessivo caminho de seu movimento. O estudioso deve começar do objeto pelo fim, a partir da sua forma mais madura, do estágio de desenvolvimento em que aspectos essenciais estão suficientemente desenvolvidos e não estão disfarçados por casualidades que não tem relação direta com ela. A base do estudo da fase superior, madura de desenvolvimento do objeto fazem-se as definições primárias de sua essência. Essas definições têm caráter abstrato, são insuficientemente profundas, mas indispensáveis como linha no estudo do processo histórico de desenvolvimento do objeto.

A partir da meta estabelecida, no processo de investigação do objeto ao estudar ciência, ou especificamente um conteúdo que a compõe, é necessário saber o que originou tal conhecimento. E não só isso, faz-se também necessário saber como este conhecimento se desenvolveu e quais as necessidades do período do seu surgimento para que seja entendida a sua lógica. Segundo Marx e Engels (1980 apud KOPNIN, 1978, p. 184) "de onde começa a história deve começar também a marcha das ideias".

Assim, observamos que um conceito não pode ser simplesmente uma informação passada arbitrariamente do professor ao estudante. É importante desvendar a sua lógica, partindo de sua gênese e investigando todo o seu desenvolvimento. Essa descoberta é mais interessante quando é feita pelo estudante por meio de uma atividade. Kopnin (1978) ao dizer sobre a atividade do estudioso em ciências fala que:

o estudioso de qualquer campo da ciência encontra constantemente a questão de como abordar o estudo do objeto, de onde começar a reprodução de sua história no pensamento. Para revelar a essência do objeto, é necessário reproduzir o processo histórico real de seu desenvolvimento, mas este é possível somente se conhecemos a essência do objeto. (p. 184)

A atividade de ensino deve ter em seu planejamento a unidade entre o lógico e o histórico para estabelecer estratégias metodológicas com a intenção de desenvolver o pensamento teórico dos estudantes, estabelecendo as metas a serem alcançadas por meio da revelação de aspectos da essência do objeto que se deseja conhecer. Com isso, "as definições primárias do objeto, a lógica dos conceitos que o expressam constitui o ponto de partida no estudo do processo de formação e desenvolvimento de dado objeto"(KOPNIN, 1978, p. 185). Feito isso, as tarefas elaboradas pelo professor devem favorecer a lógica das ideias que foram estabelecidas historicamente, seguindo a marcha das ideias, que segundo Marx e Engels (1980 apud KOPNIN, 1978, p. 184) o seu "movimento não será mais que o reflexo do processo histórico em forma abstrata e teoricamente coerente".

Para fortalecer o desenvolvimento do conceito científico é necessário a inter-relação deste com outros conceitos, que podem ou não ter tido o seu desenvolvimento entrelaçado com o conceito em questão. Esta interconexão de conceitos servirá como base para o surgimento de novos conceitos. Esta interconexão são os nexos conceituais do novo conceito. Por exemplo: ao estudarmos a Termodinâmica, os conceitos de calor, temperatura e energia térmica têm uma inter-relação entre si, ou seja, um conceito não existiria sem o outro. Esses conceitos formam uma base para que por meio deles possamos chegar à conclusão de novos conceitos, por exem-

plo a 1ª Lei da Termodinâmica. Então, podemos dizer que os conceitos de calor, temperatura e energia térmica são os nexos conceituais da 1ª Lei da Termodinâmica.

Os nexos conceituais formam as estruturas internas e externas de um conceito, também chamados de nexos internos e externos, respectivamente. Os nexos externos são o que Kosik (1976, p. 15) denomina de "estrutura do mundo fenomênico". Ainda segundo esse autor, "o fenômeno [é] aquilo que se manifesta imediatamente, primeiro e com maior frequência"(p. 16). Se tratarmos o conceito como a *coisa em si*²⁰, então os nexos externos compõem a estrutura do fenômeno e os nexos internos compõem a estrutura interna, onde se revela a essência da coisa. Segundo Sousa (2004, p. 61) "os nexos externos se limitam aos elementos perceptíveis do conceito enquanto os internos compõem o lógico-histórico do conceito". Sousa (2004) identifica os nexos internos com os nexos conceituais e continua dizendo que "os nexos conceituais que fundamentam os conceitos, contêm lógica, a história, as abstrações, as formalizações do pensar humano no processo de constituir-se humano pelo conhecimento, definindo "nexo conceitual como o elo de ligação entre as formas de pensar o conceito"(p. 61). Os nexos conceituais formam as estruturas da essência da *coisa em si*.

Os nexos conceituais que o professor utilizou na metodologia facilitaram a apropriação dos conteúdos pelos estudantes. Tal apropriação de conceitos por parte do estudante possibilita que ele se desenvolva e pense teoricamente em outros conceitos, o que lhe dá uma certa autonomia. Em suas atividades de estudos (aprendizagem) o estudante deve ter consciência de que os conceitos apreendidos fazem parte importante de uma estrutura, assim, quanto mais amadurecido a apropriação mais forte será a estrutura. Essa forma estrutural levada a outros campos do conhecimento dará ao estudante maior autonomia em sua forma de pensar e agir em sua vida, formando uma personalidade mais sólida e crítica, assim ele fará análises mais coerentes, pois pensará no todo de maneira profunda e concreta. E a ciência então dará a sua contribuição para a formação do cidadão se em todos os ramos do conhecimento ele for capaz de pensar de maneira teórica, essencialmente humana e fraterna.

²⁰ Denominação utilizada por Kosik (1976).

3 O DESENVOLVIMENTO LÓGICO-HISTÓRICO DA TERMODINÂMICA

O presente capítulo tem o objetivo geral de elucidar o desenvolvimento de alguns conceitos da Termodinâmica associados com a invenção da máquina a vapor, mostrando principalmente, as contribuições teóricas para o desenvolvimento da própria máquina a vapor, em uma relação dialética entre a ciência e a tecnologia, destacando os nexos conceituais da Termodinâmica e os elementos tensionadores que impulsionaram a ciência ao longo da História no período do desenvolvimento das máquinas a vapor.

O objetivo específico deste capítulo é entender como a História da Termodinâmica e o desenvolvimento de seus conceitos podem ser utilizados em sala de aula na perspectiva da Teoria do Ensino Desenvolvimental de Davidov (1986). No entanto, para o desenvolvimento das aulas nessa perspectiva, é importante que o professor esteja atento às inter-relações existentes entre os conceitos da Termodinâmica em sua essência, formando uma estrutura conceitual que possibilite ao estudante conscientizá-la, reconstruindo essa estrutura em atividades de estudo, tendo a oportunidade de entender os conceitos e suas inter-relações, por meio do pensamento teórico.

O desenvolvimento da Termodinâmica, como de outras ciências, foi impulsionado pelas necessidades dos homens ao longo da História. No caso da Termodinâmica a necessidade de se retirar as águas das minas, sem esforço físico humano, impulsionou o surgimento da máquina a vapor. Uma vez suprida essa necessidade, surgiram outras necessidades que motivaram a atividade humana, gerando assim um ciclo virtuoso de desenvolvimento. São as necessidades que ditam a lógica das atividades humanas. Nossa intenção aqui é elucidar a lógica do desenvolvimento da Termodinâmica no período pós e durante a 1ª Revolução Industrial.

Este capítulo está organizado em cinco seções. A seção 3.1 mostra o arcabouço científico e tecnológico que tornou possível a criação das primeiras máquinas a vapor. A intenção é mostrar os pré-requisitos científicos e tecnológicos para a construção da máquina a vapor e do desenvolvimento da Termodinâmica.

Na seção 3.2, apresenta-se o contexto e a necessidade humana de se ter uma máquina automática, sem o uso da *força de trabalho* humana. O intuito dessa seção é mostrar a *razão de existir* da máquina a vapor.

Na sequência, na seção 3.3 elucidamos o funcionamento da máquina a vapor de Newcomen, evidenciando seus problemas técnicos, além de mostrar sua relevância econômica para a mineração, impulsionando a melhoria da máquina, percebida por James Watt.

Na seção 3.4, abordamos a importância de Joseph Black e seu conceito de *calor* como umnexo conceitual da Termodinâmica de grande importância histórica, que nas mãos habilidosas de Watt possibilitou melhorias na máquina a vapor.

A seção 3.4 é central para as nossas intenções, pois elucidada o desenvolvimento dos conceitos da Termodinâmica centrado na máquina a vapor de Watt. Tratamos aqui de alguns elementos históricos que explicam a evolução dos conceitos científicos da Termodinâmica. Elucidamos os nexos conceituais e a estrutura conceitual da Termodinâmica com breves relatos históricos sobre alguns elementos tensionadores para a evolução científica.

Por fim, na seção 3.5 mostramos como foi pensada a Unidade Didática (UD), explicando o seu desenvolvimento ao utilizar os nexos conceituais da Termodinâmica e a evolução lógica das tarefas da UD. Destacamos a intencionalidade de cada capítulo e o desenvolvimento esperado do raciocínio dos estudantes. A intenção nas primeiras tarefas foi trabalhar com a aquisição de dados empíricos, por meio do auxílio dos agentes mediadores, tendo o professor o papel principal. Nas demais tarefas a intenção foi que eles desenvolvessem um pensamento teórico em atividades de estudos com os mesmos elementos mediadores já explicitados no desenvolvimento do pensamento empírico.

Acreditamos que essa organização proporcione o desenvolvimento da autonomia do leitor, que poderá escolher o material a ser usado de acordo com a sua necessidade de ensino, pois o professor ou pesquisador buscará ler a seção que atende à sua necessidade.

3.1 Elementos Lógico-históricos que Permitiram o Surgimento da Máquina a Vapor

Os elementos lógicos-históricos da Termodinâmica expostos aqui nas subseções que se seguem traçam a marcha das ideias que possuem relevância para o surgimento e desenvolvimento das máquinas a vapor, começando pela importância e o domínio do fogo pelo homem.

3.1.1 O Fogo

O conceito de calor é o elemento central para o desenvolvimento de todos os outros conceitos da Termodinâmica, é onexo conceitual de maior relevância para a estrutura dos conceitos termodinâmicos. O elemento histórico que deu início aos estudos do calor foi o *fogo*, sua descoberta e seu domínio, para suprir as necessidades humanas de sobrevivência. O fogo é um dos elementos essenciais para o funcionamento da máquina a vapor.

No princípio, boom! No início "Big Bang", a grande explosão. Havia uma quantidade enorme de energia manifestada por muita luz, além da expansão de matéria. Passado muito tempo, após a grande explosão, a Terra foi formada com porções de terra e água, com muita vegetação, minerais e a atmosfera. Durante o dia, o sol era a manifestação luminosa que fornecia energia para a manutenção da vida dos seres vivos.

Contudo, o fogo surgiu impressionando com seu brilho e aquecimento, fazendo discreto e localmente o papel do sol, quando esse se encontra ausente ou encoberto. Sua origem tem várias vertentes nas mitologias (CHASSOT, 2004, p. 14). Dado o tempo de existência da Terra¹ e o surgimento recente do homem² as fontes mitológicas diversas dão diferentes versões da origem do fogo, sendo atribuído muitas vezes aos deuses o poder e a criação do fogo, tendo utilidade em seus rituais e poder purificador em seu simbolismo.

Para alguns historiadores o fogo tem sua origem na pré-história, quando em uma tempestade um raio atingiu uma árvore e essa pegou fogo. Ao ficar próximo, o homem pré-histórico teve uma sensação de desconforto devido à alta temperatura e fugiu temendo a sua morte. Mais tarde procurou dominar o fogo. O *Homo erectus*, o ancestral imediato do homem moderno, produziu suas primeiras faíscas ao atritar duas pedras ou pedaços de madeira, há cerca de 700.000 anos. O objetivo inicial neste período era o aquecimento próprio e, neste ínterim, o homem necessitava também ter certo domínio sobre o fogo (ROCHA, 2015, p. 142).

O conceito de alta temperatura está atribuída ao comparativo com a temperatura corpórea. Essa percepção no sentido do tato, tanto humano quanto dos animais, traz relevância ao fogo para suprir a necessidade de aquecimento e proteção do homem. Percebemos aqui a inter-relação dos conceitos de calor e de temperatura. Há claramente um vínculo entre ambos e a necessidade científica de diferenciá-los.

Dentre as atribuições em suprir as necessidades humanas, o fogo foi utilizado no processo de cozimento dos alimentos, inicialmente. Na Antiguidade, teve uso marcante na fabricação de tijolos. Ainda neste período, na metalurgia (forja de objetos metálicos), para a confecção de instrumentos para a agricultura e em armaduras para as guerras, além de servir aos exércitos como arma, nas pedras em chamas arremessadas por catapultas. Em estações do tempo de baixas temperaturas o fogo foi utilizado para o aquecimento humano. Nos períodos que antecederam a Idade Média, período dos Impérios Egípcio, Assírio, Babilônico, Meso-Persa, Grego e

¹ Em torno de 4,54 bilhões de anos, assim considerado pelos cientistas.

² O *Homo Sapiens* tem por volta de 350 mil anos de sua origem, segundo evidências arqueológicas. Fonte: *Scientists discover the oldest Homo sapiens fossils at Jebel Irhoud, Morocco. Nature.*

por fim o Romano, o domínio perpassa as táticas de guerra, incluso o domínio das armas brancas e armaduras, as quais eram forjadas por aquecimento, necessitando assim de que o forjador tivesse um domínio sobre o fogo. O fogo também tinha o uso para a destruição das cidades conquistadas, por vezes as catapultas eram lançadas com "pedras de fogo" e os arqueiros colocavam fogo nas pontas das flechas, dando início as primeiras armas de fogo. Continuou tendo as mesmas utilidades na Idade Média, que por vezes era utilizado na "Santa Inquisição" para purificar as "bruxas" e os "hereges" com ideias revolucionárias. No entanto, é após a Revolução Científica do séc. XVI que o uso do fogo ganha o seu poder Revolucionário.

Dada a importância do fogo para suprir as necessidades do homem no passado e também em situações contemporâneas, elaboramos na UD uma única pergunta: *O que é o fogo?* Essa pergunta, juntamente com a atuação mediadora do professor, teve a intenção de orientar os estudantes em elaborar respostas de acordo com as suas experiências em outras disciplinas sem ser a Física, lembrando-os da importância de se entender o desenvolvimento humano ao redor do fogo e a supressão das necessidades do homem com um motor, sendo a humanidade a construtora da própria história. O professor deve destacar a importância do fogo para a sociedade ao longo das eras e o nosso ponto de chegada nessa tarefa é a 1ª Revolução Industrial. Além do fogo, tiveram outros elementos lógico-históricos foram importantes e permitiram o surgimento da máquina a vapor, como por exemplo o entendimento da *Máquina de Heron*.

3.1.2 Máquina de Heron

Na Grécia Antiga já se estudava o fogo, considerado como um dos elementos primários da natureza por Demócrito (460 A.C.-370 A.C.), junto com a água, o ar e a terra, pelos quais tudo no planeta Terra derivava. Mas a descoberta mais relevante se dá na área tecnológica, com a máquina de Heron (10 A.D.-80 A.D.), a *Eolípila*, como ilustrado na figura 3.1. Ela era constituída pelo local da queima de combustível (podendo ser lenha ou azeite), um reservatório de água que é conectada por tubos que sustentavam uma esfera e por onde o vapor era canalizado para que essa esfera evacuasse o vapor pelas duas válvulas que faziam a esfera girar. A máquina não servia para nada, a não ser para mostrar que a energia retirada do fogo se transformava em energia de movimento, mas esse princípio seria usado mais adiante, no final da Idade Média, dando origem a Idade Moderna.

A utilidade da máquina de Heron era simplesmente demonstrativa. A energia do fogo poderia produzir um trabalho mecânico. Entretanto, a máquina de Heron não tinha utilidade

Figura 3.1 – Máquina de Heron



Fonte: <<http://www.ancientgreecefacts.com/images/inventions-of-ancient-greece-1.jpg>>, visualizado em 06/02/2018

relevante. Era necessário entender os conceitos de pressão, mais especificamente a descoberta da pressão atmosférica como conceito científico e o conceito de trabalho.

Na UD, a máquina de Heron será abordada na terceira tarefa, quando for desenvolvido o assunto das máquinas a vapor de Newcomen e a máquina de Watt. Além de elemento histórico importante, a máquina de Heron e seu GIF³ são recursos interessantes para a elucidação do funcionamento da máquina a vapor na Era Moderna, sem aprofundamentos científicos.

3.1.3 Pressão e a Descoberta da Pressão Atmosférica

Os engenheiros dos séc. XVII e XVIII tinham acesso a um arcabouço teórico imprescindível para a construção das máquinas a vapor. O conceito de pressão construído por cientistas, como Evangelista Torricelli (1608-1647) e seu experimento com mercúrio para a medição da pressão atmosférica; Blaise Pascal (1623-1662) que explicou que, se em um fluido há uma variação de pressão em um ponto, esta variação é transmitida para todos os outros pontos deste mesmo fluido. Esse é o chamado princípio de Pascal e a partir desse princípio foi elaborada a prensa hidráulica. Pascal também explicou que não há o horror ao vácuo⁴ e sim efeitos provocados pela ação da gravidade e da pressão do ar. Por último, os estudos de Otto Von Guericke na construção da bomba pneumática (1650). Ele demonstrou em seus experimentos que a pressão

³ disponível em <https://pt.wikipedia.org/wiki/Motor_a_vapor>

⁴ a comunidade científica acreditava até então no horror ao vácuo por causa das concepções aristotélicas

atmosférica tem capacidade de realizar trabalho, reforçando com isso, a rejeição da doutrina de horror ao vácuo (EVANGELISTA, 2014).

A realização de trabalho em uma máquina a vapor é efetuada pela pressão produzida pelo vapor d'água, na ascensão do êmbolo produzindo a expansão do volume do cilindro. Em um processo cíclico, o êmbolo volta a posição de origem, em um processo de compressão do volume do cilindro, efeito causado pela retirada do vapor do cilindro e a ação da pressão atmosférica no êmbolo.

Para a construção das máquinas a vapor, a pressão e o trabalho foram tratados como causa e efeito. O vapor d'água produz pressão em uma superfície e faz com que essa se movimente. Se o vapor d'água for retirado do cilindro, o vácuo é gerado dentro dele, fazendo com que a pressão atmosférica *empurre* o êmbolo para a sua posição original.

A pressão e o trabalho são considerados nexos conceituais da Termodinâmica por possuírem uma inter-relação conceitual e compõem os conceitos que dão origem as leis da Termodinâmica. O desenvolvimento intencional dos conteúdos associados a máquina a vapor passa pela compreensão desses conceitos e de seus nexos, assegurando um entendimento pleno das leis termodinâmicas.

O conceito de pressão é explorado na segunda tarefa, na qual o professor apresenta a panela de pressão, por meio de dois vídeos, e provoca os estudantes por meio do seguinte questionamento: *A pressão do vapor tem força suficiente para movimentar uma máquina?* Na terceira tarefa, com a pressão do vapor realizando trabalho nas máquinas a vapor de Newcomen e de Watt, dando ênfase a inter-relação dos conceitos de pressão e de trabalho.

A pressão e o trabalho são nexos conceituais da Termodinâmica, pois a pressão e o trabalho servem de suporte para o surgimento dos conceitos e das leis termodinâmicas, como ocorrido historicamente, o que inspirou as situações desencadeadoras de aprendizagem trabalhadas em sala de aula.

3.2 Contexto Histórico para o surgimento da Máquina a Vapor

Na Idade Média, mais precisamente na Europa entre os séculos XII e XVI, a lenha, que era utilizada para aquecimento de casas e estabelecimentos em seus invernos rigorosos, começou a ser utilizada em indústrias que tiveram naquele período o seu surgimento. Porém, a extração indiscriminada de lenha provocou a devastação das florestas, principalmente na Inglaterra. No séc. XVII, já não havia lenha suficiente, então os ingleses passaram a extrair carvão

mineral. Neste ponto é que se inicia o problema central que dará origem a história *empírica* da Termodinâmica e também a Revolução que deu início a uma nova era, a Idade Moderna (PÁDUA; PÁDUA; SILVA, 2009, p. 72).

As jazidas de carvão na época se encontravam na superfície, mas logo essas se esgotaram. A alternativa foi a exploração subterrânea do carvão mineral, mas com a abertura de galerias profundas, as escavações chegaram aos lençóis freáticos que inundavam as minas. Para solucionar este problema era necessário o bombeamento da água. Com a mão-de-obra cara e escassa na época, o vapor foi a solução achada para impulsionar as bombas hidráulicas para o esgotamento da água das minas⁵.

O contexto histórico tem relevância em nossa perspectiva de trabalho, pois mostra que a ciência não está alheia as necessidades sociais, é uma construção humana. A lógica de desenvolvimento científico e tecnológico vai além da sua organização estrutural, passando pelas necessidades humanas.

Nas aulas de desenvolvimento da UD, contar toda a história do desenvolvimento da Termodinâmica não se faz necessário, porém as situações desencadeadoras para o seu desenvolvimento sim, pois elas trazem um problema do passado que pode ser levado para os estudantes, orientando para a sua resolução e o consequente desenvolvimento dos conceitos termodinâmicos.

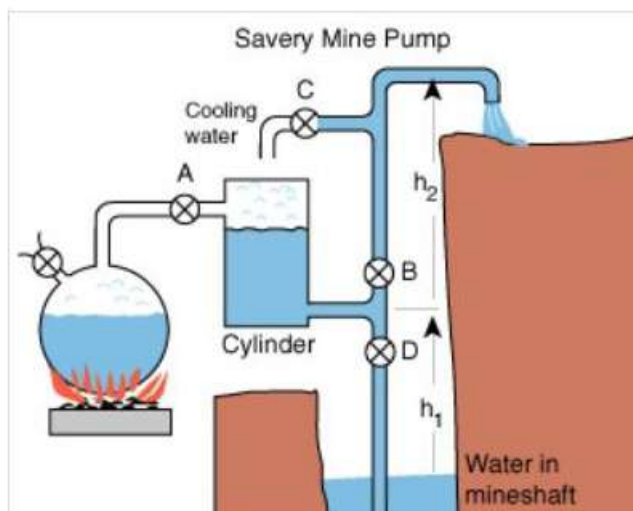
3.3 O surgimento e Desenvolvimento das Máquinas a Vapor

Na busca pela utilização do vapor para a realização de trabalho, o físico francês Denis Papin (1647-1712), em 1679 demonstrou que quando a água é aquecida em um recipiente fechado, gera uma alta pressão comparada com a pressão atmosférica. A partir disso, ele construiu a panela de pressão, tendo o cuidado de controlar a pressão dentro da panela por meio de uma válvula de escape de vapor, evitando possíveis explosões. Em 1687, utilizando o princípio por ele criado em 1679, Papin projetou a primeira máquina a vapor e sugeriu um dispositivo com um cilindro e um êmbolo. Em 1707 propôs uma versão aperfeiçoada de sua máquina (PÁDUA; PÁDUA; SILVA, 2009, p. 36-38).

Na Inglaterra, o engenheiro Thomas Savery (1650-1715), em 1698, obteve um registro de patente de uma máquina a vapor utilizada para bombear água das minas. Essa máquina era

⁵ "O vapor fora utilizado nos antigos processos metalúrgicos como substituto da bomba manual"(HOGBEN, 1952, p. 7).

Figura 3.2 – Máquina de Savery



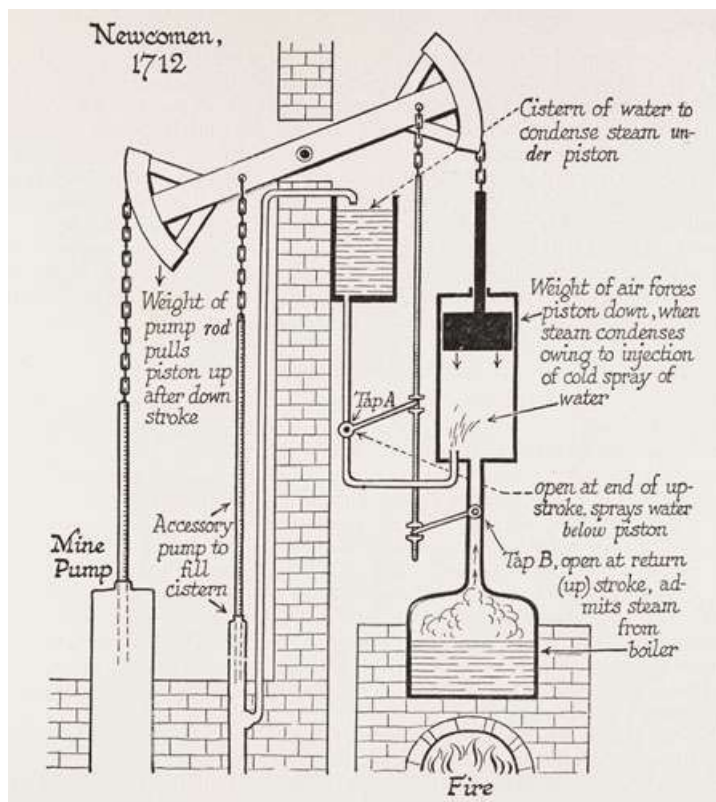
Fonte: <<http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbase/Kinetic/imgkin/Savi.gif>> visualizado em 08/02/2018

chamada de amiga dos mineiros. No entanto, possuía eficiência baixa e era suscetível a grandes explosões. Outro trabalho importante na construção de uma máquina a vapor mais eficiente e segura foi proposta pelo engenheiro Thomas Newcomen (1623 -1729). Ele construiu uma máquina a vapor nos mesmos moldes da máquina de Savery, corrigindo as suas imperfeições. (HOGBEN, 1952, p. 11). Em 1712 Newcomen reconstruiu sua máquina aperfeiçoando-a. Sua máquina foi utilizada por muito tempo (pelo menos 50 anos, até ser aperfeiçoada por Watt) para retirar a água em grandes profundidades das minas de carvão, onde as rodas d'água não conseguiam realizar tal trabalho.

A máquina de Newcomen funcionava da seguinte forma: a fornalha aquecia a água da caldeira até virar vapor; o vapor acumulado era posto para dentro do cilindro e empurrava o êmbolo até preencher todo o volume do cilindro; para o retorno do êmbolo a posição original, a válvula que permitiu a entrada do vapor era fechada e a válvula da cisterna era aberta para a entrada de água, condensando o vapor dentro do cilindro e assim permitindo a pressão atmosférica empurrar o êmbolo de volta a sua posição inicial, retornando ao movimento cíclico da máquina.

O resfriamento pelo jato de água frio dentro do cilindro era o maior problema da máquina de Newcomen, gerando o seu baixo rendimento. Com a máquina a vapor de Newcomen gastava-se 42 kg de carvão para se retirar entre 2,5 e 3,2 toneladas de água, à altura de cerca de 300 m (1000 pés). Com a mesma quantidade de carvão as últimas máquinas de Watt retiravam

Figura 3.3 – Máquina de Newcomen



Fonte: <<http://railroad.lindahall.org/essays/locomotives.html>> visualizado em 07/02/2018

9,7 toneladas, à altura de 300 m (1000 pés). Com sua máquina, Watt triplicou o rendimento em relação a máquina a vapor de Newcomen (HOGBEN, 1952, p. 59).

A questão econômica, de diminuição de custo para se obter maior lucro, no período que antecede a 1ª Revolução Industrial permeava o desenvolvimento da máquina a vapor pela substituição da mão-de-obra escassa e cara. Além disso, a máquina a vapor tendo melhor rendimento gastava menos carvão para o mesmo trabalho realizado, aumentando o lucro dos capitalistas. Isso justifica o investimento financeiro recebido por Watt no melhoramento da máquina a vapor de Newcomen.

O cálculo do rendimento energético da máquina a vapor é considerado, por nós, um elemento tensionador para o desenvolvimento das leis termodinâmicas, principalmente para a segunda lei. A partir dos estudos sobre o rendimento que surgiram as discussões em volta da energia e o desenvolvimento de seu conceito pela Sociedade Real (HOGBEN, 1952).

A energia e o calor são nexos conceituais fundamentais da Termodinâmica. De acordo com o materialismo dialético, os conceitos consolidados se transformam em *juízos*, que servem de parâmetro para a atuação racional na formação de novos conceitos. Diante disso, podemos afirmar que a Termodinâmica tem nos conceitos de energia e de calor os seus *juízos*, para o de-

desenvolvimento *racional* das leis termodinâmicas, isto é, para o desenvolvimento do pensamento teórico nas leis da Termodinâmica.

Espera-se que o estudante de Termodinâmica entenda bem os conceitos de calor e energia, para depois desenvolver as leis da Termodinâmica, e que o professor saiba trabalhar os assuntos aqui abordados levando em consideração a intencionalidade pedagógica estabelecida por meio de uma compreensão lógico-histórica dos conceitos.

3.4 A Máquina a Vapor: Objeto Central do Desenvolvimento dos Conceitos da Termodinâmica

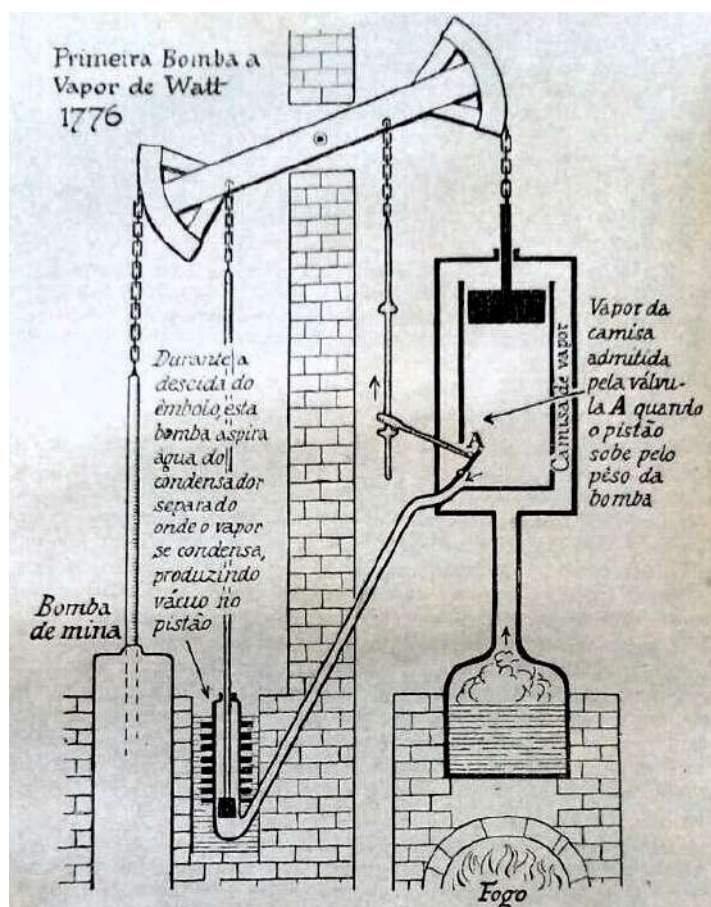
Joseph Black (1728-1799) estudou sobre a calorimetria determinando o calor específico e o calor latente da água, influenciado pela importância da máquina a vapor no início do séc. XVIII. O calor latente teve relevância para estimativas do consumo de carvão relacionado com a produção de vapor nas máquinas térmicas, pois boa parte da energia retirada do carvão vai para a transformação de estado físico da água. Black não é o primeiro a utilizar a ideia do calor como fluido imponderável e em sua época não era o único modelo aceito.

Os estudos de Black, relacionando o gasto de energia para vaporizar uma determinada massa de água (cálculo do calor latente) com o consumo de carvão, fez com que o inventor e mecânico escocês James Watt (1736-1833) pensasse em como tornar a máquina de Newcomen mais eficiente. Isso possibilitou a Watt fazer máquinas menores com a mesma potência. O desenvolvimento da máquina de Watt se deve a um avanço teórico da Termodinâmica, ainda embrionária na Escócia. O químico britânico Joseph Black financiou os primeiros experimentos de Watt.

Devemos destacar que mesmo sem ter um conceito aprofundado de calor, o estudante apenas com noções do conceito de calor, pode avançar em suas atividades de estudos para a compreensão das leis da Termodinâmica, haja vista o que ocorreu na prática relatada pela História da Termodinâmica.

Percebemos a relação sinestésica que há entre a tecnologia e a ciência, uma colaborando com o avanço da outra. Nesse momento, as portas da 1ª Revolução Industrial, os avanços eram mais tecnológicos do que científicos. Outro grande avanço que Watt faz em sua máquina a vapor foi fazer com que seu movimento oscilatório de sobe e desce se transformasse em movimento rotatório, ou seja, um avanço tecnológico empírico para atender a demanda da indústria têxtil britânica.

Figura 3.4 – Máquina de Watt



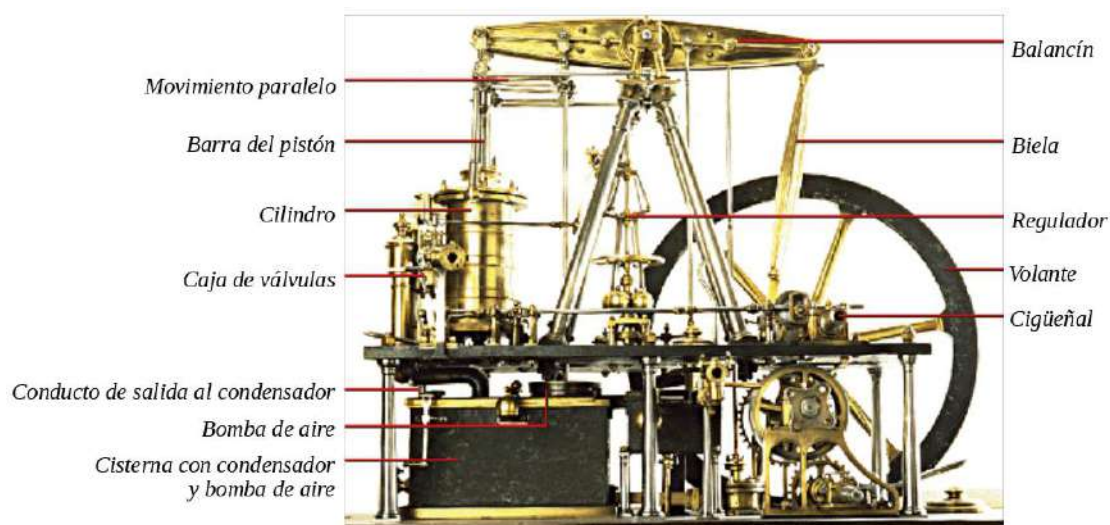
Um dos primeiros modelos da máquina de Watt (esquema)

Fonte: (HOGBEN, 1952, p. 46)

A união do inventor James Watt e o fabricante Matthew Boulton (1728-1809) revolucionou os modos de produção das indústrias britânicas. A tecnologia das máquinas a vapor chegou à produção de locomotivas (no Brasil chamadas de Maria fumaça) e de navios movidos a vapor. Vagões que antes eram movidos por cavalos, agora ganhavam uma nova fonte de energia, o vapor. Essa substituição influenciou na unidade de potência como a conhecemos hoje. A unidade de potência dos carros vem discriminada nos documentos em **cavalo-vapor (cv)**. No sistemas de medidas internacionais (SI) a unidade de medida é o Watt (W) em homenagem ao inventor escocês James Watt.

Os avanços tecnológicos e científicos precisavam de continuidade. A patente conseguida por Watt de suas máquinas a vapor rotatória, estagnou os avanços de sua máquina, mas proporcionou um maior entendimento científico sobre a ciência correlacionada a sua máquina e nas máquinas térmicas em geral. Para obter maior avanço tecnológico foi necessária uma maior

Figura 3.5 – Máquina de Boulton e Watt



Fonte: <http://www.udesantiagoovirtual.cl/moodle2/pluginfile.php?file=/55537/mod_book/chapter/190/figuras/Ch1_fig1-5.svg> visualizado em 08/02/2018

compreensão das máquinas a vapor na área científica. O entendimento do conceito de *energia* foi essencial para este avanço científico.

3.4.1 A Conservação da Energia e a Primeira Lei da Termodinâmica

As discussões sobre a *energia* começam na Grécia Antiga, com Aristóteles. Evangelista (2014, p. 129) nos diz que "na filosofia aristotélica, o movimento é definido como passagem da potência (*dynamis*) ao ato (*energheia*). A palavra grega está formada por *en* (em, dentro) e *ergon* (trabalho)."

Na Revolução Científica, em meio ao período do Renascimento, renasceram também as discussões sobre o movimento. Leibniz estudara sobre a quantidade de movimento chegando a conclusão de que nos choques elásticos há conservação da *vis viva*⁶, mas isso não é válido para as colisões inelásticas. Leibniz estava próximo de descobrir uma importante grandeza física e uma de suas propriedades, a *energia*. Mas antes, o calor também precisava ser identificado como energia e isso só ocorreria após o invento e os estudos sobre a máquina a vapor.

Outro fato importante é o princípio de conservação da massa de Lavoisier. Baseado em experimentos realizados em recipientes fechados, Lavoisier observou que as transformações

⁶ o *vis viva* significa força viva, mas Leibniz estava dando o significado de uma propriedade do corpo que se conservava nele próprio. Sabemos que a força, conceito consolidado por Isaac Newton, não é uma propriedade do corpo em movimento, mas sim uma ação nele aplicada. A ideia embrionária da *vis viva* era mais próxima do que hoje conhecemos por energia.

químicas ocorrem modificando a matéria sem que ocorra sua perda nem a perda de sua massa.

Lavoisier afirma que:

devemos considerar como um axioma incontestável que em todas as operações da arte e da natureza, nada se cria; a mesma quantidade de matéria existe antes e depois do experimento; a qualidade e a quantidade dos elementos permanece precisamente a mesma e nada ocorre que não sejam mudanças e modificações na combinação desses elementos: toda a arte de realizar experimentos químicos depende desse princípio. Devemos sempre supor uma exata igualdade entre os elementos do corpo examinado e os que resultam dos produtos de sua análise (LAVOISIER, 1774 apud EVANGELISTA, 2014, p. 134).

Um passo determinante para as leis da Termodinâmica foi a proposta do médico alemão Julius Robert von Mayer (1814-1878). Mayer diz que há um vínculo entre calor e trabalho e que ambos são uma manifestação de energia. Nesse mesmo ano (1842), Mayer chegou ao primeiro enunciado geral do Princípio da Conservação da Energia:

as energias são entidades conversíveis, mas indestrutíveis ... Em inúmeros casos, vemos que um movimento cessa sem ter produzido quer outro movimento (energia cinética) "quer o levantamento de um peso"(energia potencial), mas a energia, uma vez que existe, não pode ser aniquilada; pode somente mudar de forma, e daí surge a questão: Que outras formas pode ela assumir? Somente a experiência pode levar-nos a uma conclusão (MAYER, 1842 apud NUSSENZVEIG, 2014, p. 206).

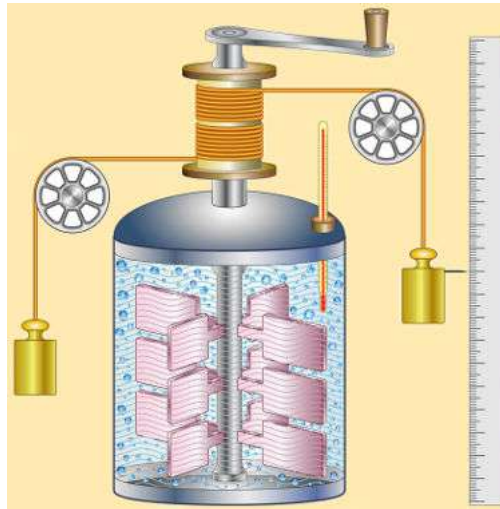
A transformação da energia na máquina a vapor é empiricamente notada, ao observar-se o calor saindo do fogo e sendo transformado em movimento dentro do cilindro na realização de trabalho.

Entretanto, a relação do calor com o trabalho precisava de uma equivalência matemática para dar mais concretude a transformação e conservação da energia. James Prescott Joule (1818-1889) mostrou, por meio de experimentos, o equivalente mecânico do calor. Joule chegou ao valor da relação da caloria com a energia de $1\text{ cal} = 4,154\text{ J}$, resultado com erro de 1% do valor aceito atualmente que é de: $1\text{ cal} = 4,186\text{ J}$.

O Princípio da Conservação da Energia ganha sua formulação mais geral pelas mãos do físico matemático e fisiologista alemão Hermann von Helmholtz (1821-1894). Ele mostrou que todos os fenômenos então conhecidos tem aplicação no Princípio da conservação de energia. Em seu livro, sobre a conservação da energia Helmholtz nos diz:

...chegamos à conclusão de que a natureza como um todo possui um estoque de energia que não pode de forma alguma ser aumentado ou reduzido; e que, por conseguinte, a quantidade de energia na natureza é tão eterna e inalterável como a quantidade de matéria. Expressa desta forma, chamei a lei geral de *Princípio da Conservação de Energia* (HELMHOLTZ, 1847 apud NUSSENZVEIG, 2014, p. 207).

Figura 3.6 – Esquema do equivalente mecânico de Joule



Fonte: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/james-prescott-joule.htm>> visualizado em 11/02/2018

Helmholtz trouxe uma importante contribuição para a 1^a Lei da Termodinâmica, pois o princípio fundamental dela é a conservação da energia e estabelece o vínculo entre calor e trabalho. Assim, podemos enunciar a 1^a Lei da seguinte forma: *O calor injetado em um sistema termodinâmico pode ser transformado em aumento da sua energia interna ou para a realização de trabalho pelo sistema. A retirada de calor do sistema termodinâmico resulta no decréscimo da energia interna ou na realização de trabalho no sistema.* A Primeira Lei da Termodinâmica no modelo matemático é descrita da seguinte forma:

$$Q = \Delta U + W$$

em que:

- Q calor absorvido pelo sistema;
- ΔU variação da Energia Interna;
- W trabalho realizado pelo sistema⁷.

A Primeira Lei descreve muito bem como uma máquina térmica opera e faz um balanço energético mostrando que a variação da energia interna depende do calor absorvido pelo sistema e do trabalho realizado. As variáveis termodinâmicas de um gás ideal, pressão (P), volume (V)

⁷ Esta expressão matemática é uma simplificação da Primeira Lei da Termodinâmica em sua forma diferencial proposta por Clausius, que é:

$$dQ = dU + dW$$

e temperatura (T) definem o estado macroscópico do sistema termodinâmico. No decorrer dos estudos dessas variáveis em sistemas termodinâmicos, os experimentos realizados fizeram com que cientistas como Clapeyron, Poisson entre outros, estabelecessem vínculos através de expressões matemáticas⁸ entre essas variáveis termodinâmicas. Os modelos matemáticos que interpretam os fenômenos termodinâmicos tiveram êxito em função da precisão das medidas das grandezas físicas.

Ao analisar o funcionamento da máquina a vapor, a fornalha fornece calor para o sistema, que gera trabalho, demonstrado pelo aumento do volume (V) no cilindro da máquina pela pressão (P) exercida pelo gás sobre o êmbolo, e aumento na energia interna (que é chamada de função de estado e depende exclusivamente da temperatura (T) do gás), demonstrado pelo aumento de temperatura (T) do gás dentro do sistema. A mesma equação atende o processo de compressão da máquina térmica.

O *Princípio da Conservação da Energia* é um marco histórico de extrema relevância para a elaboração conceitual da Primeira Lei da Termodinâmica, considerado por nós como um nexos conceitual da Termodinâmica, pois prevê as transformações de energia nos processos da natureza, respeitando a sua conservação. Na sexta tarefa da UD, começamos uma aula expositiva dialogada com as discussões sobre a natureza das energias. Classificando-as em Mecânica, Térmica e Elétrica, conforme o modelo da Física Clássica. Logo após, é negociado o entendimento do Princípio da Conservação da Energia por meio das transformações ocorridas na máquina a vapor. Dadas essas instruções, são sugeridos alguns problemas para o desenvolvimento das elaborações conceituais e do pensamento teórico dos estudantes.

3.4.2 A Deterioração da Energia e a Segunda Lei da Termodinâmica

A Primeira Lei da Termodinâmica não atende a um problema econômico e de engenharia da máquina térmica: como melhorar o seu rendimento, fazendo-a consumir menos carvão realizando o mesmo trabalho, tornando-a mais eficiente?

O rendimento das máquinas térmicas foi o objeto das atenções de Carnot, que inspirou outros cientistas, dada a necessidade da indústria de evolução nas máquinas térmicas, haja vista o feito de Watt ter se apropriado do conceito de calor latente e da teoria do calórico para desenvolver as melhorias da máquina de Newcomen.

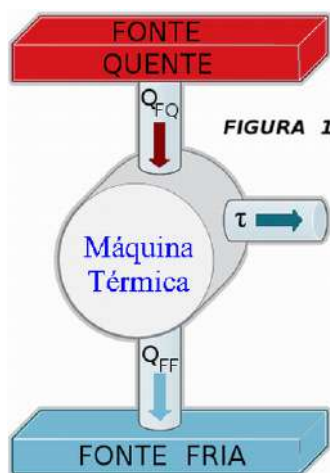
⁸ Equação de Clapeyron: $PV = nRT$;
 Lei Geral dos Gases Ideais: $\frac{P_0V_0}{T_0} = \frac{P_1V_1}{T_1}$;
 Trabalho Termodinâmico: $W = \int PdV$

Em seu livro *Reflexões sobre a potência motriz do fogo*, Carnot destaca que a teoria referente as máquinas a vapor foi até então pouco compreendida dada a sua importância. Principalmente para a Inglaterra, pois a referida máquina era fundamental nos séculos XVIII e XIX para o seu desenvolvimento econômico, nas indústrias têxteis, nas minas e em seus meios de locomoção (locomotivas e navios movidos a máquinas a vapor) (NUSSENZVEIG, 2014, p. 249).

Carnot vê a necessidade de se manter o condensador fora do cilindro, como proposto por Watt, para melhorar o rendimento da máquina térmica em seus processos cíclicos. Na prática, a máquina a vapor funciona recebendo calor da fornalha (fonte quente com temperatura constante) gerando vapor para a sua pressão pressionar o êmbolo e realizar o trabalho termodinâmico de expansão.

Todavia, para se ter um ciclo é preciso a retirada do vapor do cilindro em direção ao condensador e assim ter a compressão, retornando o êmbolo a sua posição inicial. No condensador, a energia contida no vapor pelo calor recebido inicialmente é nele retirada. Dada a abundância de água no condensador comparado ao vapor que lá chega, a temperatura do condensador continua praticamente constante (fonte fria).

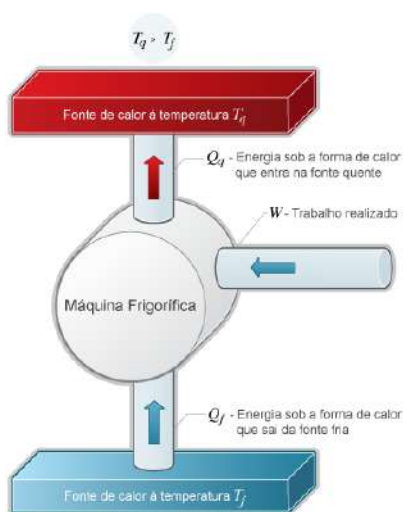
Figura 3.7 – Esquema de uma máquina térmica



Fonte: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/fichaTecnicaAula.html?pagina=espaco%2Fvisualizaraula&aula=18245&secao=espaco&requestlocale=es>> visualizado em 11/02/2018

Para uma máquina térmica, funcionando em ciclo, é impossível não rejeitar calor, pois dentro do cilindro só ocorreria a expansão. A máquina térmica necessita voltar ao seu estado inicial, e isso acontece quando ela rejeita calor. A deterioração da energia é o princípio da

Figura 3.8 – Máquina Frigorífica



Fonte: <<http://e-escola.tecnico.ulisboa.pt/topico.asp?id=576&ordem=3>> visualizado em: 14/02/2018

Segunda Lei da Termodinâmica e dos processos termodinâmicos irreversíveis, indicando a linha do tempo para os processos termodinâmicos que tem os seguintes enunciados⁹:

- **Enunciado de Clausius**

"É impossível realizar um processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente."

- **Enunciado de Clausius (Refrigerador)**

"É impossível que um refrigerador, operando em ciclo, provoque exclusivamente o efeito de transferir energia térmica de um corpo frio para um corpo mais quente."

- **Enunciado de Kelvin**

"É impossível remover energia térmica de um sistema a uma temperatura constante e converter esta energia em trabalho mecânico sem provocar uma outra alteração no sistema ou nas vizinhanças do sistema".

- **Enunciado de Kelvin-Clausius (máquina térmica)**

"É impossível que uma máquina térmica, operando em ciclo, remova calor do reservatório quente e o converta completamente em trabalho sem provocar outros efeitos".

- **Enunciado da Entropia**

⁹ Enunciados de domínio público retirados de: (PÁDUA; PÁDUA; SILVA, 2009, p. 104)

"Em qualquer processo, a entropia do universo (isto é, do sistema mais as suas vizinhanças) não diminui: não é afetada por processos reversíveis e cresce em processos irreversíveis".

A deterioração da energia para o movimento cíclico da máquina a vapor e o seu rendimento são elementos tensionadores históricos para o desenvolvimento da segunda lei da Termodinâmica, tendo como objeto central a máquina a vapor. A determinação natural da direção do fluxo de calor da fonte quente para a fonte fria, destaca o calor e a temperatura como os nexos conceituais da referida lei. Antes de se trabalhar os conteúdos das leis da Termodinâmica recomenda-se que os estudantes tenham uma boa noção dos conceitos de temperatura, calor, trabalho e energia térmica.

3.4.3 Calor, Temperatura e Energia Térmica

As definições dos conceitos que formam os nexos conceituais da Termodinâmica tem como base o modelo atômico. Porém, a compreensão da natureza do calor se faz imprescindível. No período em que se enunciaram as leis termodinâmicas, o conceito do calor foi consolidado como energia após vários experimentos do cientista amador americano Conde de Rumford¹⁰ (1753-1814).

Em 1798, Rumford observou que as perfurações produzidas em canhões do arsenal militar de Munique produziam um alto grau de aquecimento e chegava a temperaturas acima do ponto de ebulição da água. Isso fez com que Rumford pensasse sobre a natureza do calor e a teoria do calórico. Ele percebeu que o atrito entre dois metais era uma fonte inesgotável de calor e por isso não poderia ser um fluido que teria uma certa limitação dentro dos corpos, como propunha a teoria do calórico. Então ele concluiu que "... o calor não passa de (energia) um movimento vibratório que tem lugar entre as partículas de um corpo"(RUMFORD, 1798 apud NUSSENZVEIG, 2014, p. 206).

Quando se determinou o Princípio da Conservação da Energia, por Helmholtz em 1847, padronizou-se o calor como uma forma de energia, ou seja, a ideia de calor como energia e a Primeira Lei da Termodinâmica tiveram os 'nascimentos' concomitantes. Entretanto, após os avanços da Termodinâmica e seu tratamento estatístico (transformando-se em Mecânica Estatística com as contribuições da Teoria Cinética dos Gases), mostraram que Helmholtz determinou

¹⁰ Nome de nascimento Benjamin Thompson

como energia não o calor, e sim a *Energia Térmica*. O que nos leva a pensar nisso são as definições dos conceitos de calor, energia térmica e temperatura encontrados nos livros didáticos de Física.

- **Calor:**

É a Energia Térmica em trânsito entre dois corpos, ou de uma parte de um corpo para o outro extremo, devida a diferença de temperatura entre eles.

- **Energia Térmica:**

*É a soma da energia de agitação de todas as partículas de um corpo ou sistema, alguns cientistas preferem usar o termo **energia interna**.*

- **Temperatura:**

Está relacionada com a agitação das moléculas ou dos átomos de uma substância.

Mesmo não se tendo, nos séc. XVIII e XIX, um conceito de calor, energia térmica e temperatura como temos hoje, as leis da Termodinâmica avançaram e são referidas por muitos cientistas como bem estabelecidas e imutáveis. Os conceitos relacionados a Termodinâmica tiveram o seu desenvolvimento ao redor das máquinas a vapor, pela importância econômica das máquinas neste período. Posteriormente, os engenheiros e cientistas passaram da combustão externa das máquinas para a combustão interna, usados atualmente em motores automotivos e geradores elétricos. Mesmo assim as Leis da Termodinâmica não precisaram de ajustes para o entendimento dessas novas máquinas.

3.5 Os Nexos Conceituais da Termodinâmica em uma Unidade Didática

Vimos nos marcos da Termodinâmica que os avanços científicos surgiram para se ter maior entendimento (ciência) das máquinas térmicas e propiciar o seu desenvolvimento tecnológico. Exemplo prático disso foi Watt que, ao ter maior entendimento do conceito de calor, mesmo com um modelo de calor que hoje não é aceito pela comunidade científica, fez avanços nas máquinas a vapor de Newcomen, melhorando o seu rendimento. A busca por maior rendimento e melhor compreensão sobre o funcionamento das máquinas a vapor fez com que os cientistas investigassem as propriedades da Termodinâmica, fazendo com que os conceitos correlatos na Termodinâmica tivessem maior estruturação e conexão.

Os conceitos de calor, temperatura e energia térmica são basilares para a Termodinâmica. Historicamente, o fogo deu início aos conceitos de calor e temperatura de maneira não teórica, em seu formato mais empírico. Sabia-se que o fogo servia para cozinhar, forjar instrumentos para a agricultura e para a guerra. Com a Revolução Científica e a utilização das máquinas a vapor para a retirada de água nas minas inundadas no final do séc. XVII e durante os séc. XVIII e XIX, o conceito de calor se tornou essencial para o desenvolvimento de outros conceitos da Termodinâmica.

A máquina a vapor, no séc. XVIII, torna-se o objeto central para o desenvolvimento dos conceitos da Termodinâmica. Em um primeiro momento há a necessidade de se compreender empiricamente o mecanismo de funcionamento da máquina a vapor. Após esse conhecimento empírico é preciso um aprofundamento no entendimento das máquinas a vapor. No entanto, é fundamental o desenvolvimento e a formação de novos conceitos.

Se observarmos apenas o contato da fornalha com a caldeira, há uma transmissão de calor daquela para essa. Inicialmente a água é aquecida e depois que chega ao ponto de ebulição o calor recebido pela caldeira serve para transformar a água líquida em vapor d'água. O vapor acumulado tem energia suficiente para exercer pressão sobre o êmbolo, realizando trabalho para a retirada de uma quantidade específica de água.

As bombas d'água, conectadas a máquina a vapor, bombeiam mediante um movimento oscilatório de sobe e desce, por isso era importante que o êmbolo descesse. Para isso, a máquina a vapor necessita retirar o vapor de dentro do cilindro. Essa retirada de vapor, representa também a extração de energia, ou rejeição de calor, de dentro do cilindro. A volta do êmbolo a posição inicial, faz com que o ciclo também retorne ao ponto de partida.

Mesmo em uma análise superficial do funcionamento da máquina a vapor, em que se usa muitos elementos empíricos, para se ter clareza na explicação da atividade da máquina a vapor é necessária uma socialização dos conceitos de calor e energia. No séc. XVIII dentro da sociedade científica britânica, a Royal Society, passa a ser discutido e desenvolvido o conceito de energia e calor, tendo como objeto a máquina a vapor em atividade.

Acreditamos que o processo de ensino-aprendizagem pode seguir a mesma lógica apresentada nos marcos da Termodinâmica. Antes de se ensinar os conceitos, mostra-se o objeto em atividade, no nosso caso específico a máquina a vapor, podendo ser a panela de pressão de Papin ou a máquina de Newcomen. Os estudantes conhecem empiricamente as máquinas tér-

micas embutidas em automóveis, dependendo do interesse do estudante podendo ser em maior ou menor grau, porém com pouco aprofundamento teórico.

Uma vez que os estudantes entendam o mecanismo da máquina a vapor, mesmo que superficialmente, em uma próxima etapa é importante que os estudantes aprendam os conceitos de calor e temperatura, por serem fundamentais para o entendimento das leis da Termodinâmica. Entretanto, é importante que se construa o significado de calor e temperatura, desenvolvendo um conjunto de ações a serem trabalhados com os estudantes. Uma vez esses significados construídos, eles facilmente serão desenvolvidos na atividade do pensamento os conceitos, síntese de interpretação objetiva dos significados.

Depois da identificação do objeto central, as primeiras ações e atividades de estudos são de natureza empírica. A atividade experimental faz com que os estudantes adquiram sensorialmente dados sobre o conteúdo do objeto. Por se tratar dos conceitos de calor e temperatura, o experimento mais adequado é aquele que sensibilize o tato. Por isso, utilizamos o experimento da bacia de Locker, que consiste em três recipientes com água em temperaturas diferentes, quente, morna (temperatura próxima a do corpo) e fria. A ideia é que os estudantes entrem em contato com a água dos três baldes. Primeiro com o balde de água morna, para não notarem tanta diferença em colocar a mão nesse balde, por não ter quase nenhuma transferência de calor. Ao colocar as mãos nos baldes em que a diferença de temperatura entre a mão e a água é maior e suportável, os estudantes percebem que ocorre a transferência de alguma coisa de um lugar para o outro, basta saber se é o calor ou a temperatura que são transferidos de um lugar para o outro.

Observamos a importância da atividade prática (experimento) para se introduzir informações ao sujeito, pois possibilita a necessidade da criação das imagens na mente humana e essas são ajuizadas no pensamento. O contato direto do homem com o objeto cria impulsos nervosos nos sensores do corpo humano levados a mente, onde as imagens são geradas e lá o objeto é caracterizado por alguma de suas propriedades apreendidas. Cria-se então um juízo, como por exemplo um sujeito que coloque a mão num balde de água que esteja com 10°C acima da temperatura corpórea cria um *juízo* de que 'a água está quente'. Isso cria a possibilidade do estudante *pensar* que essa não é a temperatura ambiente da água e *deduzir* que se a água está quente é porque ela foi aquecida, mas não resolve o problema que há da confusão entre o que entende como calor e temperatura, é preciso se aprofundar para estabelecer essa diferença.

Para isso, voltamos ao nosso objeto central, a máquina a vapor. Da máquina a vapor é abstraída a fornalha e a caldeira. Ao observar a interação entre ambas, espera-se estabelecer a diferença entre os conceitos de calor e temperatura. Portanto, propomos um experimento simples. Ao invés da caldeira utilizamos um balde com água. Para simular a ação da fornalha, a substituímos por um ebulidor e colocamos um termômetro na água para monitorar a sua temperatura. A intenção do experimento é criar um conflito entre as concepções dos estudantes que confundem os conceitos de calor e temperatura, e o conflito que o experimento traz, pois quando a água entra em ebulição a temperatura permanece constante mesmo recebendo energia térmica pelo ebulidor da rede elétrica, ou seja o calor continua sendo transferido para a água mesmo ela com temperatura constante.

Os juízos conflitantes, construídos pelas imagens cognitivas extraídas do segundo experimento, são determinantes para a distinção entre os conceitos de calor e temperatura, pois se o ebulidor supostamente transmite temperatura para a água, não faz sentido a temperatura da água permanecer constante com o ebulidor ligado liberando energia. A energia gasta na água recebida pelo ebulidor muda o estado físico da água, que se transforma em vapor. O entendimento de Black que o vapor continha calor¹¹, foi um suporte teórico para Watt fazer melhorias significativas na máquina a vapor de Newcomen.

Normalmente os livros didáticos dão informações que podem ser obtidas nas observações experimentais e conceitos apresentados sem a ação de desenvolvimento do estudante. A atividade prática por meio do experimento é mais rica, pois o estudante vivencia o fenômeno e dele extrai as informações sobre o objeto, ao contrário do livro. No entanto, as informações do livro didático tem papel mediador importante, para a consolidação das informações observadas no experimento. Com isso, fica a impressão no estudante de que outros compartilham das mesmas conclusões e é construído um significado social, sempre respeitando o processo de desenvolvimento individual.

No primeiro momento, requer-se do estudante relatos de sua vivência com os conceitos da Termodinâmica, orientados apenas por suas percepções. Em um segundo momento, são trazidos novos elementos sem a exigência de pensamentos profundos por parte do estudante. Nesse momento, explora-se o pensamento empírico. Ocorre apenas a descrição do fenômeno sem fundamentos teóricos, só conexões entre um caso e outro, mas pouca produção teórica. Entretanto, para a formação dos conceitos essa etapa é importante, segundo Kopnin (1978) na

¹¹ De acordo com a teoria do calórico os objetos continham um substância imponderável chamada calórico.

formação de conceitos "são de grande importância o *experimento*, a *simplificação teórica*, e outras operações do pensamento. [...]todo o acervo do pensamento lógico está subordinado à tarefa de formação dos conceitos. Cabe à *análise* e à *síntese* importante posição nesse processo"(p. 209).

Já os experimentos na atividade prática, de caráter empírico, fazem com que os indivíduos formem novos juízos. O professor propõe problemas nesse momento para a organização e interpretação dos juízos. Os problemas devem ser discutidos e socializados dentro de um grupo de estudantes. Com isso, os juízos individuais também são socializados e mediados pela percepção do outro e o conjunto de juízos desenvolvidos pelo grupo transforma-se em conceitos, dentro desse mecanismo. O mecanismo descrito é a Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI). A intenção de se criar uma ZDI é a potencialização do pensamento teórico em prol do desenvolvimento dos estudantes. O desenvolvimento esperado para os estudantes é o conhecimento dos conceitos de calor, temperatura e energia térmica.

Vencida essa etapa, uma base importante é formada para a exploração da Termodinâmica. A Termodinâmica é o objeto a ser estruturado pelos seus conceitos. O objeto (Termodinâmica) internamente possui uma estrutura formada por conceitos inter-relacionados, mas há uma hierarquia entre os conceitos. Calor, temperatura e energia térmica são nexos conceituais das leis da Termodinâmica. Segundo Kopnin (1978, p. 209):

muitos conceitos novos se formam também à base dos conceitos anteriores. [...] cada novo conceito não é uma simples totalidade, um crescimento quantitativo, a repetição e multiplicação dos dados dos sentidos, mas o contínuo desenvolvimento desses dados, desenvolvimento que compreende a transformação em nova qualidade.

As leis da Termodinâmica surgem com o amadurecimento dos conceitos de calor, energia térmica, temperatura e trabalho. A 1ª Lei da Termodinâmica é inicialmente fundamentada pelo princípio da conservação da energia. Mas isso se sustenta com uma noção de energia e suas transformações, ou seja, os conceitos que dão base para o entendimento da 1ª Lei da Termodinâmica, são calor, trabalho e energia térmica do sistema (Energia Interna) e o poder de transformação da energia em uma natureza diferente da originária. Esses conceitos formam os nexos da 1ª Lei da Termodinâmica.

Entretanto, a atividade prática é critério para a veracidade da dedução feita sobre a 1ª Lei da Termodinâmica. Se separarmos, da máquina a vapor, as ações no seu cilindro, observamos o movimento de sobe e desce do êmbolo. Esse movimento oscilatório é necessário para bombear a água da mina. No processo de expansão do êmbolo o cilindro recebe calor por meio

do vapor e assim é realizado trabalho. Todavia, o êmbolo precisa descer, então o vapor é retirado de dentro do cilindro e com ele também é rejeitado o calor, fazendo com que a pressão atmosférica empurre o êmbolo para baixo, realizando o trabalho sobre o êmbolo, que volta a sua posição inicial, iniciando-se o ciclo da máquina. Outro experimento importante é o Equivalente Mecânico do Calor, realizado por Joule, demonstrando que a realização de trabalho sobre um sistema gera calor, numa clara demonstração de que o trabalho mecânico pode ser transformado em calor mantendo o princípio da conservação da energia. O processo de expansão e de compressão também respeita o princípio de conservação na máquina a vapor, já demonstrada em seção anterior.

As tarefas referentes a 1ª Lei da Termodinâmica tem a intenção de orientar os estudantes a sua dedução, partindo de observações da atividade do cilindro de expansão e compressão, tendo como base os conceitos de calor, energia térmica e trabalho. Nessas tarefas planejamos situações particulares, que exigem imaginação razoável dos estudantes, dentro de um contexto acessível, a saber os processos Termodinâmicos isovolumétrico, adiabático e isotérmico. Substituímos o vapor d'água por um gás e fizemos perguntas referentes a entrada de energia no sistema e realização de trabalho. Ao final o estudante teria elementos suficientes para a dedução da 1ª Lei da Termodinâmica, o que não quer dizer necessariamente que ele chegaria a essa dedução. Todo esse processo passa pela ZDI, em que a mediação pode prover o desenvolvimento, no sentido de terem sido criadas as condições efetivas para isso, mas o desenvolvimento pode não ocorrer de imediato.

O estudo de pontos particulares dos processos Termodinâmicos potencializam a aparição das sensações, percepções e noções dos estudantes, fruto da vivência nas tarefas com os conteúdos anteriores. O movimento que se espera dos estudantes é a acensão do abstrato ao concreto em busca da compreensão da essência das leis da Termodinâmica. A nossa intenção nas tarefas referentes a 1ª lei é potencializar o pensamento teórico nos estudantes. Segundo Kopnin (1978, p. 209) o pensamento teórico "reflete o objeto no aspecto das relações internas e leis do movimento deste, cognoscíveis por meio da elaboração racional dos dados do conhecimento empírico. Sua forma lógica é constituída pelo sistema de abstrações que explica o objeto".

Nesse sentido, a tarefa referente a 2ª Lei da Termodinâmica tem ações que promovem e possibilitam o desenvolvimento do pensamento teórico nos estudantes. Primeiro, questiona a validade do Princípio da Conservação da Energia, fazendo com que o estudante faça um

experimento mental. O questionamento traz uma possibilidade contrária ao que facilmente se observa, mas que não fere o Princípio da Conservação da Energia. O estudante é então questionado: *se uma lata com refrigerante gelado for colocada em cima de uma chapa quente, de acordo com o Princípio de Conservação da Energia, é possível o refrigerante ficar cada vez mais gelado e a chapa cada vez mais quente?* A vivência dos estudantes faria com que os estudantes respondessem que isso não é possível, mas o papel do professor é insistir e provar por meio da 1ª Lei da Termodinâmica que a situação questionada aos estudantes é possível.

O professor deve mostrar explicitamente a luta dos contrários presente na dialética materialista, ao argumentar solidamente sobre a possibilidade do calor fluir do corpo mais frio para o corpo mais quente, sem que fira o Princípio da Conservação da Energia. Uma vez os estudantes convencidos, mesmo sabendo que essa situação na natureza não é observável, o professor deve voltar a tese dos estudantes questionando-os: "a situação anterior é observável na natureza?" A resposta esperada pelos estudantes é a negativa e deve ser validada de imediato pelo professor. Entretanto, os estudantes estão perante dois juízos conflitantes, um problema que precisa ser solucionado, a tese e a antítese são válidas e há a necessidade de se fazer uma síntese. Ora, *"o calor flui naturalmente do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, o contrário só é possível se for realizado trabalho para isso"*.

As ações nas atividades de estudo e de ensino potencializam o pensamento teórico dos estudantes. O questionamento feito de uma particularidade não abrangida pela 1ª Lei da Termodinâmica e o debate proposto com os estudantes, potencializam a ascensão do abstrato ao concreto dado no pensamento teórico pelo estudante.

A síntese do enunciado da 2ª Lei da Termodinâmica não deve ser imposta aos estudantes. Pelo contrário, o professor deve possibilitar o surgimento dessa lei entre os estudantes, que antes devem pensar teoricamente para solucionar o problema proposto pelo professor de maneira conflituosa, uma verdadeira luta dos contrários. A 1ª Lei da Termodinâmica e o calor foram os nexos conceituais que deram o suporte para o surgimento da 2ª Lei da Termodinâmica. Sem ambos seria impossível todo o desenvolvimento proposto nas tarefas e o seu próprio desenvolvimento histórico. Segundo Davidov (1988) se realiza de duas formas fundamentais:

- 1) pela análise dos dados reais e sua generalização separa-se a abstração substantiva, que estabelece a essência do objeto concreto estudado e que se expressa no conceito de sua abstração inicial; 2) depois, pelo caminho da revelação na abstração inicial e da determinação do procedimento para sua solução prática, segue a ascensão a partir da essência abstrata e da relação universal não desmembrada, até a unidade dos aspectos diversos do todo em desenvolvimento, ao concreto.

Contudo, a prática é o parâmetro da verdade, então voltemos as atenções ao nosso objeto central, a máquina a vapor. O calor flui da fornalha para a caldeira, onde é transferido para o vapor, que realiza trabalho elevando o êmbolo. O calor flui para um ambiente de menor temperatura, o condensador, onde a energia contida no vapor é deteriorada, mas que é essencial para o êmbolo descer para a retomada do ciclo. Os refrigeradores funcionam retirando calor da fonte fria e a depositando na fonte quente, mas como isso é o movimento anti-natural é necessário a realização de trabalho, realizado pelo compressor da geladeira, para esse movimento ser possível. Toda máquina térmica possui uma fonte quente e uma fonte fria, as fontes são caracterizadas por ceder ou receber calor mantendo a temperatura constante.

A 1^a Lei da Termodinâmica tem como princípio fundamental a conservação da energia, já a 2^a Lei da Termodinâmica tem a deterioração da energia como princípio fundamental. O calor e a energia são conceitos basilares da Termodinâmica e por isso são considerados como nexos conceituais da Termodinâmica. São conceitos que estão interligados, entre si e com outros conceitos, e formam a base para o surgimento de novos conceitos da Termodinâmica.

Para finalizar os estudos referentes as Leis da Termodinâmica devemos destacar o cálculo do rendimento das máquinas térmicas, pois historicamente foi o objeto dos cientistas e engenheiros na investigação para as melhorias na máquina a vapor, de como a máquina a vapor poderia render mais com menor consumo de energia. O conceito de rendimento possui fácil compreensão, a grande questão é entender a energia, suas transformações e os seus desdobramentos.

A metodologia proposta por nós para o estudo da Termodinâmica tem a finalidade de organizar em etapas o ensino, favorecendo a acensão do abstrato ao concreto no pensamento teórico, que surge depois do desenvolvimento do pensamento empírico. Para tanto, é usado o construto teórico lógico-histórico para se identificar os *nexos conceituais*, orientadores da atividade ensino e de estudos, isto é, os conceitos nucleares (Energia e calor) da atividade. A partir desses conceitos, propomos problemas para a formação de novos conceitos, com a finalidade de os estudantes constituírem uma consciência consistente a respeito da Termodinâmica.

4 METODOLOGIA DE PESQUISA

A presente pesquisa é de natureza qualitativa e tem como objeto de estudo o desenvolvimento do pensamento, partindo do pensamento empírico e avançando para o pensamento teórico dos conceitos da Termodinâmica pelos estudantes mediante a mediação e intervenção pedagógica realizada em atividades de ensino e atividades de aprendizagem.

Aqui faremos uma investigação qualitativa de uma estratégia metodológica de ensino que teve a intenção de proporcionar aos estudantes o desenvolvimento de um pensamento teórico dos conceitos de Termodinâmica. A intencionalidade em nossa intervenção pedagógica teve como aporte teórico a teoria histórico-Cultural, a teoria da Atividade e a teoria do Ensino Desenvolvimental.

Por ser qualitativa, a nossa investigação reúne diversas estratégias com determinadas características. Os documentos gerados no desenvolvimento da pesquisa são devidamente organizados no chamado *corpus* da pesquisa. O *corpus*¹ construído na intervenção, é considerado de natureza qualitativa, "o que significa ser ricos em pormenores descritivos relativamente a pessoas, locais e conversas. As questões a investigar não se estabelecem mediante a operacionalização de variáveis, sendo, outrossim, formuladas com o objetivo de investigar os fenômenos em toda a sua complexidade e em contexto natural"(BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 16).

A nossa escolha, quanto ao tipo de análise qualitativa, foi pela *Análise Textual Discursiva* (MORAES, 2003). Com essa orientação de investigação, a presente pesquisa possui três características essenciais, são elas:

1. A fonte direta para a construção do *corpus* da análise é o ambiente natural da sala de aula, constituindo os sujeitos da pesquisa e suas elaborações textuais como sua principal fonte e o professor com seu diário de campo.
2. É de natureza descritiva e interpretativa.
3. O interesse do investigador é mais pelo processo da investigação do que pelo produto ou resultado, ou seja, o resultado por nós investigado é o processo de desenvolvimento do pensamento dos estudantes. (BOGDAN; BIKLEN, 1994)

A presente investigação se desenvolveu dentro do ambiente de trabalho do professor/-pesquisador, em sua sala de aula. Por meio de suas percepções, juntamente com material produ-

¹ Expressão utilizada por (BARDIN, 1977) no lugar de dados da pesquisa, uma vez que os documentos de pesquisa são construídos e não dados.

zido pelos estudantes e por gravações em áudio durante as aulas, foram detectadas a formação de pensamentos e ideias dos estudantes, formando assim o *corpus* analisado pelo próprio professor/investigador.

Com isso, podemos observar que a intenção da investigação foi analisar como o pensamento teórico é desenvolvido pelos estudantes. Esse processo de desenvolvimento é o resultado esperado pelo pesquisador.

Após o término do desenvolvimento da Unidade Didática (UD), o professor/investigador fez uma triangulação dos dados obtidos e assim fez a análise textual discursiva da produção textual dos estudantes, das gravações das aulas e do diário de campo do professor, para detectar elementos conclusivos de que os estudantes desenvolveram o pensamento teórico, fazendo relações entre os conceitos desenvolvidos durante a intervenção pedagógica.

4.1 Apresentação e desenvolvimento do produto educacional a ser investigado

A pesquisa foi desenvolvida no Instituto Federal de Ciência e Tecnologia em Minas Gerais, com uma turma de 3º ano do Curso Técnico Integrado de Manutenção Mecânica, no 1º Trimestre no ano de 2017. As ações dos estudantes foram documentadas durante o desenvolvimento da Unidade Didática (UD) [Produto Educacional], com atividades e gravações das aulas.

No início do 1º Trimestre o conteúdo trabalhado, antes do desenvolvimento da UD proposta por este projeto, foi o de Hidrostática com ênfase do conceito de pressão hidrostática. A partir disso foi utilizada a mesma abordagem a ser trabalhada na UD, ou seja, a mesma perspectiva teórica adotada para a elaboração e desenvolvimento do produto educacional. A intenção aqui foi fazer com que o estudante se acostumassem com o formato de desenvolvimento das aulas, uma vez que o conhecimento é construído por tarefas executadas por eles com a mediação do professor e depois sistematizado.

A UD foi elaborada, em um sistema de atividades, ancorada na perspectiva lógico-histórica para o desenvolvimento do pensamento teórico dos estudantes a partir de dados concretos, por meio da experiência acumulada pelos estudantes, atividades em contextos bem definidos e por conceitos científicos já consolidados pelos estudantes, construídos no desenvolver da própria Unidade.

Orientados por nosso referencial teórico, as atividades propostas em nossa UD possuem caráter colaborativo, trabalhadas em grupo. Os grupos foram formados por quatro estudantes, podendo um ou outro ser composto por cinco estudantes.

Nesta pesquisa trabalhamos com um Produto Educacional, que é uma UD constituída por 7 tarefas, onde foram desenvolvidos com os estudantes os conteúdos relacionados as Máquinas Térmicas e as Leis da Termodinâmica. Para isso, usamos como embasamento metodológico a Teoria da Atividade, constituída em Atividades de Estudos, designadas aos estudantes e Atividades de Ensino atribuídos ao professor.

Tabela 4.1 – Tarefas I, II e III.

Tarefa	Objetivo Geral	Conteúdo	Metodologia	Recursos Didáticos / N ^o de aulas
I. O fogo e a sua importância na sociedade	Organizar os conhecimentos aprendidos, em outras disciplinas ou por meio da cultura, dos conteúdos de Termodinâmica relacionados ao fogo.	<ul style="list-style-type: none"> • Calor; • Temperatura; • Energia; • Trabalho. 	Propor uma tarefa de produção textual para os estudantes com a resposta a pergunta ‘o que é o fogo?’ Orientar os estudantes a escreverem sobre a experiência da humanidade com o passar das Eras até o momento da invenção da Máquina a Vapor.	<ul style="list-style-type: none"> • Papel e Caneta; • 2 aulas
II. A Panela de Pressão - Análise de Vídeos.	Captar os efeitos da panela de pressão observados nos vídeos exibidos para a turma, relacionando a temperatura com a pressão e o poder da pressão, discutindo as ideias no grupo.	<ul style="list-style-type: none"> • Calor; • Temperatura; • Energia Térmica; • Vaporização; • Pressão; • Trabalho. 	A aula é iniciada com a apresentação de um vídeo mostrando o uso e os problemas do mal-uso de uma panela de pressão; logo após os estudantes respondem como a panela de pressão funciona.	<ul style="list-style-type: none"> • Computador; • Datashow; • Caixa de Som; • Papel e caneta; • 1 aula.
III. Máquinas a Vapor - Análise de GIF e Figuras	Explicar o funcionamento das máquinas a vapor de Newcomen e de Watt, analisando o GIF apresentado em sala de aula.	<ul style="list-style-type: none"> • Calor; • Vaporização; • Pressão; • Trabalho. 	Inicia-se a tarefa mostrando, por meio de um GIF na projeção de imagens, o funcionamento da máquina a vapor de Newcomen. Os estudantes são orientados a fazer uma interpretação de duas figuras de máquinas a vapor, identificando como funciona cada uma.	<ul style="list-style-type: none"> • Figuras; • Papel e caneta; • 1 aula.

A metodologia adotada nas atividades tem a intenção que os estudantes se desenvolvam a partir de pequenas instruções, e de questões que eles devem responder de acordo com suas experiências individuais e sociais. De acordo com o desenvolvimento dos estudantes e ao final de um determinado bloco de atividades é feita uma sistematização dos conteúdos trabalhados. As atividades I, II e III conforme apresentada na Tabela 4.1 formam um bloco que tem por objetivo específico desenvolver o pensamento empírico dos estudantes, colocando-os para pensar em como surgiu e sob quais condições foram inventadas as máquinas a vapor de Thomas Newcomen e de James Watt, além de explicarem como essas máquinas funcionam, com a utilização de conceitos espontâneos. Após essas três tarefas foi feita uma sistematização de tudo o que foi trabalhado neste bloco por meio de uma aula expositiva dialogada. Depois os estudantes escreveram de maneira individual sobre o funcionamento das duas máquinas.

Tabela 4.2 – Tarefas IV e V.

Tarefas	Objetivo Geral	Conteúdo	Metodologia	Recursos Didáticos / N° de aulas
IV - Atividades Experimentais - Energia Térmica, Temperatura e Calor.	Enunciar e diferenciar os conceitos de Energia Térmica, Calor e Temperatura.	<ul style="list-style-type: none"> • Calor; • Temperatura; • Energia Térmica; • Lei Zero da Termodinâmica 	A aula é composta por dois experimentos: 1. Bacia de Locker; 2. A evaporação da água com controle da temperatura. Após o experimento os estudantes apresentam os resultados obtidos e discutem com o aporte teórico no livro texto a diferença entre as três grandezas físicas em questão.	<ul style="list-style-type: none"> • 7 baldes; • 1 Ebulidor; • 1 termômetro; • 1 cronômetro; • Gelo; • Água; • 1 aula.
V - Simulação - Modelo Atômico estruturante para o significado dos conceitos da Termodinâmica.	Construir Significados dos conceitos de calor, temperatura e energia térmica, observando e analisando as simulações.	<ul style="list-style-type: none"> • Calor; • Energia Térmica; • Temperatura. 	Uso do laboratório de informática, com um roteiro de aula para a realização das simulações em < https://phet.colorado.edu/pt_BR/simulation/states-of-matter-basics >.	<ul style="list-style-type: none"> • Papel e caneta; • Computadores; • 1 aula.

Já nas tarefas IV e V os estudantes tiveram uma aula experimental e outra aula com um simulador. Na aula experimental os estudantes tiveram contato com os experimentos e depois descreveram o que ocorreu tentando explicar teoricamente. Nesses experimentos não havia

um roteiro que eles deveriam seguir e simplesmente relatar as observações, tentando encaixar em cima daquilo que lhes foi ensinado, pois eles estavam construindo este conhecimento. As questões propostas os ajudaram a pensar em uma explicação coerente. O mesmo foi feito na tarefa V, a partir do contato com uma simulação que carrega consigo um modelo atômico para auxílio explicativo dos conceitos de calor, temperatura, energia térmica e trabalho. Após essas aulas foi feita uma nova sistematização com uma aula expositiva e depois os estudantes em grupo responde a questões relacionadas aos conceitos sobre calor, temperatura, energia térmica, trabalho e os prepara para o estudo da energia, sua conservação e sua degradação.

Nas tarefas VI e VII os estudantes fizeram um estudo orientado. Na tarefa VI foram passadas algumas questões para os grupos sobre alguns processos termodinâmicos e ao final desta atividade foi pedido a eles que demonstrassem o modelo matemático da 1ª Lei da Termodinâmica. Na tarefa VII, em sua primeira parte, voltou-se a trabalhar a 1ª lei da Termodinâmica, retomada aqui para ser melhor analisada pelos estudantes. Na segunda parte da tarefa VII, foi feito um experimento mental, mostrando a insuficiência da 1ª Lei da Termodinâmica em apontar a direção do fluxo de calor. Criou-se então a necessidade de enunciar uma outra lei, ou seja, a 2ª Lei da Termodinâmica. Ainda na tarefa VII, em sua terceira parte, foi feito um estudo sobre entropia e então pediu-se aos grupos que refizessem toda a trajetória de estudos e sistematizassem tudo o que foi trabalhados nesta UD, agora fazendo aplicações da 1ª e 2ª Lei da Termodinâmica.

A apresentação de um seminário foi a finalização da UD. Nesse momento, os estudantes prepararam um seminário sistematizando todo o desenvolvimento dos conceitos da Termodinâmica trabalhados na UD. Os estudantes desenvolveram os assuntos trabalhados em uma linha lógica, mostrando a gênese do conceito, o contexto nos quais surgiram e as necessidades humanas que foram supridas no período determinado. Os estudantes mostraram também a evolução dos modelos explicativos até chegar as Leis da Termodinâmica com seus respectivos enunciados.

Tabela 4.3 – Tarefas VI e VII.

Tarefas	Objetivo Geral	Conteúdo	Metodologia	Recursos Didáticos / N ^o de aulas
VI - 1 ^a Lei da Termodinâmica	Entender o conceito de trabalho e sua relação com a pressão do vapor em uma máquina a vapor. Entender a 1 ^a lei da Termodinâmica, estruturando-a por seus nexos conceituais e o Princípio de Conservação de Energia.	<ul style="list-style-type: none"> • Trabalho Termodinâmico; • Transformações Termodinâmicas; • Pressão Atmosférica; • 1^a lei da Termodinâmica; • Conservação da Energia. 	Aula expositiva dialogada, discutindo com os estudantes sobre as formas de energia e a sua conservação. Em um segundo momento, discussão nos grupos sobre situações específicas (abstratas) de uma máquina térmica, reduzida a um cilindro de gás com êmbolo móvel.	<ul style="list-style-type: none"> • Caneta e Papel; • 2 aulas
VII - A 2 ^a Lei da Termodinâmica	Analisar os dados de um experimento mental em que o juízo é a 1 ^a lei da Termodinâmica, identificando a necessidade de se enunciar uma nova lei. Enunciar a 2 ^a Lei da Termodinâmica, tomando como base a atividade prática e conflito gerado no experimento mental.	<ul style="list-style-type: none"> • 2^a Lei da Termodinâmica; • Entropia; • Calor; • Fonte Quente e Fonte Fria. 	Experimento Mental	<ul style="list-style-type: none"> • Papel e caneta; • 2 aulas.

4.2 A produção da documentação da pesquisa

Em sala de aula o professor/investigador utilizou instrumentos para a captação de dados e os escolhidos para esta pesquisa foram: um gravador de voz para cada grupo, o diário de campo do professor e os registros das atividades realizadas por cada grupo.

Foi utilizado nos grupos um gravador de voz para a captação dos discursos no desenvolvimento das atividades. No momento da gravação em sala de aula os estudantes se comportaram

com naturalidade, em alguns momentos nem notavam que a atividade era gravada. O instrumento de gravação interferiu o mínimo possível, possibilitando assim um material de maior fidedignidade.

Os documentos de pesquisa foram obtidos por discussões gravadas e posteriormente transcritas, atividades executadas pelos estudantes em sala de aula e as anotações do diário de campo do professor. A nossa intenção foi fazer uma análise qualitativa interpretativa, onde o nosso referencial teórico (teoria da Atividade, teoria histórico-cultural e teoria do Ensino Desenvolvidor) foi o nosso parâmetro para uma análise textual discursiva. Na análise, nossas atenções estiveram voltadas para o desenvolvimento social do pensamento teórico dos estudantes por meio de suas elaborações conceituais referentes aos conceitos da Termodinâmica.

Nas notas de campo foram relatadas as impressões do professor/observador antes e depois das aulas. Durante as aulas o professor buscava prestar atenção em casos peculiares, elementos que poderiam contribuir ou atrapalhar o andamento da aula e o rendimento dos estudantes. Além de relatar os fatos, o observador deve levar em conta a reflexão por ele feita durante a intervenção.

No momento de *impregnação*² dos dados e no desenvolvimento do produto educacional, verificou-se algumas peculiaridades nos quatro grupos que nos fizeram escolher para a análise apenas dois grupos. Isto se justifica, pois em 2 grupos os estudantes faltavam de maneira alternada, um faltava em uma atividade, outro em outra atividade, sem dar uma sequência adequada para analisar o grupo.

Nos dois grupos escolhidos para a análise existem características distintas entre ambos. Um grupo fazia todas as etapas da tarefa em conjunto, como foi determinado pelo professor. O outro grupo dividia as tarefas em partes e cada um fazia a sua parte. Neste último grupo um estudante em específico faltava muito as aulas e esse conjunto de peculiaridades tornou-se também objeto de investigação para tentarmos observar qual a sua influência no desenvolvimento dos estudantes. No grupo que desempenhou as tarefas conforme o previsto notamos que houve um desenvolvimento progressivo e gradual do pensamento, inicialmente a formação e organização do pensamento empírico, passando pelos processos de significação coletivamente e por último, desenvolvendo o pensamento teórico.

² O momento de *impregnação* é definido por Moraes (2003, p. 196) como o contato intenso com os documentos de pesquisa, lendo os textos e ouvindo as gravações por diversas vezes.

4.3 Análise Textual Discursiva na Pesquisa

Como dito na seção anterior, a metodologia escolhida para a análise foi a Análise Textual Discursiva (MORAES, 2003). O objetivo aqui foi fazer uma análise rigorosa e criteriosa para aprofundar a compreensão dos fenômenos ocorridos em sala de aula a partir da produção textual dos estudantes e das gravações das aulas, fazendo uma triangulação com a produção do diário de campo do professor.

A Análise Textual Discursiva passa por quatro momentos, designado por Moraes (2003, p. 191) como os *focos da análise*, que são:

1. *Desmontagem dos textos* (unitarização);
2. *Estabelecimento de relações* (categorização);
3. *Captando o novo emergente* (Compreensão);
4. *Um processo auto organizado*.

Antes mesmo da análise, o pesquisador passou por um momento intensivo de leitura dos documentos de pesquisa dos textos produzidos durante o desenvolvimento do produto educacional, uma impregnação dos dados. Nesse momento, as leituras foram feitas sem que houvesse um aprofundamento dos textos. Em um segundo momento as leituras foram feitas de maneira mais acurada, com a intenção de interpretar e se aprofundar nos textos produzidos dentro de nossas perspectivas teóricas. O objetivo desta fase anterior a análise é encontrar padrões no desenvolvimento dos estudantes, confirmando as hipóteses de trabalho do pesquisador e observar a emergência de uma nova teoria.

Dos documentos produzidos separou-se pequenos trechos dos textos formando um conjunto denominado *Corpus* da análise textual. O *Corpus* da análise é produto de um desmembramento dos documentos textuais das tarefas do desenvolvimento do produto educacional e do diário de campo do professor. A desconstrução aqui proposta se fez necessária para se olhar para os detalhes que se deseja investigar. Em nosso caso particular no desenvolvimento do pensamento teórico dos estudantes e coisas subjacentes a isso.

O passo subsequente é o de categorização. Segundo Moraes (2003, p. 197) a "categorização é constituída por um conjunto de elementos de significação próxima". Sua relevância se passa pelo agrupamento de pequenos trechos que carregam significados próximos ou evi-

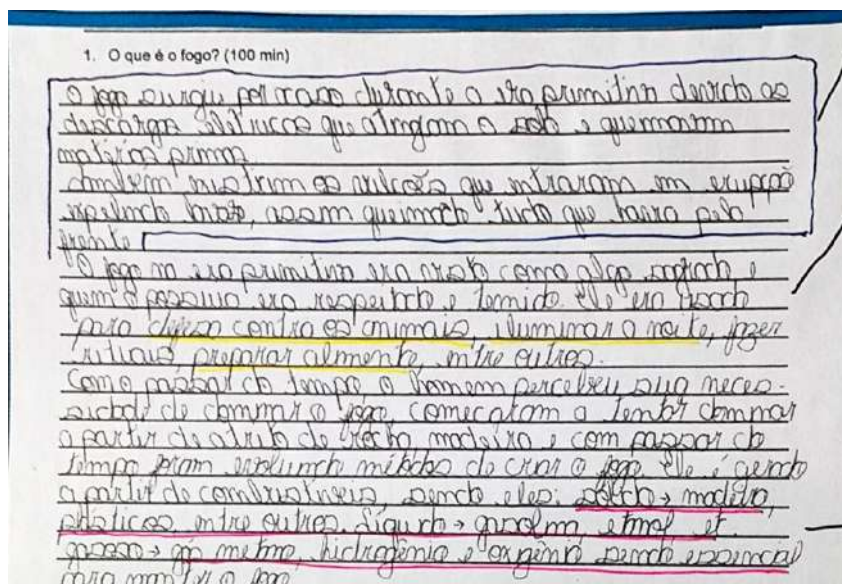
denciam o desenvolvimento de algum conceito específico, ou até mesmo um comportamento interessante da turma.

Segundo Moraes (2003, p. 197) "as categorias precisam ser nomeadas de acordo com a significação a ela atribuída". Na presente pesquisa as categorias foram estabelecidas *a priori* tendo por princípio o objeto e os objetivos da pesquisa e sendo orientada pela pergunta de pesquisa. A teoria da Atividade e os seus pressupostos filosóficos fizeram parte tanto das escolhas dos textos quanto das categorias que foram fomentadas. O objetivo aqui foi utilizar as categorias como modos de focalizar o todo por meio das partes constituintes do *corpus* da análise (MORAES, 2003).

4.3.1 A montagem do *Corpus* da Análise

A montagem do *corpus* da análise é feita após as etapas de impregnação dos dados e desmontagem dos textos. As produções textuais são separadas por categorias, que na presente pesquisa foi subdividida em subcategorias. No contato com os textos, no processo de desmontagem as subcategorias *a priori* foram identificadas por cores, como pode ser visto nas figuras 4.1 e 4.2.

Figura 4.1 – Trecho da Tarefa 1 produzido pelos estudantes do Grupo 1



Fonte: O Autor.

A produção textual foi feita após uma negociação de resolução de respostas aos problemas propostos nas tarefas, no diálogo dos estudantes que foi gravado. Por isso, as gravações foram transcritas e alguns elementos devidamente codificados. A codificação foi feita para uma

Figura 4.2 – Trecho da Tarefa 2 produzido pelos estudantes do Grupo 2

Questões a serem respondidas

1- Descreva a função de cada item para o funcionamento da panela de pressão:

a) gás: combustível para abastecer o fogo → materialidade da energia
 ↳ este termo não é

b) fogo: aquecer e gerar calor na panela

c) água: líquido que quando aquecido vira vapor aumentando a pressão

d) vapor: ebulição da água tornando-se gás que com grande quantidade comprime

e) válvula: regulador de pressão da panela

2- O vapor realiza algum trabalho na panela de pressão? Sim, aumenta o volume do líquido para gás em 1200 vezes

3- Por qual motivo o cozinheiro "abaixa o fogo da panela" quando a panela "ganha pressão"?

4- Qual o segredo para o alimento cozer mais rápido na panela de pressão?

2- Sim, a água em ebulição vira gás aumentando o volume em 1200 vezes fazendo com que a pressão aumente e realize o trabalho mecânico da válvula reguladora de pressão.

3- Para economizar gás, pois, ao atingir uma determinada pressão, a válvula se abre não deixando assim com que a panela atinja maior pressão e a pressão interna já sendo o suficiente para ajudar a cozinhar o alimento, abaixa-se o fogo para manter a temperatura interna da panela para continuar a transformar a água em vapor e a válvula regula a pressão para ela se manter.

4- Pois o volume da água quando transformado em vapor (gás), é aumentado em 1200 vezes aumentando a pressão, pois até a válvula ser acionada o vapor vai se comprimindo dentro da panela (ou seja, o aumento da pressão).

Fonte: O Autor.

organização e para a preservação do sigilo dos sujeitos da pesquisa, identificando os grupos, as tarefas, os estudantes em cada grupo de acordo com a tabela 4.4.

Após o agrupamento dos trechos das produções textuais dos estudantes em cada representação, continuamos a impregnação nos trechos dentro de suas representações para a formação das categorias da análise *a posteriori*. O agrupamento em categorias e subcategorias possui relevância para a melhor interpretação na análise do *corpus* da pesquisa e para verificar o processo de desenvolvimento do pensamento dos estudantes com o desenrolar das tarefas.

Tabela 4.4 – Tabela de Codificação da Pesquisa

Código	Descrição
E1	Estudante 1
E2	Estudante 2
Es	Estudantes
G1	Grupo 1
G2	Grupo 2
P	Professor
T1	Tarefa 1
T2	Tarefa 2
UD	Unidade Didática

Fonte: O Autor

4.3.2 A Formação das Categorias da Análise

As categorias da presente pesquisa foram construídas embasadas pelas teorias histórico-cultural, da Atividade e do Ensino Desenvolvimental. Em particular os *Nexos Conceituais* da Termodinâmica em uma abordagem *lógico-histórica*, componentes do *materialismo histórico dialético*, nos orientaram na formação da Unidade Didática (UD) e na maneira como a intervenção pedagógica foi efetuada, para o desenvolvimento da presente pesquisa e também foram levados em consideração na formação das categorias.

Segundo Moraes (2003, p. 199) "as categorias de análise necessitam ser válidas ou pertinentes no que se refere aos objetivos e ao objeto da análise". Por isso, vale lembrar que o objeto da presente pesquisa é o desenvolvimento do pensamento dos conceitos da Termodinâmica pelos estudantes. O seu objetivo geral é analisar o desenvolvimento do pensamento teórico em Termodinâmica a partir dos processos de significação de estudantes do Ensino Médio por meio das elaborações conceituais produzidas em situações desencadeadoras de aprendizagem.

Por termos bem determinados a teoria e o objeto que orientam a pesquisa, priorizamos o método dedutivo de análise para a constituição das categorias. O processo de dedução sempre se realiza por meio e fundamentado no geral, na teoria estabelecida. Baseada no conhecimento das informações obtidas no contato do sujeito com o objeto, com o conhecimento obtido no contato com o fenômeno (KOPNIN, 1978).

Antes de descrever as categorias, estabelecemos que os parâmetros das deduções estão fundamentados nos constructos teóricos, nos nexos conceituais da Termodinâmica no momento da análise. Esses parâmetros aparecerão nas argumentações presentes na formação do metatexto dentro das categorias.

A categoria escolhida *a priori*, além dos parâmetros definidos por um método dedutivo, foi capitaneada pela pergunta de pesquisa: *Que elaborações conceituais são produzidas pelos estudantes ao se desenvolver as leis da termodinâmica por meio de atividades orientadoras de ensino?*

A pergunta de pesquisa nos mostra as *leis da Termodinâmica* como elemento importante da nossa pesquisa e escolhida por nós como a categoria *a priori*. As elaborações textuais dos estudantes são construídas no desenvolvimento da UD que segue uma relação dialética lógico-histórica dos conceitos da Termodinâmica.

Com isso, a investigação deve passar inicialmente pela construção de significados e conceitos da Termodinâmica pelos estudantes, condizentes com a relação lógico-histórica do desenvolvimento das leis da Termodinâmica. Assim, a categoria *a priori*, deve ter por subcategorias os conceitos que dão sustentação as leis da Termodinâmica e que são seus nexos conceituais. Isso se justifica porque desde o início da fomentação do nosso produto educacional tínhamos um embasamento na teoria histórico-cultural da Atividade e na teoria do Ensino Desenvolvidor. E o nosso olhar na investigação está voltado para o nosso grau de apropriação do referencial teórico e dos efeitos causados nos estudantes com o desenvolvimento das aulas nesta perspectiva. A partir destes pressupostos escolhemos as seguintes categorias *a priori*:

- As Leis da Termodinâmica:
 - Calor, Temperatura e Energia;
 - Pressão, Trabalho e Máquina a vapor;
 - 1^a Lei da Termodinâmica;
 - 2^a Lei da Termodinâmica.

Como dito no capítulo 3, o calor e a energia são conceitos basilares que dão sustentação para as leis da Termodinâmica. A temperatura e o calor são conceitos que possuem uma inter-relação em que um conceito dá sustentação ao outro. Ainda no capítulo 3 destaca-se os conceitos de pressão e trabalho como nexos conceituais das leis da Termodinâmica, que se desenvolvem nos estudos para a compreensão da ciência embutida na máquina a vapor.

No momento de impregnação do *corpus* da análise, observamos como os estudantes elaboravam as produções textuais por meio do trabalho em grupo, com a mediação do professor e por meio de informações vindas de livros ou pela web. Apesar da teoria histórico-cultural

instruir o professor na elaboração da Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI) e que o papel da mediação é essencial para o desenvolvimento dos estudantes, a atividade prática nessa perspectiva teórica nos mostra mais elementos que fazem parte da mediação e da construção de significados e de conceitos.

Chamou-nos atenção o efeito mediador dos conteúdos vindos de recursos tecnológicos, como apresentação da explosão da panela de pressão e a medição de sua pressão e temperatura em vídeos. O funcionamento das máquinas a vapor por meio dos Graphics Interchange Format (GIF's), e também atividades experimentais e de simulação. O uso do instrumento que mais nos chamou atenção foi o celular e a utilização do sinal Wi-fi do colégio, pois há um indicativo para o aparelho não ser usado na aula pelos estudantes. Observamos que os instrumentos auxiliam nas operações e ações das atividades de aprendizagem.

O desenvolvimento dos estudantes pelos diversos momentos de mediação, pode ser enumerado a começar pela interação entre os estudantes, a interação dos estudantes com o professor e a ação dos estudantes com as informações por meio de instrumentos tecnológicos. O método escolhido pelos estudantes no desenvolvimento das tarefas também interfere na forma de mediação.

Diante disso, a categoria *a posteriori* que emerge é a *mediação* e suas subcategorias estão relacionadas aos elementos que a permeiam, tanto instrumentos quanto o modelo de interação. Referente aos instrumentos para a mediação, analisamos a familiaridade com os meios tecnológicos e com os aparatos experimentais simples e relacionamos com os significados construídos em atividades práticas na formação da consciência com a lupa da Teoria da Atividade (LEONTIEV, 1978).

Outros aspectos analisados na mediação, foram as interações entre os estudantes e desses com o professor, correlacionados com a frequência das interações com o professor de acordo com a escolha dos estudantes em fazer as tarefas coletivamente ou individualmente. Também analisamos o desenvolvimento dos estudantes após as mediações materializado na linguagem escrita e oral dos estudantes durante a intervenção pedagógica.

Os argumentos da categoria *mediação* e suas subcategorias foram organizadas da seguinte maneira:

- Mediação
 - Os instrumentos e a mediação;

- A interação entre os estudantes e o professor.

O método intuitivo na determinação das categorias emergentes progride das partes para o todo. O ponto de partida é o momento de impregnação do investigador com o *corpus* da análise e isso gera as suas impressões para o surgimento das categorias *a posteriori* ou **categorias emergentes** (MORAES, 2003).

Seguindo essa linha, uma categoria partiu da inquietação do professor que vem de uma expressão comum em salas de professores: *a maioria dos estudantes são passivos em sala de aula*. Em nossa investigação sobre o termo passivo, vimos que Freire (1987) utiliza o termo educação apassivadora no que se refere ao ensino tradicional, o que por ele é chamado de educação bancária. O termo utilizado também se encontra na análise de Marx e Engels (1983) no processo de trabalho em que é retirado do trabalhador a atividade de pensar, em que o trabalhador apenas executa as tarefas sem pensar no que está fazendo, nem mesmo a que consequências são levadas as suas ações manuais. Para a nossa surpresa, no desenvolvimento das aulas os estudantes, mesmo nas pausas não apresentaram momentos apassivados, os estudantes sempre se encontravam em atividade. A atividade coletiva e a socialização das ideias dos estudantes favoreceram a atividade do estudante. A passividade dos estudantes destacada pelos professores é falsa, para provar isso decidimos analisar essa situação criando a categoria emergente da *Falsa Passividade dos estudantes e sua constante atividade*, que justifica-se pelo antagonismo a passividade dos estudantes que habita em nossa proposta de ensino ancorada nas atividades de ensino e de estudos da teoria de Ensino Desenvolvimental (DAVIDOV, 1988).

4.4 Descrição das Aulas

Antes da análise dos documentos de pesquisa, com a devida montagem do *corpus* da análise, fizemos uma síntese descritiva das aulas que compõem a presente pesquisa e de como ocorreu a sua dinâmica, mostrando a participação e interação do professor e dos estudantes nas situações desencadeadoras de aprendizagem. Deixamos para o próximo capítulo a interpretação do *corpus*.

4.4.1 Tarefa 1: O que é o fogo?

Em um primeiro momento, o professor explicou aos estudantes a sequência das aulas que compõem a Unidade Didática (UD), e dando continuidade a aula separou os estudantes em

grupos com quatro componentes cada (por regra). Isso, com o intuito deles socializarem as ideias e negociarem juntamente com o professor a construção social do conhecimento em uma abordagem baseada na teoria histórico-cultural da atividade.

Na primeira tarefa, ao iniciar a aula, o professor lança para os sujeitos da pesquisa a seguinte pergunta: *O que é o fogo?* A pergunta teve o intuito de desenvolver com os estudantes o tema *fogo*, retratando o seu significado no decorrer da história da humanidade desde sua origem, passando pelo domínio do homem e da utilidade do fogo para satisfazer necessidades sociais. A tarefa foi desenvolvida com a mediação da memória dos estudantes sobre o assunto, favorecendo o desenvolvimento lógico da redação em resposta à pergunta inicial. Os elementos da memória servem como *juízos*³. Segundo Kopnin (1978), esses *juízos* servem de parâmetros para o desenvolvimento do raciocínio. Os estudantes utilizaram os *juízos* da memória nas discussões, no desenvolvimento do assunto proposto para a elaboração em conjunto do texto.

Em nossas estratégias de ensino, os estudantes foram orientados a mostrar os efeitos produzidos pelo fogo, mas o recorte dado pelo professor para finalizar a tarefa foi o efeito do fogo exclusivamente nas máquinas a vapor. Dentre os vários elementos trazidos pelos grupos em suas redações, a utilização do fogo em diversas eras (no forjar de peças para a agricultura, forjar armas, proteção contra ataques de animais, cozimento de alimentos e etc.), buscamos reduzir o nosso objeto de estudos à máquina a vapor. A máquina à vapor possui relevância histórica pois os principais conceitos da Termodinâmica foram desenvolvidos a partir dela, e as ações tecnológicas e científicas construídas ao seu redor deram significado às leis da Termodinâmica⁴.

Ao elaborar essa tarefa (T1) nosso objetivo de ensino foi desenvolver o tema fogo e sua relevância, abordando os conceitos agregados (calor e temperatura) na sociedade e para os próprios estudantes, partindo dos significados que até então eles tinham sobre esses conceitos e sua origem histórica. Para Davidov (1988) no decorrer da tarefa em atividade de estudo, os estudantes devem ser orientados a descobrir "as fontes objetivadas e a origem de determinados conceitos, o desempenho desta atividade pode servir como uma boa base para superar o formalismo dos conteúdos e métodos de ensino e educação na escola elementar"(p. 175).

Ao final da T1 destacou-se, na orientação e mediação do professor com os estudantes, a importância das máquinas à vapor para alavancar a Revolução Industrial. A máquina à vapor

³ O conceito de juízo encontra-se em Kopnin (1978, p. 140-150) e nessa dissertação no capítulo 2.

⁴ O capítulo 3 *O Lógico Histórico da Termodinâmica* mostra por meio dos nexos conceituais como as leis da Termodinâmica avançaram e serviram como referencial para a sequência lógica da UD.

foi apontada pelo professor como o principal instrumento utilizado para o desenvolvimento dos conceitos da Termodinâmica, assuntos que foram retomados na tarefa seguinte.

4.4.2 Tarefa 2: A panela de pressão

Na segunda tarefa (T2), buscamos dar continuidade a T1, mostrando em nossa atividade de ensino os efeitos produzidos pelo fogo por meio da panela de pressão. A escolha desse objeto teve a intenção de trazer para a discussão um elemento histórico relevante, pois a panela de pressão é considerada a primeira máquina à vapor, fato já deixado explícito para os estudantes na introdução da T2. Além disso, a panela de pressão é um elemento contextual próximo do cotidiano dos estudantes.

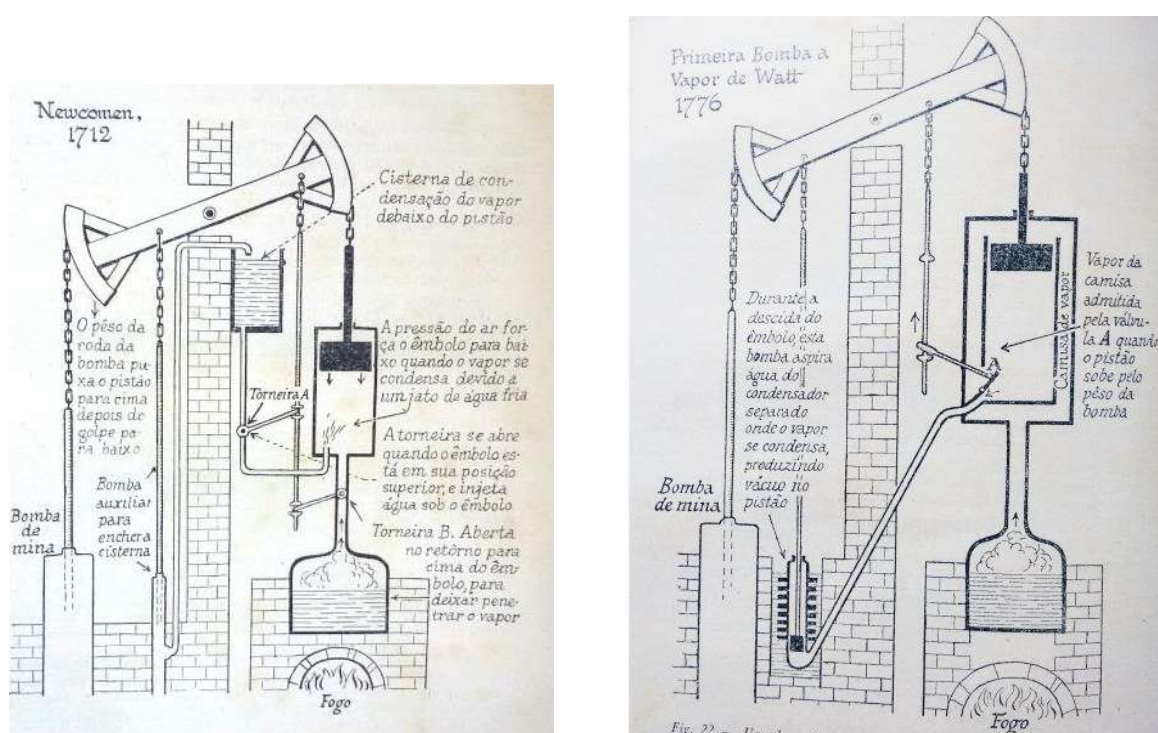
Dos vídeos assistidos pelos estudantes, o primeiro mostra a tampa da panela de pressão e a vedação das suas válvulas de escape para provocar a explosão da panela, além de mostrar o processo de explosão da panela e a destruição provocada no fogão. O segundo traz a medida da temperatura e da pressão no interior da panela por meio de instrumentos de medição. Ainda é dada a informação de que o volume do vapor d'água é 1200 vezes maior que o da água em seu estado líquido. Segundo nota de campo do professor, cada representante do grupo anotou as informações, pois eram pertinentes para o desenvolvimento das duas tarefas do dia (T2 e T3). Os conceitos de calor e temperatura deveriam ser desenvolvidos pelos estudantes no intuito de que construíssem os seus significados dos conceitos citados por meio de atividades prático-sensoriais, apreendendo as ações assistidas nos vídeos e interpretadas (intersíquico) na resolução dos problemas apresentados na tarefa. Como a situação de contexto faz parte da cultura dos estudantes, as ações nos vídeos foram comparadas com as situações do dia-a-dia deles. O fator contextual encontrado nos vídeos melhorou a compreensão e apreensão dos dados empíricos por parte dos estudantes para uma posterior reflexão individual (intrapíquico).

Ao elaborar a T2, a intenção da utilização de apresentações de vídeos em sala de aula, seguidas de discussões, teve a intenção de obter dados empíricos em atividades práticas (a panela de pressão - atividade prática de observação e reflexão dos estudantes), de modo a sensibilizar os sentidos da visão. Como a prática de cozinhar é conhecida, por contemplação viva ou por atividade prática dos estudantes, há elementos já existentes na mente deles para que ocorra a comparação e, conseqüentemente, a possibilidade de reflexão.

4.4.3 Tarefa 3: Máquinas a Vapor

Na T3 o professor apresenta a máquina a vapor de Newcomen e seu funcionamento por meio de um GIF (encontrado em <http://scienceblogs.com.br/100nexus/2010/08/gifs_animados_de_mecanismos/>) mostrando em movimento as etapas do seu funcionamento. Logo após a apresentação, o professor deixa o GIF passando em projeção no quadro. Então, dá duas figuras, um da máquina de Newcomen e uma da máquina de Watt, e pede para os estudantes explicassem o funcionamento das duas máquinas a vapor apenas analisando as figuras.

Figura 4.3 – Máquinas a vapor



Fonte: Hogben (1952)

Nas figuras deixadas com os grupos haviam descrições de como as máquinas a vapor de Newcomen e de Watt funcionavam. Os estudantes tiveram a atividade de comparar e discutir o que estavam vendo no GIF da máquina de Newcomen com o que estava escrito ao lado dos desenhos, também tiveram a oportunidade de aprender o nome de partes da máquina a vapor que ainda não conheciam. A leitura comparativa com a prática simulada do movimento da máquina trouxe mais elementos sensoriais e informativos para uma posterior formação de conceitos relacionados as leis da Termodinâmica.

Na aula a seguir o professor sistematizou todo o conteúdo passado nas tarefas T1, T2 e T3, no intuito de consolidar o desenvolvimento dos conteúdos na *consciência* dos estudantes.

Além disso, o professor deu um teste para os estudantes, pedindo a descrição do funcionamento da máquina a vapor de Newcomen e de Watt.

Dentro da teoria histórico-cultural da atividade de Leontiev (1978), uma prova individual, sem a mediação do professor nem de outros instrumentos, não faz sentido, pois o princípio da conscientização passa pela interação entre as pessoas e em uma prova individual não há essa possibilidade. Entretanto, os estudantes, pela necessidade da aquisição de pontos para a promoção acadêmica e por fazer parte da cultura brasileira, aparentemente dão maior relevância ao estudo se tiver como adquirir pontos, e o instrumento que os estudantes estão mais habituados é a prova. Por isso, o professor escolheu trabalhar com a nova cultura proposta em sala de aula, com tarefas na socialização do conhecimento e sua construção coletiva, mas mantendo a antiga e permanente cultura tradicional de que o estudante deve provar alguma coisa em um instrumento de mesmo nome.

Ao final da prova os estudantes relataram que estudaram em casa, procuraram estudar por conta própria como as máquinas a vapor funcionavam. Dentro da cultura escolar vigente é possível complementar o estudo feito em sala de aula com a prova, mesmo sendo usado muitas vezes como instrumento opressor, pelo que percebemos no relato dos estudantes.

4.4.4 Tarefa 4: Atividades Experimentais

A quarta tarefa (T4) é formada por dois experimentos que têm por objetivo diferenciar os conceitos de calor e temperatura por meio de um conflito cognitivo gerado pelos diferentes dados sensoriais obtidos a partir dos experimentos: Bacia de Locker; e experimento do aquecimento e da mudança de estado físico da água mantendo a temperatura constante no processo de ebulição, mesmo ao continuar recebendo calor do ebulidor.

O primeiro experimento, a Bacia de Locker, teve como objetivo específico identificar o conceito de calor por meio da diferença de temperatura, determinante para a transferência de energia térmica. Nota-se durante o experimento que a diferença de temperatura entre a água quente e fria contida nos baldes e o corpo humano sensibiliza o tato na transferência de energia térmica do corpo de maior para o de menor temperatura.

O segundo experimento, da elevação da temperatura da água e de sua mudança de estado físico ao ser submetida à transferência de energia térmica do ebulidor, foi realizada dentro de um balde com água e teve como objetivo diferenciar os conceitos de calor e temperatura, ao analisar a invariância da temperatura da água em ebulição.

A transmissão de energia térmica do ebulidor para água tem o papel de aumentar a temperatura ou efetuar a mudança de estado físico, sendo que não há concomitância dos dois fenômenos. Enquanto a temperatura da água está subindo não se verifica a ebulição, e enquanto ocorre a ebulição, não há variação de temperatura da água. Esperava-se que esse relato fosse observado e feito pelos estudantes após a atividade experimental.

Figura 4.4 – Estudantes realizando o experimento da bacia de Locker



Fonte: O Autor.

Figura 4.5 – Experimento da Ebulição da água



Fonte: O Autor.

Os estudantes participaram do experimento da Bacia de Locker, mas antes receberam instruções no roteiro de aula da T4 da UD e pelo professor. Os estudantes deveriam colocar as

duas mãos na bacia de água morna (temperatura de 36°C), depois colocar uma mão na água fria (temperatura de 10°C) e uma mão na água quente (temperatura de 50°C) simultaneamente durante 30 segundos. Após os 30 segundos os estudantes deveriam retornar as mãos na água morna. Todos os estudantes repetiram o procedimento experimental.

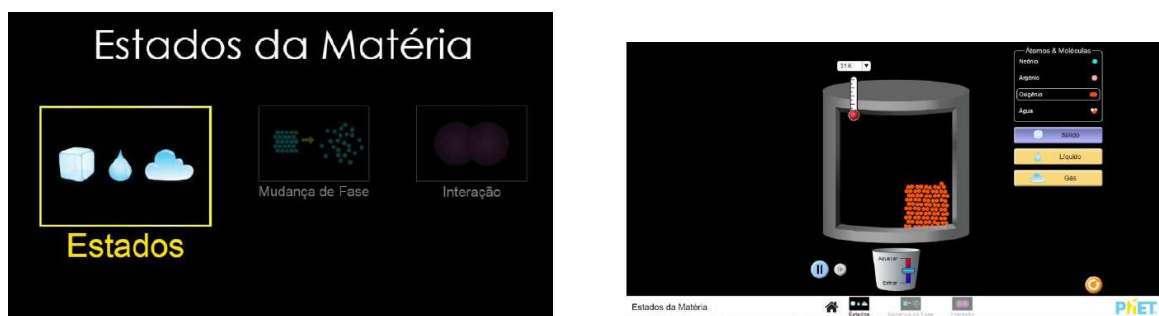
No segundo experimento, por ser demonstrativo, os estudantes acompanharam o professor no seu desenvolvimento experimental. O experimento era composto de um balde, um litro de água, um ebulidor e um termômetro para fazer a leitura da temperatura da água. Um estudante ficou responsável pela aferição periódica da temperatura. No início, a temperatura da água ia aumentando quase que linearmente, porém ao chegar a temperatura de 94°C , mesmo com o ebulidor ainda em funcionamento, a temperatura da água não variava, apenas se observava a água em processo de ebulição.

Os mesmos dados experimentais estão dispostos em livros didáticos e na internet com relação a invariância da temperatura durante o processo de ebulição. Entretanto, somente a atividade da leitura, ao nosso ver, não é tão enriquecedora como a atividade experimental direta, com os dados empíricos emergindo diretamente do objeto de estudo. Na leitura de um relato experimental em um livro didático ou em outros meios se lê uma descrição e uma explicação da atividade de outras pessoas, mas quando se vivencia o experimento o relato é de sua própria atividade, potencializando nos estudantes a curiosidade na tentativa de entender a razão da natureza agir daquela maneira, tendo a produção de dados empíricos diretamente dos sensores de seu corpo, enriquecendo também a atividade reflexiva e o processo de interiorização. A leitura posterior torna-se necessária para compor a interiorização por meio de mais uma atividade, como indicado por Leontiev (1978) nos processos de interiorização.

4.4.5 Tarefa 5: Simulação

A quinta tarefa (T5) tinha o intuito de associar os conceitos de calor, temperatura e energia térmica aos dados empíricos obtidos na atividade experimental, encontrando maior significado na atividade de simulação. O que fez com que os estudantes se apropriassem dos conceitos, baseando-se no modelo atômico, formando assim uma linguagem com significação, e obtendo uma maior quantidade de dados empíricos produzidos em ações de aprendizagem. Apesar dessa tarefa da UD ter sido preparada para execução em casa, os estudantes a desenvolveram no laboratório de informática do próprio colégio, em seus respectivos grupos.

Figura 4.6 – Simulações



Fonte: <https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter/latest/states-of-matter_pt_BR.html>

O simulador é encontrado no sítio de simuladores de experimentos físicos <https://phet.colorado.edu/sims/html/states-of-matter/latest/states-of-matter_pt_BR.html>. Para a realização da tarefa o professor elaborou um roteiro. O objetivo geral dessa atividade era construir uma relação do modelo atômico com os fenômenos Termodinâmicos, envolvendo os conceitos de calor, energia térmica e temperatura. A intenção do professor na T5 foi modernizar a linguagem dos estudantes, proporcionando a eles o contato com o funcionamento do mecanismo que imita o modelo atômico em movimento por meio da atividade de aquecimento e resfriamento das moléculas. A apropriação das relações empíricas vivenciadas pelos estudantes na simulação possibilitou a reflexão e a comparação dos conceitos de calor, temperatura e energia térmica encontrados nos livros didáticos e na internet. Esse ato de reflexão é preponderante para o desenvolvimento do pensamento teórico e da concretização dos conceitos referidos.

4.4.6 Tarefa 6: Estudo Orientado - 1ª Lei da Termodinâmica

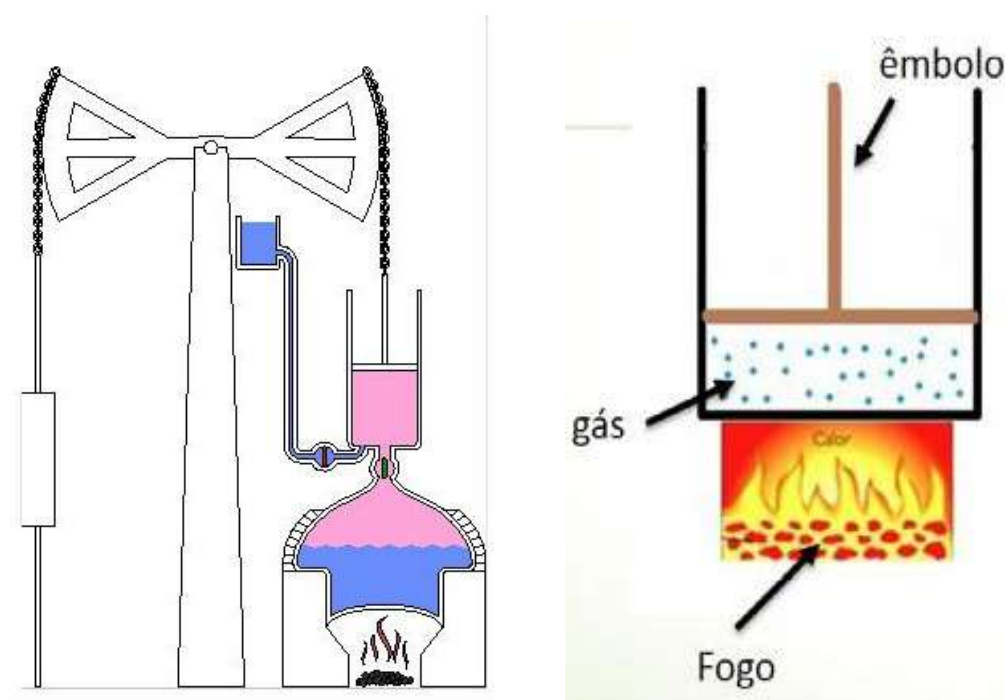
Antes da T6, o professor iniciou a aula sistematizando os conceitos trabalhados nas tarefas anteriores. Isso se justifica por se tratar de uma nova etapa (2º trimestre do ano letivo de 2017) e pelo intervalo entre a T6 e a T5, de 28 dias, causado por semana de provas do final do trimestre e de recuperação, além de feriado local.

Uma aula expositiva pautada no diálogo foi a estratégia adotada pelo professor para a retomada dos conceitos trabalhados nas tarefas anteriores. Na aula, o professor fazia perguntas aos estudantes, que ao responderem aos questionamentos iam lembrando os conceitos já trabalhados. O conteúdo rememorado serviu como base para o entendimento das novas proposições da T6. Ainda nessa o professor apresentou um novo elemento: a conservação da energia na natureza, adotada como um princípio fundamental da ciência. A participação dos estudan-

tes na aula expositiva foi determinante para o desenvolvimento da aula e para a segurança dos alunos durante a execução da T6.

No início da T6 foi feita uma breve introdução do conteúdo tratado na aula acima. Por se tratarem de aulas geminadas, trinta minutos da primeira aula foi usada para a aula expositiva e o restante do tempo utilizado para a T6. Inicialmente a T6 traz uma máquina a vapor de Newcomen idêntica à que aparece no GIF exposto para os estudantes na aula expositiva, e no momento em que os grupos executaram a tarefa.

Figura 4.7 – Máquina a vapor e os casos particulares



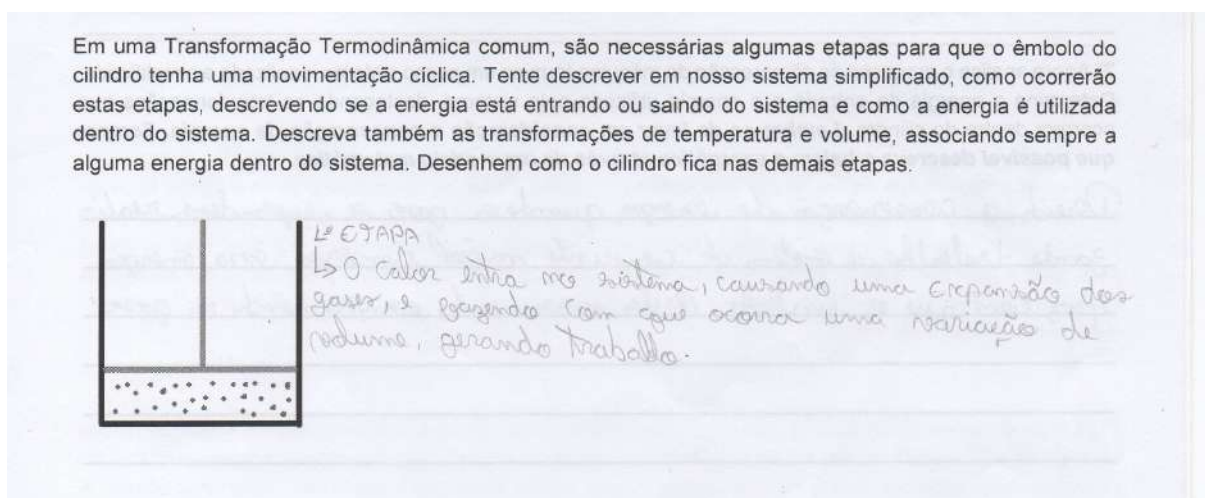
Fonte: <http://scienceblogs.com.br/100nexus/2010/08/gifs_animados_de_mecanismos/> visualizado em: 12 de julho de 2018

Os estudantes foram expostos a três processos Termodinâmicos: processo adiabático, isovolumétrico (isocórico) e isotérmico. Esses processos não ocorrem nas máquinas térmicas, tratando-se puramente de suposições para se fazer abstrações no ensino da Termodinâmica. Como em um jogo os jogadores sabem e raciocinam por meio das regras, nos processos Termodinâmicos os estudantes tiveram como regras os conceitos da Termodinâmica. A intenção dessa tarefa era que os estudantes fizessem a ascensão do abstrato ao concreto, considerado por Davidov (1986, p. 250) como método do pensamento teórico.

4.4.7 Tarefa 7: Experimento Mental - 2ª lei da Termodinâmica.

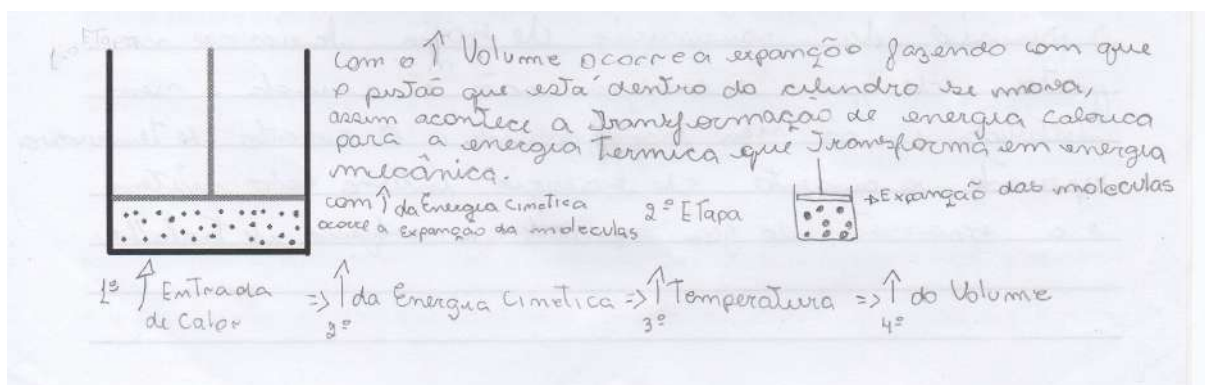
No início da T7, o professor retomou o conteúdo da 1ª lei da Termodinâmica, com a intenção de mostrar a necessidade da 2ª lei da Termodinâmica para a compreensão teórica do funcionamento da máquina térmica e da linha temporal do calor. O professor pediu para os estudantes estabelecerem, mais uma vez, as relações e transformações energéticas previstas no princípio da conservação de energia inerente a 1ª lei da Termodinâmica.

Figura 4.8 – Esquema do movimento cíclico no cilindro da máquina a vapor, pelo G1



Fonte: O Autor.

Figura 4.9 – Esquema do movimento cíclico no cilindro da máquina a vapor, pelo G2



Fonte: O Autor.

Dando prosseguimento a T7, o professor propôs um *experimento mental* para os estudantes. O experimento mental consistia em explicar, utilizando somente a 1ª lei da Termodinâmica, a seguinte situação problema: "É possível uma lata de refrigerante gelada ficar cada vez mais gelada em contato com uma chapa quente que deve ficar cada vez mais quente"?

Figura 4.10 – Ilustração do experimento mental, explorado pelo professor.



Fonte: Arquivo pessoal do professor.

Essa pergunta gerou muita discussão em sala de aula. Os estudantes falavam que não era possível, pois nunca viram esse evento acontecer. O professor por sua vez insistia na situação, falando que era uma suposição, comparando a situações de jogos de baralho em que são criadas regras e se pensa o jogo de acordo com elas.

Observando que os estudantes não avançariam além dos dados empíricos que possuíam, o professor foi ao quadro expor novamente a 1ª lei da Termodinâmica para explicar a situação proposta na pergunta e, por meio do diálogo com os estudantes, mostrar que era possível o refrigerante ficar cada vez mais gelado e a chapa ficar cada vez mais quente.

Vencida essa etapa, o professor lançou uma nova pergunta: "A situação simulada ocorre na natureza?". Um dos estudantes se manifestou falando que não, que só pode ser observado o contrário: o calor fluir do corpo mais quente para o mais frio. Estava então enunciada parte da 2ª Lei da Termodinâmica. Entretanto, o professor insistiu mostrando pelo exemplo do refrigerador que o calor flui do corpo mais frio para o corpo mais quente, desde que se realize trabalho. A partir disso, os estudantes deveriam explicar o funcionamento das máquinas térmicas utilizando alguns elementos referentes a 2ª Lei da Termodinâmica, como identificar a fonte quente e a fonte fria das máquinas e em que local há a realização de trabalho.

Após essas discussões, os estudantes tiveram mais duas aulas para preparar os seminários sobre todo o conteúdo exposto desde a primeira tarefa até aquela etapa de estudos referentes as leis da Termodinâmica.

5 ANÁLISE DO DESENVOLVIMENTO DO ENSINO DE TERMODINÂMICA EM UMA PERSPECTIVA HISTÓRICO-CULTURAL DA ATIVIDADE

O presente capítulo se destina à *análise textual discursiva* das produções textuais dos estudantes no desenvolvimento da Unidade Didática de Termodinâmica. As categorias foram escolhidas no intuito de analisar o desenvolvimento do pensamento teórico dos estudantes em situações desencadeadoras de aprendizagem, além dos processos nas interações entre os estudantes e entre eles e o professor.

5.1 As leis da Termodinâmica

Nessa seção, analisamos a formação conceitual dos estudantes a partir dos pressupostos teóricos psicológicos-educacionais e dos nexos conceituais. Com isso, dividimos essa seção em subseções, analisando a formação de cada grupo de conceitos e conseqüentemente o desenvolvimento dos estudantes, a saber se o desenvolvimento deles se passava pelo pensamento empírico ou teórico e como o conceito ganhava significado pelas ações de aprendizagem.

5.1.1 Calor, Temperatura e Energia

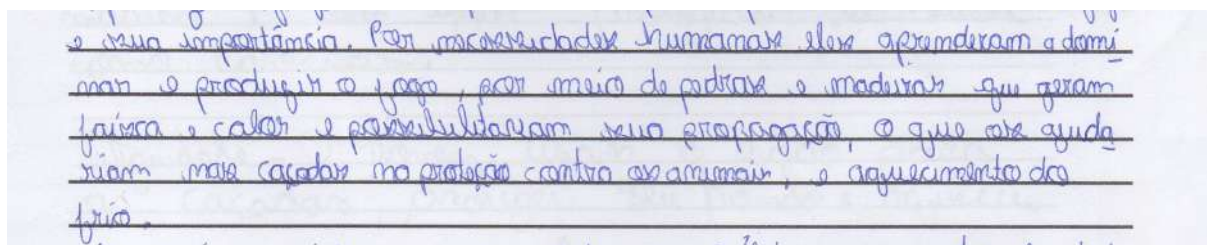
Essa subseção se destina a análise de como os estudantes construíram os conceitos de calor, temperatura e energia térmica a partir das tarefas da Unidade Didática (UD) propostas pelo professor. Foram aqui analisados os documentos contendo conteúdos dos conceitos supracitados nas tarefas I, II, IV e V.

A primeira tarefa (T1) se inicia com a seguinte pergunta: *O que é o fogo?* Isso fez com que os estudantes organizassem as ideias sobre as concepções de calor e temperatura. Eles buscaram na memória os assuntos abordados em outras disciplinas para organizar em uma linha lógica e cronológica a redação da utilização do fogo pela humanidade, trazendo concepções sobre calor e temperatura, até o período em que o fogo foi utilizado para a movimentação da máquina a vapor.

Durante essa tarefa (T1), os estudantes apresentaram elementos e expressões textuais com o significado próximo ao conceito de calor. No entanto, ao invés de usar a expressão *transferência de calor* ou *transferência de energia térmica*, os estudantes da turma usaram o termo *aquecimento* ou *aquecer*. Também encontramos um trecho do G1 em que os estudantes

mencionam o calor, mas com o significado de aquecimento, como pode ser visto nas figuras 5.1 e 5.2.

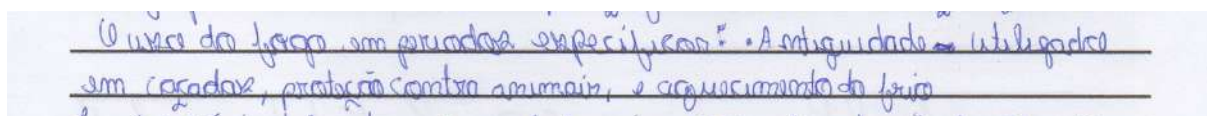
Figura 5.1 – O G1 usa o termo "aquecimento" e "calor"



Grupo	Trecho escrito pelos estudantes na Figura 5.1
G1	"Por necessidades humanas eles aprenderam a dominar e produzir o fogo, por meio de pedras e madeiras que geram faísca e calor e possibilitavam sua propagação, o que os ajudariam nas caçadas na proteção contra animais, e aquecimento do frio".

Fonte: Dados da Pesquisa.

Figura 5.2 – O G1 usa o termo aquecimento



Grupo	Trecho escrito pelos estudantes na Figura 5.2
G1	"O uso do fogo em períodos específicos: Antiguidade - utilizado em caçadas, pretensão contra animais e aquecimento do frio"

Fonte: Dados da pesquisa.

No dicionário, aquecer tem o significado de *esquentar, tornar quente*. Esse é o entendimento do senso comum, inclusive dos estudantes cujas tarefas aqui são analisadas. Só se esquentam aquilo que está frio. Entretanto quente e frio carecem de comparação. Essa comparação ocorre entre a temperatura corporal e a temperatura de outras coisas para o julgamento do estado de quente ou frio. O pseudoconceito de temperatura está implícito nos termos quente e frio. Nesses termos, a temperatura necessita de uma transferência de energia térmica para ser definida: se está frio, o corpo cede energia térmica para o ambiente; se está quente, o corpo recebe energia térmica do meio externo. Além disso, quando a transmissão de energia térmica é muito intensa causa perda de líquido pelo corpo por meio do suor.

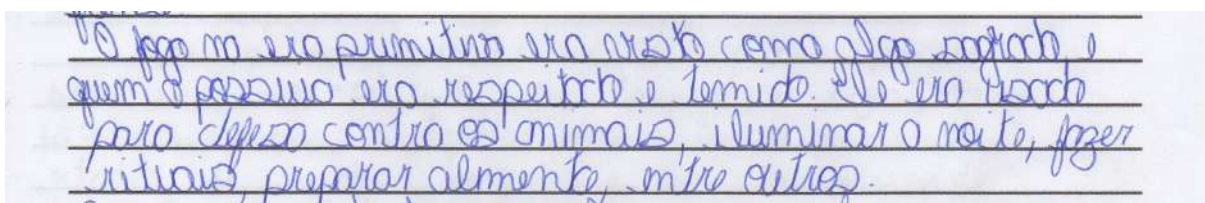
O calor, definido como o processo de transferência de energia térmica de um corpo de maior temperatura para outro de menor temperatura, pode ser percebido pelos sensores do tato

quando a transmissão de energia térmica se efetua no nosso corpo. Daí uma das dificuldades para diferenciar três conceitos que estão relacionados (calor, temperatura e energia térmica).

A outra dificuldade encontrada pelos estudantes, e que também se encontra na construção do senso comum, é que não podemos contar com o sentido da visão para perceber as ondas eletromagnéticas na faixa do infravermelho que faz a transmissão de energia térmica, pois são invisíveis. Se isso fosse possível, ficaria fácil identificar o que ocorre de fato entre um corpo e outro. Podemos observar visualmente os efeitos do calor na transformação do alimento ao colocá-lo em contato com o fogo, mas não conseguimos visualizar a transferência de energia térmica a olho nu. O mesmo ocorre com o ferro quando levado a rubro diretamente no fogo. Vê-se os efeitos, mas não se vê o processo da transferência de energia térmica necessários para o ferro elevar sua temperatura a ponto de emitir luz visível.

No primeiro contato com o assunto (objeto) fogo, os estudantes do G2 trouxeram os seus próprios conhecimentos sobre o assunto, realizando a atividade ao trazer o significado do fogo para a sociedade, passando por vários períodos pré-históricos e históricos, eles relataram o que aquilo significava para os povos em geral e para os próprios componentes do grupo. Por exemplo, ao se expressarem sobre o uso do fogo no "preparar alimentos" e que "o fogo era utilizado para aquecê-los" como visto nas figuras 5.3 e 5.4.

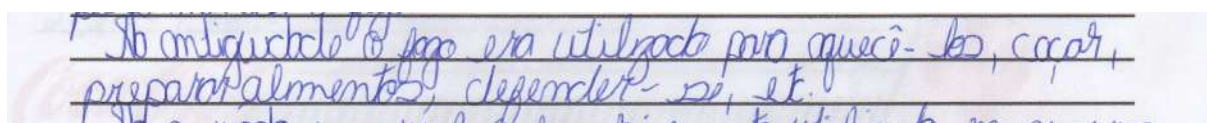
Figura 5.3 – O Grupo G2 dá significado místico ao fogo e de defesa contra ameaças.



Grupo	Trecho escrito pelos estudantes na Figura 5.3
G2	"O fogo na era primitiva era visto como algo sagrado e quem o possuía era respeitado e temido. Ele era usado para defesa contra os animais, iluminar a noite, fazer rituais, preparar alimentos, entre outros".

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5.4 – O G2 usa o termo aquecer atribuindo ao fogo



Grupo	Trecho escrito pelos estudantes na Figura 5.4
G2	"Na antiguidade o fogo era utilizado para aquecê-los, caçar e preparar alimentos, defender-se, etc".

Fonte: Dados da pesquisa.

Vale lembrar que os estudantes do G2 recordaram de eventos da origem do fogo por meio dos conteúdos alocados na memória, na mediação com o professor e por meio da lembrança de tarefas realizadas em outras disciplinas (Arte e História). O professor auxiliou os estudantes na organização do conhecimento, orientando-os a pensar na relevância do fogo a partir da necessidade humana em determinados momentos da história e que por meio dessas necessidades a humanidade desenvolveu suas atividades.

Notamos que nas interações dentro do grupo para a formação do texto, os estudantes voltaram suas atenções para o fogo, configurado por eles como objeto de estudo e motivo da atividade. Na mediação, o professor era chamado para que pudesse satisfazer a necessidade deles responderem a questão. Sabendo disso, o professor levantava outras perguntas com a intenção de fazer-lhes buscarem na memória e no raciocínio lógico o que precisavam para sanarem a necessidade por eles determinada. A organização do texto final é realizada pelo movimento das informações do inconsciente para o consciente. No âmbito da consciência, a organização cronológica é construída socialmente pelos estudantes (interpsíquico), com o fim de organizar mentalmente as informações obtidas em outros momentos com conteúdos trabalhos em outras disciplinas e para a organização em sua própria mente (intrapsíquico), característica do pensamento empírico.

Assim, observamos nessa e em outras tarefas que os estudantes a executavam segundo o modelo de *atividade* da Teoria da Atividade de Leontiev (1978). Entretanto, nesse início, os estudantes formaram socialmente o pensamento empírico, pois o processo de raciocínio do grupo era parametrizado por representações e concepções não científicas ligadas ao fogo, em lembranças de atividades práticas em que se observam os fenômenos, facilmente percebidos por eles. Para Davidov (1986, p. 238) "o pensamento empírico se torna realidade comparando e consolidando na representação geral os atributos relacionados das coisas".

A partir da importância do fogo, para aquecimento, proteção, iluminação, fabricação de materiais manufaturados, os estudantes alcançaram a parte em que o fogo alavancou a Revolução Industrial, que foi tratada em outros momentos do desenvolvimento da UD.

No desenvolvimento da segunda tarefa (T2), os estudantes foram questionados sobre o papel de cada item envolvido no funcionamento da panela de pressão (gás, fogo, água, vapor, válvula). No G1 os estudantes responderam que o gás serve para "manter o fogo aceso para que possa esquentar a panela". Sobre a utilidade do fogo os estudantes responderam que o "fogo faz com que a temperatura da panela suba juntamente com a pressão".

Ao discutirem e conversarem para formular as respostas, os estudantes do G1 escreveram o termo 'esquentar', e a expressão 'temperatura subir' atribuindo isso a ação do fogo, ou seja, o fogo tem o poder de aumentar a temperatura das coisas que estão em contato com ele, esquentando-as. Os estudantes do G1 não deixaram explícito que o fogo transmite calor para a panela. Analisamos que isso se deve aos estudantes não terem consciência do conceito científico de calor. Para que eles construíssem essa consciência se fez necessário agregar mais ações de aprendizagem, com atividades experimentais e outros momentos de reflexão cognitiva para a construção de significados dos conceitos científicos.

Em outra item da mesma questão feita na T2, os estudantes foram questionados sobre a ação da água para o funcionamento da panela de pressão. Os estudantes do G1 relataram que a serventia da água era para o cozimento dos alimentos. Em diálogo com o professor, os estudantes chegaram à conclusão de que sem a água o alimento não seria cozido, e sim frito. Outro fato importante relatado pelos estudantes do G1 é que sem a água não há geração de vapor. No termo *cozinhar*, utilizado por eles, na resposta da questão, podemos inferir que está implícita a transferência de calor entre a água e o alimento e o efeito dessa interação, que é a modificação das propriedades do alimento. No caso do feijão, quando está cru ele é duro e não é comum sua ingestão nesse estado, mas quando cozido as suas propriedades são modificadas, tornando-se próprio para o consumo.

O G2 respondeu que a água serve para gerar vapor e aumentar a pressão interna da panela, porém, os estudantes não relataram a importância da água para o cozimento do alimento. Não é explicitado nos documentos gerados por eles a mediação da água na transferência de calor para o alimento, ou seja, da importância da água para o aquecimento e cozimento do alimento.

Destacamos aqui que a marcha histórica da produção científica da Termodinâmica se deu por atividades prático-experimentais com vistas a melhorias da máquina a vapor. No momento

em que se necessitou de uma compreensão científica da máquina a vapor, os dados empíricos foram usados para o desenvolvimento do pensamento teórico da sociedade científica. Na UD foi utilizada a mesma estratégia observada na marcha histórica da Termodinâmica. De acordo com Prestes (2010) a ZDI é elaborada pelo professor, planejando o desenvolvimento de um determinado conhecimento (no nosso caso, de acordo com o nosso objetivo de desenvolver o pensamento teórico dos conceitos da Termodinâmica), o estudante podendo alcançá-lo ou não. No G1 os estudantes desenvolveram um pensamento empírico, gerando conhecimento empírico e superficial, previsto teoricamente por Prestes (2010).

O desenvolvimento alcançado pelo G1 ocorreu como previsto por nós nos objetivos dessa etapa. O esperado foi que o estudante, a partir da percepção pelo sentido da visão, desenvolvesse um conhecimento da "aparência do fenômeno" como expresso por Kosik (1976) criando um *padrão visual*, servindo ao mesmo tempo como uma *representação* para o desenvolvimento do pensamento empírico e como dado sensorial para que o estudante pudesse em outras tarefas (ou na mesma tarefa) construir os conceitos da Termodinâmica por meio do pensamento teórico. Segundo Davidov (1986) as representações são usadas como juízos para o desenvolvimento do pensamento empírico e segundo Kopnin (1978) e o próprio Davidov (1986) os conceitos são juízos para o desenvolvimento do pensamento teórico¹.

Outra interpretação que podemos ter diante das respostas do G1 na T2, nessa etapa inicial do desenvolvimento da UD, é que os estudantes se utilizam de pseudo-conceitos² ou concepções alternativas, porém conceitos socializados por meio do senso comum, para comunicar o aquecimento da panela, mas sem se aprofundar em conceitos científicos de calor e temperatura, dando uma amostra do significado de calor para a sociedade e demonstrando um desenvolvimento superficial do conceito científico. Entretanto, os estudantes acumularam dados empíricos na observação atenta dos vídeos, assim possibilitando um avanço para o desenvolvimento do pensamento teórico e para a conscientização dos conceitos de calor e temperatura.

No discurso para a resolução da T2, ao externar as ideias na interação coletiva em grupo, notamos que os estudantes memorizaram as ações observadas nos vídeos, interiorizando-as, porém os estudantes desenvolveram apenas um pensamento empírico, não interiorizando os conceitos da Termodinâmica. Para Leontiev (1978) a interiorização das ações para a construção

¹ O desenvolvimento do pensamento empírico e teórico se encontram com maiores detalhes no capítulo 2 na seção 2.5.

² Expressão utilizada por Vigotski (2009) para expressar que os pseudo-conceitos servem para a comunicação entre crianças e adultos, mas não há um conceito estruturado formado pela criança.

dos conceitos se dá na atividade prática e depois é consolidado na consciência pelo reflexo psíquico e a atividade do pensamento teórico.

No G2, os estudantes responderam que o fogo "aquece e gera calor na panela", disseram também que a água é aquecida em contato com o fogo por meio da panela. Da mesma forma que o G1, os estudantes do G2 tem a percepção de que o fogo, por ter sua temperatura elevada, transmite parte da sua temperatura para a água, fazendo com que a água seja aquecida (variação positiva da temperatura). O fogo mantém a sua temperatura elevada por ser alimentado por uma fonte de energia, o gás. Ao relatar que o fogo transmite temperatura, os estudantes entendem que calor e temperatura são sinônimos, possuindo o mesmo significado, o que não é verdade no saber científico.

Nesse momento do desenvolvimento da UD, o G2, mesmo usando em alguns momentos o termo *calor*, não sabia o significado científico do conceito, utilizando o significado compartilhado pelo senso comum. Para eles o calor representava algo que sai de um lugar de temperatura elevada. Interpretamos aqui que os estudantes localizaram o calor e a temperatura na mesma *classe*. Segundo Davidov (1986) o raciocínio por representações e classificações é feito pela atividade do pensamento empírico, isto é, os estudantes do G2 utilizaram como juízo a representação de calor e temperatura, estando em uma mesma classe, para desenvolver um pensamento empírico, gerando um conhecimento superficial-empírico, sem caráter científico. No entanto, os estudantes do G2, assim como os estudantes do G1, estavam obtendo, na observação dos vídeos, dados empíricos que dariam a eles a possibilidade de pensar teoricamente nas tarefas posteriores. O importante nessa etapa é que mesmo não desenvolvendo um pensamento teórico, no desenrolar da tarefa, os estudantes de ambos os grupos estavam em atividade, pois desenvolver um pensamento é componente do trabalho na perspectiva do *materialismo histórico dialético*, sendo assim, na mesma perspectiva, pensar é uma atividade.

As conclusões obtidas tiveram como base as observações feitas nos vídeos assistidos no início da aula e as suas vivências cotidianas. Como já destacamos, calor e temperatura possuem a mesma representação para os estudantes e por isso fazem parte da mesma categoria. A atividade não exige grandes aprofundamentos, pois o planejamento do professor é que, na T2, os estudantes absorvam dados empíricos para que em momentos posteriores possam desenvolver o pensamento teórico em atividades laborais de estudo. Assim, possibilitando que, por meio das suas percepções, eles desenvolvessem o pensamento empírico, fazendo conexões superficiais das informações adquiridas. Outros dados empíricos adquiridos em atividades práticas

apareceram na quarta tarefa (T4), que foi o segundo momento de absorção de dados empíricos *mediados* para o desenvolvimento do pensamento teórico dos estudantes.

Na T4, após as atividades experimentais, os estudantes descreveram todos os procedimentos executados por eles e anotaram os dados empíricos ali obtidos, além de responder as questões propostas da UD.

As reações dos estudantes ao experimento, relatadas em nota de campo do professor, mostram o conflito que há entre as experiências das tarefas passadas e os dados empíricos (experimentais) na vivência direta com o experimento da bacia de Locker³ e com o experimento de ebulição da água. Os estudantes ficaram impressionados pela temperatura de ebulição não alcançar os 100°C e mesmo com o ebulidor dentro da água a temperatura permanecer a mesma. Nesse experimento os estudantes puderam comparar a informação que o livro didático traz da invariância de temperatura em substâncias puras em transição de fase. Ao serem questionados pelo professor no momento do experimento o porquê de a temperatura de ebulição ter sido menor do que aparece no livro didático, os estudantes atribuíram ao fato de a cidade local estar a uma altitude mais elevada que o nível do mar, destacando a influência da pressão atmosférica no ponto de ebulição das substâncias.

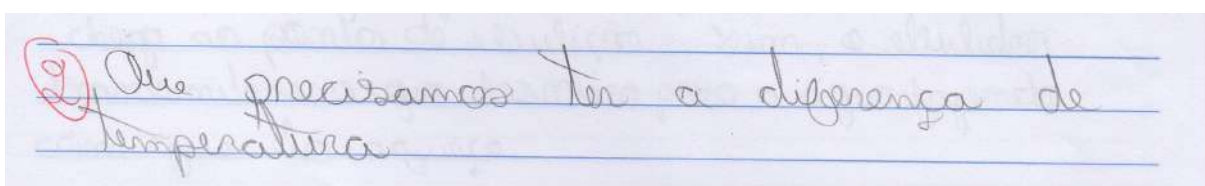
Hoje [19 de abril de 2017] os estudantes nas atividades experimentais me relatavam a descoberta do ponto de ebulição a uma temperatura de 94°C, diferente do que é apresentado nos livros didáticos, que atribuem a temperatura de 100°C para a ebulição no nível do mar. O experimento da bacia de Locker também os chamou a atenção, a temperatura local estava amena, por volta de 20°C. Inicialmente, colocavam as mãos na bacia do meio [morna] para ter uma referência mas estava a temperatura corporal inicialmente, depois colocavam uma mão na bacia com água quente e a outra na bacia com água gelada, [faziam todo o procedimento orientado e então relatado] e muitos diziam que a mão que estava quente na água morna parecia fria e vice-versa. Notei que a partir daquele momento eles sabiam distinguir calor de temperatura. O experimento da ebulição da água mostrou a invariância da temperatura da água no momento da ebulição, mesmo com o ebulidor ligado, dando maiores evidências da distinção de ambos os conceitos. (Trecho da nota de campo do professor)

Na atividade experimental com a bacia de Locker, os estudantes ficaram impressionados, quando tiveram que retornar com as mãos para a água morna, por terem diferentes sensações nas mãos estando na água com mesma temperatura. O contato com o experimento fez com que os

³ Outra opção para se trabalhar com o experimento da bacia de Locker poderíamos ter desenvolvido o conceito de sensação térmica e sua diferença para a temperatura, expressões que nos confundem nas apresentações de previsão do tempo na televisão, porém decidimos colocar os estudantes em contato com a água em temperaturas diferentes para que pudessem, na experimentação, entender a necessidade de obter experimentalmente mais elementos para interpretar o fenômeno.

conceitos tivessem maior significado. Como já vimos em outros momentos do desenvolvimento da UD, ao agregar um grupo de ações referentes ao conceito, eles dão maior significado e este é expresso na linguagem, segundo Leontiev (1978). Sendo que a imagem cognitiva foi construída pela sensibilização do tato, nas respostas construídas pelos estudantes à pergunta "analisando o experimento da bacia de Locker, o que podemos concluir como necessário para a transferência de calor entre os corpos?", os estudantes entenderam diretamente do experimento e do diálogo entre eles a essência do conceito de calor, como se vê nas figuras 5.5 e 5.6.

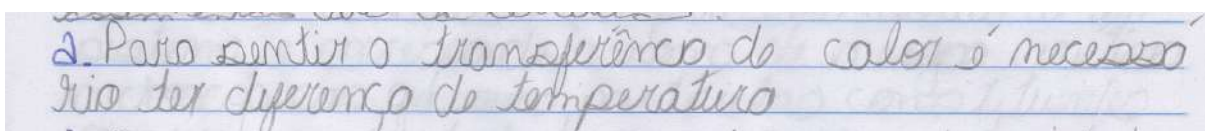
Figura 5.5 – Resposta do G1 a pergunta 2 da T4



Grupo	Trecho da Figura 5.5
G1	"Que precisamos ter a diferença de temperatura".

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5.6 – Resposta do G2 a pergunta 2 da T4



Grupo	Trecho da Figura 5.6
G2	"Para sentir a transferência de calor é necessário ter diferença de temperatura".

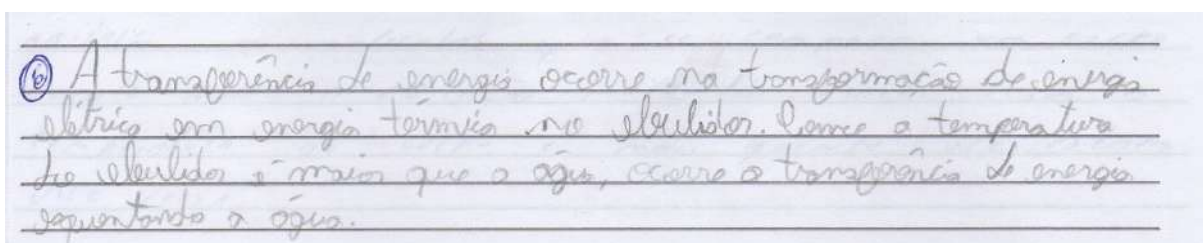
Fonte: Dados da pesquisa.

Os estudantes, dos dois grupos, começaram a diferenciar os conceitos de calor e temperatura, juntamente com a mediação do professor, sem perder a inter-relação existente entre os conceitos. As respostas dadas pelos estudantes é muito próxima da definição de calor aceita cientificamente e posta nos livros didáticos, com uma diferença, os estudantes construíram o significado do conceito de calor, com a apropriação das ações práticas-experimentais e do reflexo psíquico com as imagens geradas pelos dados empíricos e pelos problemas resolvidos em diálogo com o professor e com os colegas. A leitura no livro didático se soma a essa construção, fazendo com que as ações em conjunto sejam determinantes para a apropriação do conceito científico.

Os conceitos trabalhados na perspectiva social da construção do conhecimento dão maior significado, as ações dos estudantes em sala de aula e suas reflexões, ao resolverem as questões, potencializam a memorização, segundo Leontiev (1978, p. 57). A mediação do professor e entre os estudantes dá maior segurança na construção do conhecimento.

Após a tomada de dados, foi levantada a seguinte questão para a reflexão dos estudantes: "Ao analisar o experimento 2 [ebulição da água], descreva como se dá a transferência de energia e suas transformações no decorrer do experimento". As respostas dos estudantes, em seus grupos, podem ser lidas no trecho destacado na figura 5.7 e 5.8.

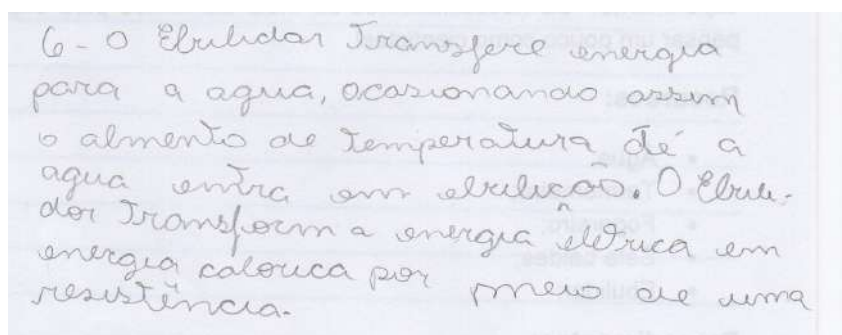
Figura 5.7 – Resposta do G1 a pergunta 6 da T4



Grupo	Trecho da Figura 5.7
G1	"A transferência de energia ocorre na transformação de energia elétrica em energia térmica no ebulidor. Como a temperatura do ebulidor é maior que a água, ocorre a transferência de energia esquentando a água".

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5.8 – Resposta do G2 a pergunta 6 da T4



Grupo	Trecho da Figura 5.8
G2	"O ebulidor transfere energia para a água ocasionando assim o aumento de temperatura até a água entrar em ebulição. O ebulidor transforma a energia elétrica em energia calorífica por meio de uma resistência".

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir das respostas dos estudantes (Figura 5.7 e 5.8) estruturou-se o conceito de energia térmica, a partir da ação do ebulidor. Como o ebulidor estava ligado na energia elétrica os

estudantes rapidamente fizeram alusão a essa forma de energia, e sua transformação em energia térmica. O conceito como aparece no livro e na internet de que calor é energia térmica em trânsito parece fazer mais sentido para os estudantes, que associam a elevação da temperatura da água ao ganho de energia térmica⁴ vinda do ebulidor para a água. Os estudantes, mediados pelo professor, chegaram a conclusão de que o ebulidor ainda estava transferindo energia para a água quando ela estava em ebulição. Mesmo a temperatura da água não variando, a energia transferida do ebulidor para a água fez com que ela entrasse em processo de ebulição. Apesar de evidente, os estudantes não dão indícios, nos trechos analisados e nas gravações, de como ocorre a transferência de energia térmica quando não há elevação de temperatura.

Questionados sobre os conceitos de energia térmica, temperatura e calor, os estudantes dos dois grupos prontamente pesquisaram na internet para responder as questões corretamente. Além disso, eles se utilizaram dessas respostas para estruturar a resolução de outras questões, mas percebia-se que não havia convicção sobre as informações assim obtidas, e os estudantes confrontavam a pesquisa com os dados empíricos obtidas nas atividades experimentais.

Percebemos que nas respostas respaldadas por informações de sites da web, os estudantes dos dois grupos fizeram associações do calor e da temperatura com o movimento das moléculas de água. Ao usar o termo *moléculas*, os estudantes utilizaram o modelo atômico sem ter total noção do que se tratava a movimentação das moléculas, segundo consta a percepção do professor em suas anotações de campo. A partir dessa informação, o professor elaborou uma tarefa para casa a partir de um simulador, envolvendo o movimento das moléculas com os conceitos de temperatura, energia térmica e calor para que os estudantes se apropriassem devidamente do modelo atômico.

A T4 tem todas as características de uma ZDI. A *instrução inicial* se dá por meio dos experimentos e das orientações do professor para o desenvolvimento dos experimentos. E os *problemas* para os estudantes responderem são feitos por meio das perguntas do roteiro. No processo das produções textuais dos estudantes há muita conversa e *mediação* pelo professor, pelos colegas do grupo e pelo celular com informações da internet. Toda essa interação atua na construção dos conceitos científicos inerentes aos experimentos, no nosso caso os conceitos de calor, temperatura e energia térmica. Os fatos relatados acima dão indícios, próximos da evidência, de que os estudantes, por meio do pensamento teórico *desenvolveram* os conceitos

⁴ Nesse caso, os estudantes não diferenciam energia térmica de calor, diferenciando a partir da quinta tarefa.

de calor e temperatura. Assim, os estudantes alcançaram o desenvolvimento planejado pelo professor.

ao final os estudantes terminaram mais cedo que o previsto as atividades de sala de aula e logo foram responder as questões de para casa [definir cientificamente os conceitos de calor, temperatura e energia térmica], entretanto o que se lia dos web sites com os dados obtidos pareciam não fazer muito sentido, notei que eles precisavam se aprofundar em uma atividade que envolvessem os conceitos de calor, temperatura e energia térmica com o modelo atômico. Então decidi elaborar uma tarefa com o simulador, para que as respostas obtidas nos web sites fizessem sentido (Nota de campo do pesquisador, 19 de abril de 2017).

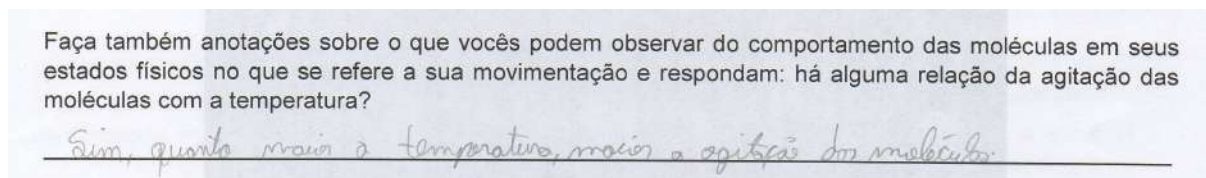
No decorrer da T4, os estudantes encontravam-se em *atividade*, segundo a Teoria da Atividade de Leontiev (1978). A T4 tinha um fator diferente das demais aulas de outras disciplinas, o *experimento*. Em nota de campo, o professor relata a felicidade dos estudantes em *trabalhar* com experimento. Segundo o professor, o fato de o estudante colocar a mão na massa e estar ativo com o experimento durante o processo de aprendizagem melhorou a apropriação dos conceitos. O fator emocional também esteve presente, pelo simples feito do estudante sair da posição estática de suas cadeiras e associar o seu contato com o experimento; este é um fator determinante para a apropriação do conhecimento.

Em nossa interpretação, os estudantes ficaram felizes por estarem em atividade prática-experimental, construindo imagens cognitivas por meio do tato e da visão, possibilitando uma profunda reflexão. A investigação do conceito científico do calor mostra que esse é o motivo e o objeto da atividade dos estudantes na T4 e alcançar o objeto torna-se a necessidade dos estudantes. Ao construir os significados do conceito e alcançar o motivo-fim, apropriar-se do conceito de calor, há o "extraordinário encontro entre a necessidade e o objeto"(LEONTIEV, 1978, p. 70).

Mesmo com características de tarefa de casa a quinta tarefa foi realizada no próprio colégio. Os estudantes foram conduzidos para a sala de informática, foi entregue aos estudantes o roteiro de aula e uma vez os grupos acomodados nos computadores do laboratório, os estudantes foram orientados a brincar com o simulador para adquirirem familiaridade com a ferramenta. A primeira parte do roteiro orientava-os a observar como era a composição molecular das substâncias em cada estado físico, relacionando cada estado físico a uma faixa de temperatura. Foram escolhidas duas substâncias, a água e a molécula de oxigênio. Após as anotações dessas observações iniciais os estudantes responderam questões sobre o que viram do comportamento das moléculas relacionando-as com a temperatura e relacionando a energia de movimentação das

moléculas com a energia térmica. A pergunta da tarefa era: "há alguma relação da agitação das moléculas com a temperatura"? Nos trechos abaixo estão as respostas de cada grupo nas figuras 5.9 e 5.10.

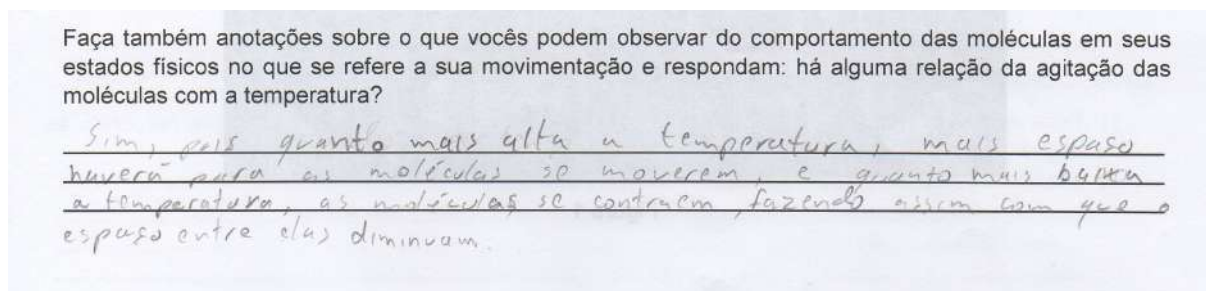
Figura 5.9 – Resposta do G1 a primeira pergunta da T5



Grupo	Trecho da Figura 5.9
G1	"Sim, quanto maior a temperatura, maior a agitação das moléculas".

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5.10 – Resposta do G2 a primeira pergunta da T5



Grupo	Trecho da Figura 5.10
G2	"Sim, pois quanto mais alta a temperatura, mais espaço haverá para as moléculas se moverem, e quanto mais baixa a temperatura, as moléculas se contraem, fazendo assim com que o espaço entre elas diminuam".

Fonte: Dados da pesquisa.

Notamos nas respostas dos dois grupos a percepção da relação entre temperatura e agitação das moléculas, corroborando com as respostas obtidas da web para conceituar temperatura na T4. Assim, com mais um dado empírico, o conceito de temperatura fez mais *sentido* para os estudantes a partir da simulação⁵. A visualização do mecanismo das moléculas se movimentando baseado em um modelo atômico, mesmo que seja uma simulação, é mais um elemento para dar maior significado⁶ para o conceito de temperatura. Em outras palavras, o estudante,

⁵ Os estudantes faziam referência a T4 da aula anterior e um estudante disse: "agora sim professor, nós estamos vendo a movimentação das moléculas, quanto mais quente [temperatura elevada] mais as moléculas se agitam". (Nota de campo do pesquisador)

⁶ A palavra *significado* utilizada em toda a análise terá o conceito em conformidade com o capítulo 2 segundo a designação dada por Leontiev (1978).

ao expressar o conceito científico de temperatura, lembra do que viu na simulação, com isso, o conceito tem maior significado.

A simulação deu significado ao que a simples leitura sobre o conceito não vislumbra. O movimento proporcionado na simulação é mais significativo que as informações estáticas do livro. Os vídeos e o experimento também dão movimento a construção dos dados empíricos. Essas situações se encaixam na atividade prática pela perspectiva do *materialismo histórico dialético* e criam imagens cognitivas. O movimento do objeto, no plano objetivo, captado nas atividades práticas é imitado no reflexo, no plano subjetivo, pelo pensamento teórico. Para Kopnin (1978) "o pensamento teórico reflete o objeto no aspecto das relações internas e leis do movimento deste, cognoscíveis por meio da elaboração racional dos dados do conhecimento empírico. Sua forma lógica é constituída pelo sistema de abstrações que explica o objeto"(p. 152).

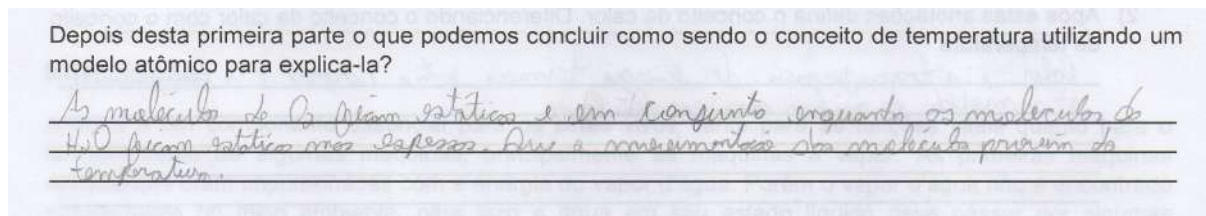
Vale destacar que a T5 não fazia parte da UD inicialmente. O professor, na mediação, viu a *necessidade* dos estudantes entenderem as respostas reproduzidas por eles de conteúdos obtidos na internet sobre calor, temperatura e energia térmica. Nos trechos apresentados nas figuras 5.9 e 5.10 observava-se que a escrita do web site encontrava *sentido* na atividade da simulação. Já vimos em Leontiev (1978) que o elemento crucial da *atividade* é a *necessidade* e do maravilhoso encontro da necessidade com o objeto na atividade.

Na atividade da simulação, os dados empíricos ali construídos com a orientação do professor e das questões elaboradas para a tarefa, auxiliaram na necessidade que os estudantes tinham de entenderem o conceito de temperatura. A previsão teórica encontrou a prática e satisfez o professor por ter construído mecanismos eficientes (situações desencadeadoras de aprendizagem) para a apropriação do estudante, mostrando que a atividade de ensino foi mais abrangente que a restrita atuação do professor em sala de aula. Ao invés de ser um transmissor de informações passa a ser um agente intencional de fomentação de conhecimento, fazendo do outro sujeito (o estudante) um agente ativo de sua própria aprendizagem, abrangendo as atividades de ensino e de estudos como destaca Davidov (1986) e a *atividade* propriamente dita como destaca Leontiev (1978).

Para que pudesse ficar bem clara a relação entre a temperatura e a agitação das moléculas o professor pediu no roteiro para os estudantes submeterem uma determinada substância a menor temperatura possível no simulador e que descrevessem como ficaria a agitação das par-

tículas. Os estudantes observaram que há uma temperatura limite e que com essas condições de temperatura as partículas ficam imóveis, estáticas, como apresentado nas figuras 5.11 e 5.12.

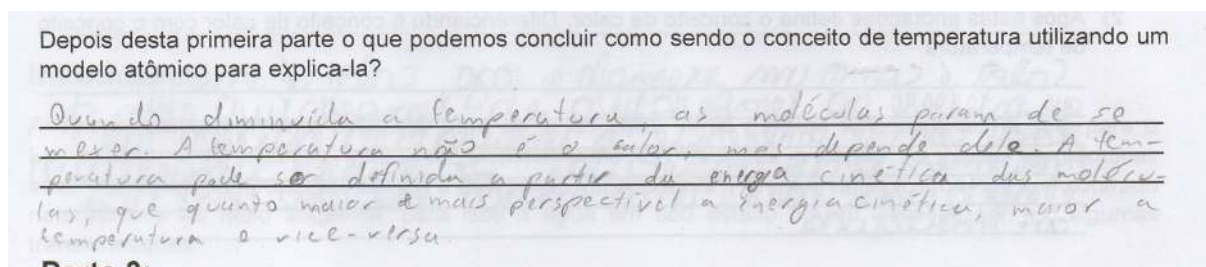
Figura 5.11 – Resposta do G1 a primeira pergunta da parte 2 da T5



Grupo	Trecho da Figura 5.11
G1	"As moléculas de O_2 ficam estática e em conjunto enquanto as moléculas de H_2O ficam estáticas nos espaços. Que a movimentação as moléculas provém da temperatura".

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5.12 – Resposta do G2 a primeira pergunta da parte 2 da T5



Grupo	Trecho da Figura 5.12
G2	"Quando diminuída a temperatura as moléculas param de se mexer. A temperatura não é o calor,mas depende dele. A temperatura pode ser definida a partir da energia cinética das moléculas, que quanto maior e mais perceptível a energia cinética, maior a temperatura e vice-versa".

Fonte: Dados da pesquisa.

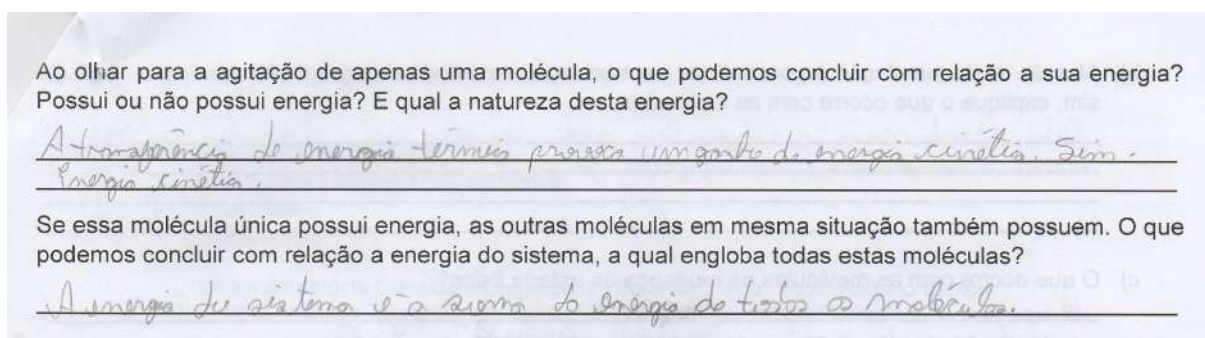
Primeiro, os estudantes descreveram o que observaram na simulação ao diminuir a temperatura da molécula de oxigênio (O_2) à $-273^{\circ}C$. Então, eles observaram que a essa temperatura as moléculas não se moviam⁷. O G1 relacionou a temperatura com a movimentação das moléculas, enquanto o G2 deixou claro que a temperatura está relacionada com o movimento das moléculas, mostrando mais os dados empíricos do que a reflexão sobre o que observaram na simulação. Em um outro momento o G2 associou de maneira adequada os conceitos científicos da energia térmica e da temperatura.

⁷ Não abordamos, mas aqui poderia ser trabalhada a escala absoluta, ou escala Kelvin, fazendo uma associação direta da energia de agitação das moléculas com a temperatura.

O destaque da diferenciação feita pelos estudantes dos conceitos de calor, temperatura e energia térmica sofre forte influência pela fala do professor e pelas informações obtidas pela internet, que desde a tarefa experimental começaram a ser construídas. No entanto, na tarefa de simulação, o professor tem a intenção de dar um dado visual ao modelo atômico e seu movimento, e assim inserir um novo conceito para os estudantes, o de *energia térmica*.

O professor orientou os estudantes por meio das questões que abordavam o conceito de energia, pedindo em uma questão a observação da movimentação de apenas uma molécula. Sobre isso, foi perguntado se esta única molécula possuía energia e qual a natureza dessa energia. Os estudantes dos dois grupos responderam que a molécula observada possuía energia, mas havia uma pequena diferença de interpretação entre os grupos como visto nos fragmentos nas figuras 5.13 e 5.14.

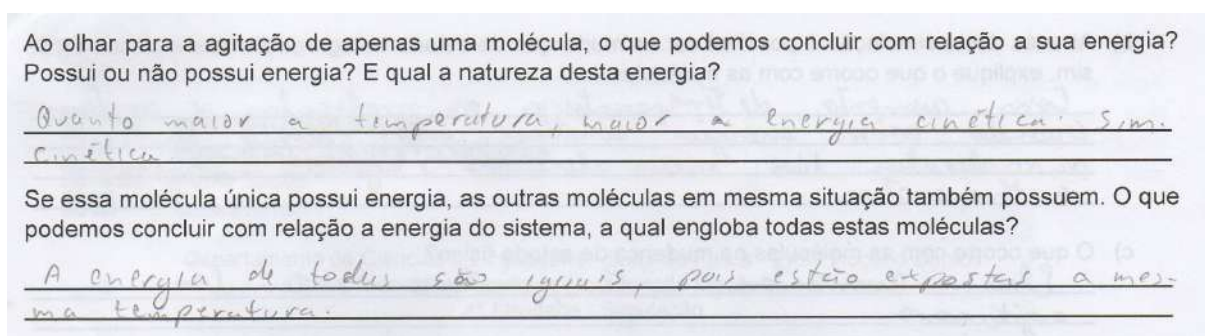
Figura 5.13 – Resposta do G1 a segunda e terceira perguntas da parte 1 da T5



Grupo	Trecho da Figura 5.13
G1	"A transferência de energia térmica provoca um ganho de energia cinética. Sim. Energia térmica".
G1	"A energia do sistema é a soma da energia de todas as moléculas".

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5.14 – Resposta do G2 a segunda e terceira perguntas da parte 1 da T5



Grupo	Trecho da Figura 5.14
G2	"Quanto maior a temperatura, maior a energia cinética. Sim. Cinética".
G2	"A energia de todos são iguais, pois estão expostas a mesma temperatura".

Fonte: Dados da pesquisa.

O G1 associa a energia térmica à energia cinética das moléculas, essa definição está de acordo com o entendimento da comunidade científica, conforme encontrados nos livros didáticos. Essa associação é feita sob influência do professor, pois na aula de sistematização dos conceitos, referidos nessa categoria de análise, o professor fez a relação da agitação das moléculas e partículas com a energia cinética e desta com a energia térmica. Se os estudantes tivessem visto o movimento oscilatório, o professor poderia associar a energia de vibração com as ondas eletromagnéticas geradas por vibração de cargas com comprimento de onda na faixa do infravermelho, definições encontradas em Rocha (2015).

O G2 fez a associação da temperatura com a energia cinética e indiretamente com a energia térmica, mas isso não ocorre com plena consciência dos estudantes, precisaria da mediação do professor para que isso ocorresse, mas deu-se liberdade aos estudantes para realizarem a tarefa como se fosse feita em casa, sem a mediação do professor.

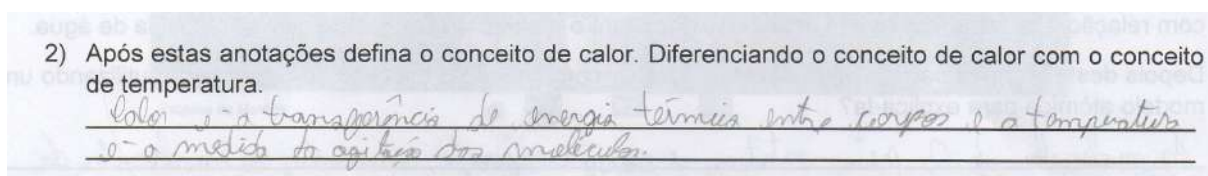
As associações feitas nessa etapa do desenvolvimento da UD mostraram um aspecto mais teórico no pensamento dos estudantes, pois as expressões usadas não são de uma observação direta, mas fruto de uma generalização, nesse caso específico, os estudantes fazem a generalização de que toda partícula em movimento possui energia cinética.

Observamos também uma associação da energia cinética de várias moléculas com a energia térmica. Interpretamos essa associação como componente do entendimento mais profundo dos estudantes dos conceitos teóricos da energia. Isso se dá em função da construção social feita durante o desenvolvimento da UD, que passou pela percepção direta das particularidades nos dados empíricos referentes aos conceitos inicialmente e pelo aprofundamento em busca das generalizações feitas, como nos trechos aqui mostrados.

Segundo (LEONTIEV, 1978) um conjunto de ações apropriados formam um significado que se estabelece nas relações sociais. Por exemplo, os estudantes estão observando a movimentação das moléculas aumentar e fazem uma relação dessa com o aumento da temperatura e discutem o que estão observando e conseguem por meio dos instrumentos sociais (linguagem comum) chegar a uma conclusão comum a todos, dando um significado generalizado e dentro daquele universo.

Os conceitos passam a fazer sentido para os estudantes após as ações executadas nas tarefas da UD. Ao final da tarefa de simulação foi pedido aos estudantes a definição do conceito de calor, diferenciando-o do conceito de temperatura. As respostas são encontradas nas figuras 5.15 e 5.16.

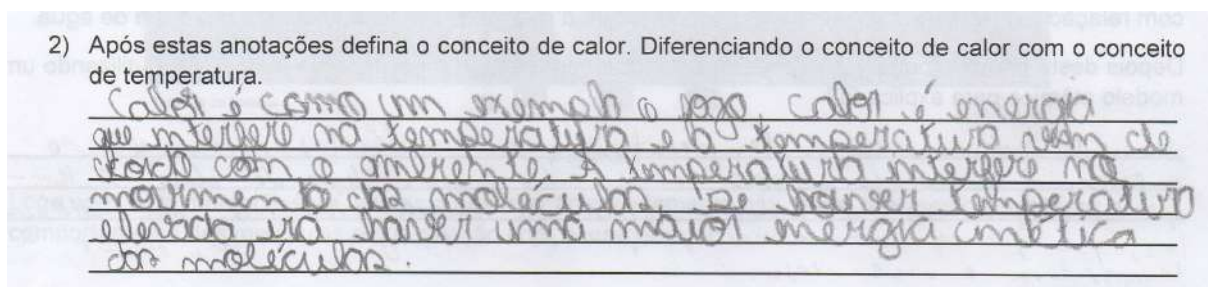
Figura 5.15 – Resposta do G1 na T5 dos conceitos de calor e temperatura



Grupo	Trecho da Figura 5.15
G1	"Calor é a transferência de energia térmica entre corpos e a temperatura é a medida da agitação das moléculas".

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5.16 – Resposta do G2 na T5 dos conceitos de calor e temperatura



Grupo	Trecho da Figura 5.16
G2	"Calor é como um exemplo o fogo, calor é energia que interfere na temperatura e a temperatura interfere no movimento das moléculas se houver temperatura elevada irá haver uma maior energia cinética das moléculas".

Fonte: Dados da pesquisa.

A definição de calor, feita pelos estudantes, não é uma cópia de um trecho do livro ou de uma definição feita em algum site da web. Os estudantes escreveram de acordo com o entendimento construído nas tarefas realizadas. Não precisaram decorar o conceito para simplesmente reproduzi-lo. Como faz parte de uma construção social, as ações fazem parte da formação do significado que pode ser simplificado, como os estudantes fizeram em suas respostas, descrevendo apenas o conceito. Diante dos trechos aqui analisados há evidências de que os estudantes aprenderam os conceitos de calor, temperatura e energia térmica e souberam diferenciá-los e

relacioná-los, o que não é trivial em uma perspectiva de aula tradicional⁸ em que o professor escreve no quadro e os estudantes reproduzem os conceitos em exercícios, em tarefas enfadonhas sem a construção consciente de significados dos conceitos.

Constatamos até aqui que o desenvolvimento do pensamento teórico é um processo. As atividades práticas, que precedem e iniciam todo esse processo, formam imagens cognitivas. O sujeito em ação coletiva, a partir dessas imagens gera uma reflexão racional, desenvolvendo um pensamento empírico, caracterizando uma organização superficial de conhecimento empírico. Ou desenvolver um pensamento teórico, caracterizando uma organização concreta, das inter-relações internas do objeto, caracterizando uma organização profunda do conhecimento teórico, expresso por meio dos conceitos.

Uma vez aprendido esses conceitos, eles servem como base para o entendimento das leis da Termodinâmica, servindo também para analisar o funcionamento e as explicações teóricas sobre as máquinas a vapor.

5.1.2 Pressão, Trabalho e a Máquina a Vapor

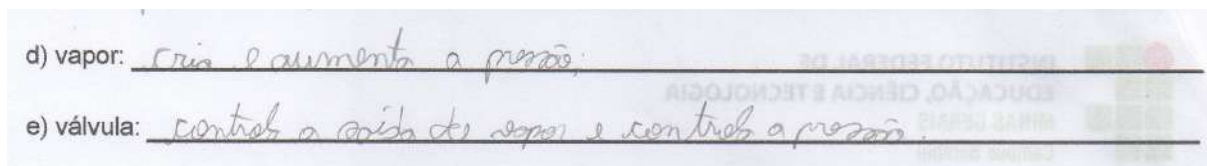
Pressão e trabalho são dois conceitos que foram trabalhados com a turma em dois momentos distintos. O conceito *trabalho* foi desenvolvido quando os estudantes estavam no 1º ano, por outro professor. O conceito de *pressão* foi desenvolvido com os estudantes pelo professor sujeito da pesquisa, como componente curricular antecessor ao desenvolvimento da UD, utilizando a mesma metodologia nos dois momentos. Nas disciplinas técnicas do curso técnico integrado de Manutenção Mecânica, os estudantes têm contatos com motores a combustão. Nessas disciplinas os estudantes contemplam empiricamente os conceitos de trabalho e pressão.

Ao retomar esses dois conceitos, o professor teve a intenção de relembrar os significados desses conceitos em um primeiro momento e depois utilizá-los para construir as leis da Termodinâmica. Para tanto, na segunda tarefa o professor apresentou um vídeo em que a panela de pressão explode. A intenção do professor foi mostrar na prática o poder da pressão do vapor acumulado. Em outro vídeo foi mostrada a relação entre a pressão do vapor dentro de uma panela de pressão e a temperatura interna do conjunto vapor-água. Nesse último vídeo abordou-se que o volume do vapor é mil e duzentas vezes maior que o volume d'água, o que será relevante para entender o funcionamento da máquina a vapor de Newcomen.

⁸ Catequese feita em aulas expositivas em que o professor começa a aula explanando os conceitos e faz com que os estudantes reproduzam quantidades de exercícios até que consigam reproduzir o mesmo conceito exposto inicialmente.

Antes de levantar as questões para ver a interpretação dos estudantes sobre o funcionamento da panela de pressão, buscou-se verificar se os estudantes prestaram atenção nos vídeos e captaram as informações contidas. Pediu-se para os estudantes descreverem qual a função de cada elemento para o bom funcionamento da panela de pressão, como mostrado na figura 5.17 e 5.18.

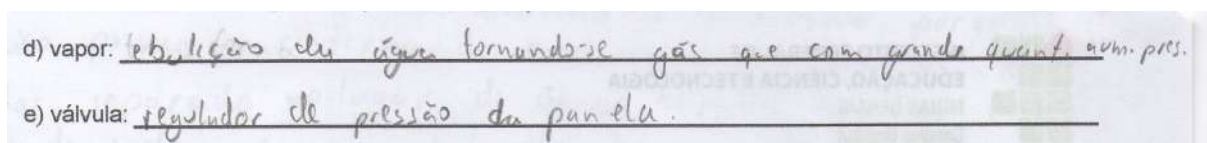
Figura 5.17 – Respostas da T2 referentes a pressão do G1



Grupo	Trecho da Figura 5.17
G1	d) vapor: "cria e aumenta a pressão".
G1	e) válvula: "controla a saída de vapor e controla a pressão".

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5.18 – Respostas da T2 referentes a pressão do G2



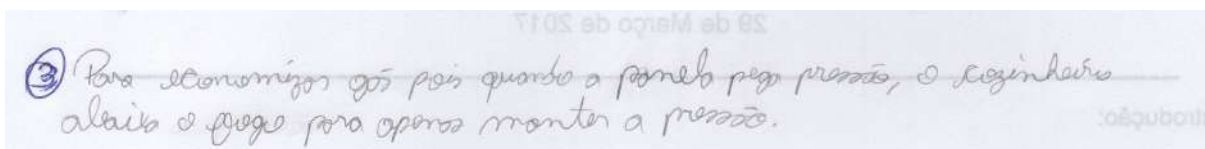
Grupo	Trecho da Figura 5.18
G2	d) vapor: "ebulição da água tornando-se gás que com grande quantidade aumenta a pressão".
G2	e) válvula: "regulador de pressão da panela".

Fonte: Dados da pesquisa.

O G1 respondeu que o vapor "cria e aumenta a pressão" e que a válvula serve para "controlar a saída de vapor e controlar a pressão". O G2 respondeu que a válvula serve para "regular a pressão na panela". As respostas dos estudantes foram coerentes com o conteúdo demonstrado no vídeo, dando indícios de que todos estavam atentos, como consta também em nota de campo do professor. As informações interiorizadas foram úteis para os estudantes formarem o significado dos conceitos, a ser construído nas etapas posteriores. Segundo Leontiev (1978) na atividade prática há o movimento do objeto que ao ser apropriado pelo indivíduo torna-se uma imagem na mente deste. Uma vez que se torna imagem esse objeto pode ser conscientizado e ganha significado na atividade reflexiva, mediada pelas relações sociais.

Na sequência, os estudantes foram questionados sobre uma situação que aparecia no vídeo em que a cozinheira "abaixa o fogo quando a panela ganha pressão" e lhes são perguntados o porquê da cozinheira executar essa ação. As respostas se encontram nas figuras 5.19 e 5.20.

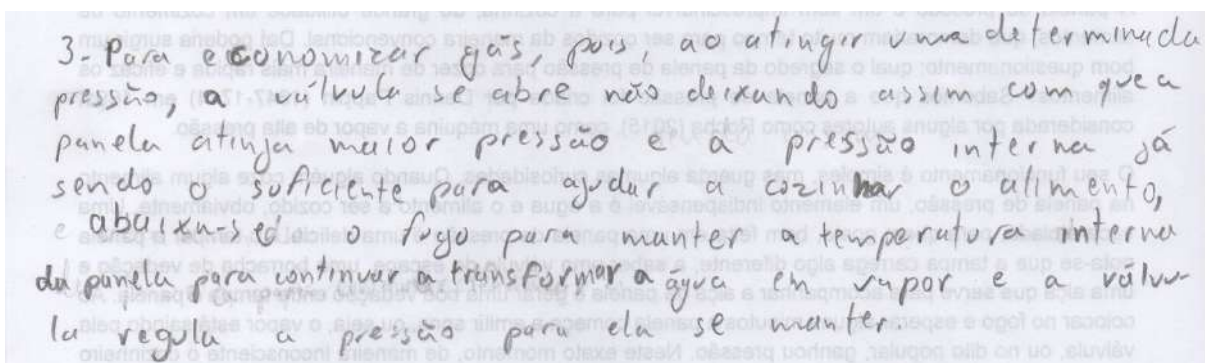
Figura 5.19 – Resposta da terceira questão da T2 do G1



Grupo	Trecho da Figura 5.19
G1	"Para economizar gás, pois quando a panela pega pressão, o cozinheiro abaixa o fogo para apenas manter a pressão".

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5.20 – Resposta da terceira questão da T2 do G2



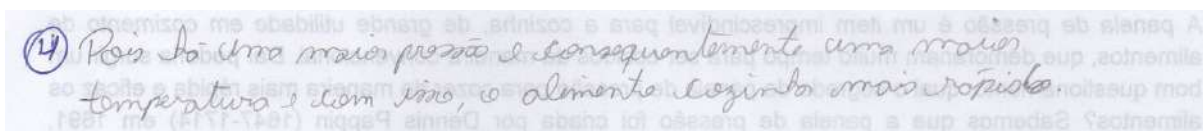
Grupo	Trecho da Figura 5.20
G2	"Para economizar gás, pois, ao atingir uma determinada pressão, a válvula se abre não deixando assim com que a panela atinja maior pressão e a pressão interna já sendo o suficiente para ajudar a cozinhar o alimento, abaixando o fogo para manter a temperatura interna da panela para continuar a transformar a água em vapor e a válvula regula a pressão para ela se manter".

Fonte: Dados da pesquisa.

Os estudantes dos dois grupos fazem uma descrição do que foi exposto nos vídeos. As interpretações das informações dadas nos vídeos são superficiais apesar de fidedignas, dando indícios de os estudantes estarem construindo imagens cognitivas dos dados empíricos observados nos vídeos. Identificamos um reflexo cognitivo superficial no discurso dos estudantes para a redação das respostas, podendo ser caracterizado como sendo o desenvolvimento do pensamento empírico.

Na quarta questão da T2 os estudantes foram questionados sobre o segredo para o cozimento mais rápido dos alimentos na panela de pressão. As respostas se encontram nas figuras 5.21 e 5.22.

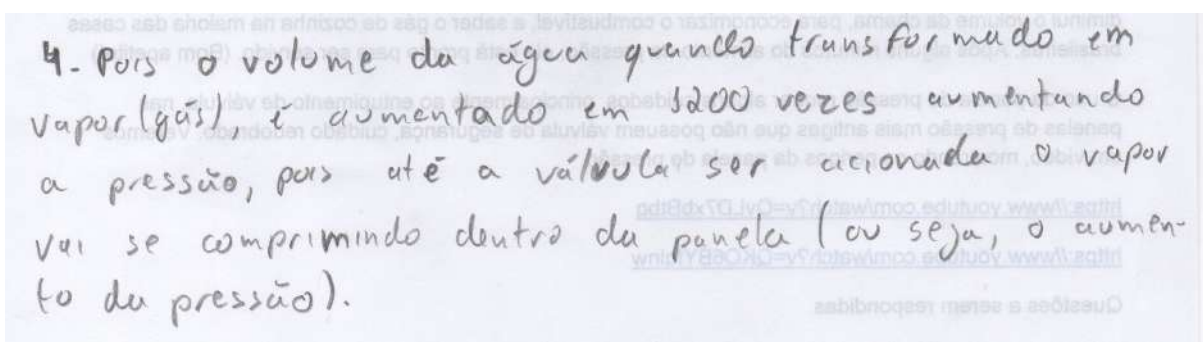
Figura 5.21 – Resposta da quarta questão da T2 do G1



Grupo	Trecho da Figura 5.21
G1	"Pois há uma maior pressão e consequentemente uma maior temperatura e com isso, o alimento cozinha mais rápido".

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5.22 – Resposta da quarta questão da T2 do G2



Grupo	Trecho da Figura 5.22
G1	"Pois o volume da água quando transformado em vapor (gás), é aumentado em 1200 vezes aumentando a pressão, pois até a válvula ser acionada o vapor vai se comprimindo dentro da panela (ou seja, o aumento da pressão)".

Fonte: Dados da pesquisa.

O G1 faz a relação do aumento da pressão diretamente com o aumento da temperatura, atribuindo a esse fato o cozimento mais rápido dos alimentos, como é feito na explicação do professor da USP dada no vídeo e destacada na mediação feita pelo professor local em sala de aula. A elaboração dessa resposta mostra uma conexão superficial das informações, dando indícios de que entenderam que o aumento da temperatura faz com que o fluxo de calor seja mais intenso para o alimento, mas não há um aprofundamento reflexivo. Os estudantes do G1 demonstram não ter muitos subsídios teóricos para uma elaboração conceitual mais aprofundada, fazendo um ajuntamento dos dados empíricos e desenvolvendo um pensamento superficial, empírico.

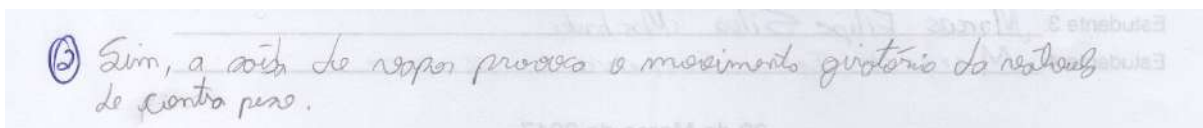
O G2 associa o aumento da pressão ao cozimento mais rápido dos alimentos, sem fazer nenhuma menção ao aumento de temperatura da água para o cozimento, pois é esse fato que

aumenta o fluxo de calor da água para o alimento efetuando um cozimento mais rápido. A associação das informações feitas pelos estudantes é superficial, o que mostra um movimento reflexivo superficial, característica do pensamento empírico, segundo Kosik (1976) o sujeito faz relações superficiais com a aparência do fenômeno contemplado, sem se aprofundar em sua essência, pois ali se encontra as relações mais profundas do objeto em que se formam os conceitos.

No meio da T2 perguntamos aos estudantes se a panela de pressão realizava algum trabalho mecânico. A intenção do professor nessa pergunta foi dialogar com os estudantes sobre o conceito 'trabalho', além de chamar a atenção dos estudantes de que toda a energia cinética gasta gera trabalho. Para essa resposta os estudantes pediram a mediação do professor para que eles pudessem lembrar do conceito. Para os dois grupos o professor contou a história da retirada da água de maneira braçal pelos homens em poços profundos. O trabalho mecânico realizado pelo homem faz com que ele gire uma manivela, assim o professor retorna a pergunta para os estudantes apontando para a panela de pressão e questionando se acontece algo parecido com ela.

Verificamos nas respostas que os estudantes identificaram a realização de trabalho pela ação do vapor na válvula. Seria precipitado de nossa parte dizer que eles compreenderam com profundidade o conceito de trabalho. Tratando-se de um primeiro contato, a pergunta tem o caráter introdutório, para ser um elemento a mais para a reflexão do estudante sobre o trabalho mecânico, pois estávamos próximos a introduzir a discussão sobre o funcionamento da máquina a vapor. Os estudantes dão apenas indícios de captar os dados empíricos e refleti-los no desenvolvimento do pensamento teórico para a construção do conhecimento científico. As respostas dos grupos estão expostas nas figuras 5.23 e 5.24.

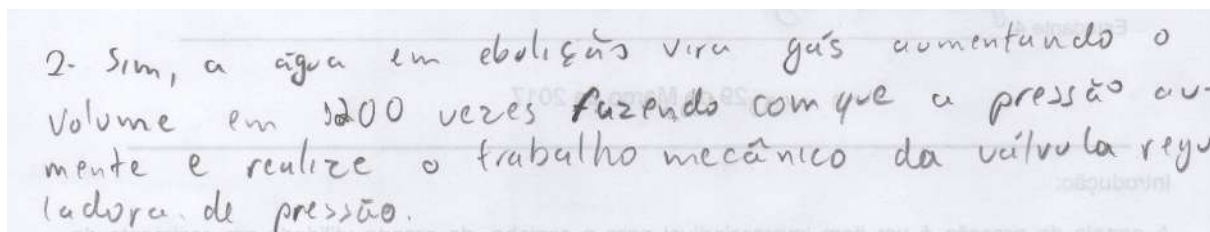
Figura 5.23 – Resposta da segunda questão da T2 do G1



Grupo	Trecho da Figura 5.23
G1	"Sim, a saída de vapor provoca o movimento giratório da válvula de contra peso".

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5.24 – Resposta da segunda questão da T2 do G2

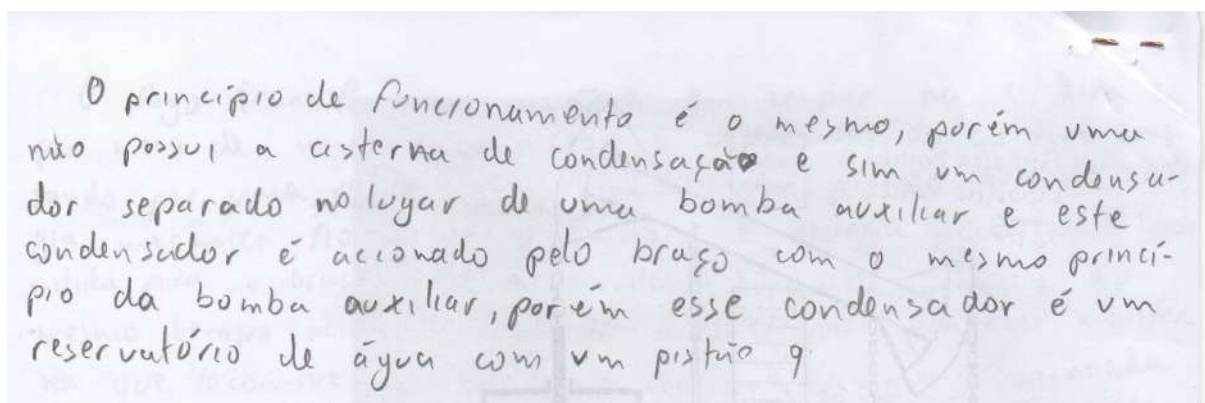


Grupo	Trecho da Figura 5.24
G2	"Sim, a água em ebulição vira gás aumentando o volume em 1200 vezes fazendo com que a pressão aumente e realize o trabalho mecânico da válvula reguladora de pressão".

Fonte: Dados da pesquisa.

A partir da terceira tarefa (T3) foram apresentadas figuras das máquinas de Newcomen e de Watt e os estudantes analisaram as figuras conforme as respostas encontradas nas figuras 5.25 e 5.26.

Figura 5.25 – Resposta da T3 do G2



Grupo	Trecho da Figura 5.25
G2	"O princípio de funcionamento é o mesmo, porém uma não possui a cisterna de condensação e sim um condensador separado no lugar de uma bomba auxiliar e este condensador é acionado pelo braço com o mesmo princípio da bomba auxiliar, porém esse condensador é um reservatório de água com um pistão".

Fonte: Dados da pesquisa.

Nas respostas dos grupos há uma descrição superficial do funcionamento da máquina a vapor. A utilização dos termos 'pressão' e 'força' mostram que os estudantes entendem implicitamente os dois conceitos, sabendo dar seus significados, mas não estão conscientes do conceito científico de pressão e força compartilhada na sociedade científica.

No diálogo entre os estudantes dentro do grupo é possível observar a busca por um entendimento socializado, importante para a formação social de significados e de linguagem, facilitando o entendimento coletivo e individual. Esse movimento é chamado por Vigotski

Figura 5.26 – Resposta da T3 do G1

1- Dadas as figuras abaixo de dois modelos de máquina a vapor, descrevam o funcionamento de cada uma e as suas finalidades.

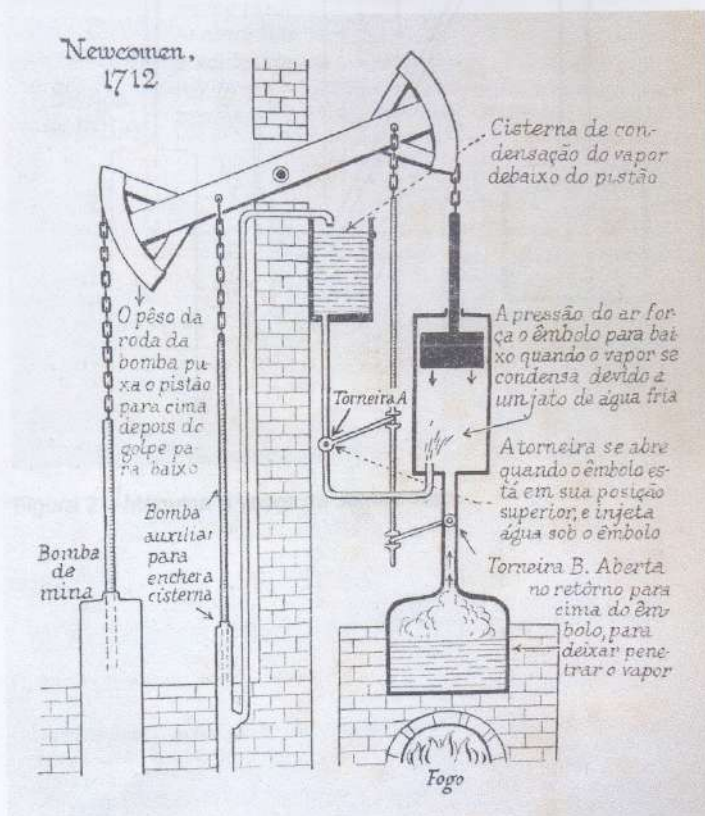


Figura 1 – Máquina a vapor de Thomas Newcomen

A fornalha aquece a caldeira que cria vapor que empurra o pistão para cima enquanto a válvula está aberta. Quando a válvula da caldeira se fecha, a válvula da cisterna de condensação se abre e libera água fria condensando o vapor e diminuindo o seu volume em 1200 vezes. Com o vácuo criado pela diminuição do volume, a pressão atmosférica cria força para empurrar o pistão para baixo. Essa atividade se repete sistematicamente e faz com que a bomba funcione.

Grupo	Trecho da Figura 5.26
G1	"A fornalha aquece a caldeira que cria vapor que empurra o pistão para cima enquanto a válvula está aberta. Quando a válvula da caldeira se fecha, a válvula da cisterna de condensação se abre e libera água fria condensando o vapor e diminuindo o seu volume em 1200 vezes. Com o vácuo criado pela diminuição do volume, a pressão atmosférica cria força para empurrar o pistão para baixo. Essa atividade se repete sistematicamente e faz com que a bomba funcione".

Fonte: Dados da pesquisa.

(2009) de processos psicológicos superiores inerentes aos seres humanos que segue o processo de interação entre os homens, interpsicológico, e depois esses processos são efetuados individualmente, intrapsicológico (LEONTIEV, 1978, p. 78).

Nas figuras expostas aos estudantes estavam descritos o que cada parte da máquina executava durante o funcionamento. É observado na resposta dos estudantes que eles utilizaram essa escrita. É possível que em uma leitura de um livro essa escrita passasse sem nenhuma

percepção, mas como os estudantes encontravam-se em *atividade*, a leitura foi tomada como uma *atividade* e seu conteúdo foi *conscientizado*.

É de suma importância a descrição do fenômeno do funcionamento da máquina a vapor, mesmo que superficial, pois o ponto de partida da investigação começa na percepção do fenômeno, para depois se chegar a essência da máquina a vapor, ou seja, pretende-se que nas tarefas em sequência o entendimento da estrutura interna da Termodinâmica, formada por conceitos e suas inter-relações, deem concreticidade ao conteúdo da Termodinâmica na consciência dos estudantes.

Antes de trabalhar as leis da Termodinâmica o professor sistematizou o conceito trabalho, mas esperava que os estudantes desenvolvessem esse conceito ao estudar a atividade do cilindro da máquina a vapor. Também foi intuito do professor desenvolver o conceito de pressão, ao analisar o funcionamento cíclico do êmbolo provocado pela pressão do vapor e pressão atmosférica, como será visto na análise da subseção a seguir.

5.1.3 Energia e a 1^a Lei da Termodinâmica

A presente seção abrange as últimas tarefas (T6, T7 e seminário), porque as leis da Termodinâmica são sustentadas pelos conceitos calor, temperatura, trabalho, energia e suas transformações, conceitos esses trabalhados em tarefas anteriores. Esses conceitos são considerados nexos conceituais das leis da Termodinâmica.

Ao iniciar a T6 o professor pediu para os estudantes identificarem na máquina o sistema e a vizinhança, além de identificarem a entrada e saída de energia da máquina. Também foi pedido para os estudantes mostrarem onde ocorria a transformação de energia e onde ocorria a mudança na natureza das energias. A intenção do professor nos questionamentos é explorar o Princípio da Conservação da energia na máquina a vapor de Newcomen. As respostas dos estudantes estão expostas nas figuras 5.27 e 5.28.

Para responder aos questionamentos feitos, o G1 dialogou com o professor sobre os critérios para se classificar sistema e vizinhança. O professor os orientou, dizendo que o sistema é o local onde as transformações de energia acontecem e que a vizinhança fornece e retira energia do sistema. Como visto na figura referente ao G1, os estudantes do G1 marcam corretamente a vizinhança e parcialmente o sistema, pois a cisterna não faz parte dele, porém como a cisterna interfere no funcionamento da máquina a vapor não se trata de um erro que atrapalhará a formação conceitual da 1^a lei da Termodinâmica.

Figura 5.27 – Resposta da primeira questão da T6 da G1

Uma outra coisa que poderia ser a entrada de calor e a temperatura. Con...

a) Indique na figura onde estão a vizinhança e o sistema.
 b) Indique com setas onde e quais as formas de entradas e saídas de energia do sistema.
 c) O que o sistema fará com essa energia vinda da vizinhança?
 d) Onde ocorre a realização de trabalho?

Resolução: a) 1) entrada de energia
 2) saída de energia
 c) O sistema transformará a energia térmica da vizinhança em energia interna no sistema, que ocasionará a expansão do vapor e ocasionará o movimento do êmbolo, realizando trabalho.
 d) no cilindro

Grupo	Trecho da Figura 5.27
G1	"b) (1) entrada de energia (2) saída de energia".
G1	"c) O sistema transformará a energia térmica da vizinhança em energia interna no sistema que ocasionará o movimento do êmbolo, realizando trabalho".
G1	"d) no cilindro".

Fonte: Dados da pesquisa.

Já o G2 identifica o fogo como vizinhança e assim como o G1, considera o sistema toda a máquina, incluindo a cisterna. O G2 dá indícios de que *entende* como a máquina transforma o calor em energia mecânica (realiza trabalho).

Os dois grupos identificam corretamente que é no cilindro ou no êmbolo que há realização de trabalho. O GIF reproduzido na lousa os ajuda a identificar onde o trabalho é realizado. Nessa etapa do desenvolvimento da UD, a interpretação dos estudantes utilizando os conceitos de energia, calor e trabalho para o funcionamento da máquina a vapor dão indícios de que estão se aprofundando no conhecimento concreto da Termodinâmica e desenvolvendo um pensamento teórico, pois se utilizaram dos conceitos para desenvolverem um raciocínio para a explicação dos fenômenos em busca da essência da Termodinâmica. Mas, nessa etapa do desenvolvimento das tarefas da UD ainda lhes falta ir mais fundo, construir na consciência as leis da Termodinâmica. Necessitam de mais elementos para a melhor compreensão dessas leis.

Figura 5.28 – Resposta da primeira questão da T6 da G2

a) Indique na figura onde estão a vizinhança e o sistema.
 b) Indique com setas onde e quais as formas de entradas e saídas de energia do sistema.
 c) O que o sistema fará com essa energia vinda da vizinhança?
 d) Onde ocorre a realização de trabalho?

Resolução: a) vizinhança → fogo. Sistema: êmbolo, caldeira e válvula de resfriamento. c) Transforma-la em energia Mecânica. d) No êmbolo que faz movimentar o braço.

Grupo	Trecho da Figura 5.28
G2	"a) vizinhança → fogo. Sistema: êmbolo, caldeira e válvula de resfriamento".
G2	"c) Transforma-la em energia Mecânica".
G2	"d) no êmbolo que faz movimentar o braço".

Fonte: Dados da pesquisa.

Esse desenvolvimento da formação de novos conceitos a partir de conceitos já apreendidos alcançam a previsão teórica para a atividade prática de estudos. A nossa intenção foi de que desse momento para frente o desenvolvimento dos estudantes pelas leis da Termodinâmica se apoiassem nos conceitos já apropriados de calor, temperatura, energia e trabalho. Para Kopnin (1978):

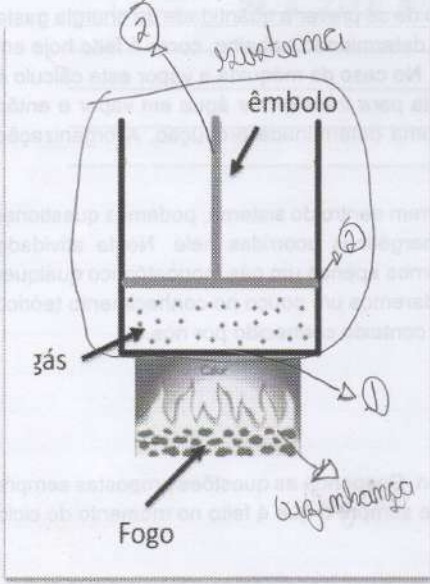
muitos conceitos novos se formam também à base dos conceitos anteriores. No entanto cada novo conceito não é uma simples totalidade, um crescimento quantitativo, a repetição e multiplicação de dados dos sentidos, mas o contínuo desenvolvimento desses dados, desenvolvimento que compreende a transformação em nova qualidade (p. 209).

Com a mediação do professor, já era esperado que os estudantes soubessem identificar o sistema e a vizinhança na máquina de Newcomen. Por isso, a figura em sequência na T6, exposta aos estudantes, foi somente um cilindro contendo gás, representando o sistema. O fogo abaixo do cilindro representou a vizinhança, mas nem o sistema e nem a vizinhança estavam

identificados na figura. O professor pediu novamente que os estudantes identificassem ambos na figura. O G1 identificou vizinhança e sistema. O G2 os identificou na escrita, no espaço reservado as respostas. Como mostram as figuras 5.29 e 5.30.

Figura 5.29 – Resposta da segunda questão da T6 da G1

Vamos agora reduzir o nosso sistema para apenas o que ocorre dentro do cilindro da máquina a vapor e trocamos o vapor d'água por um gás monoatômico qualquer. **Considere apenas a expansão.**



a) Indique no desenho o sistema e a vizinhança.
 b) Indique com setas onde e quais as formas de entradas e saídas de energia do sistema.
 c) Quais as transformações sofridas pelo sistema a nível energético?
 d) O que ocorre com o êmbolo nesta configuração?
 e) Há realização de trabalho? *sim.*

Resolução: (1) entrada: a energia entra no sistema através da transferência de calor entre a fornalha e o pistão.
 (2) saída: a energia sai do sistema através do calor gerado pelo atrito entre o êmbolo e o cilindro, e pelo trabalho gerado pela expansão dos gases dentro do cilindro.

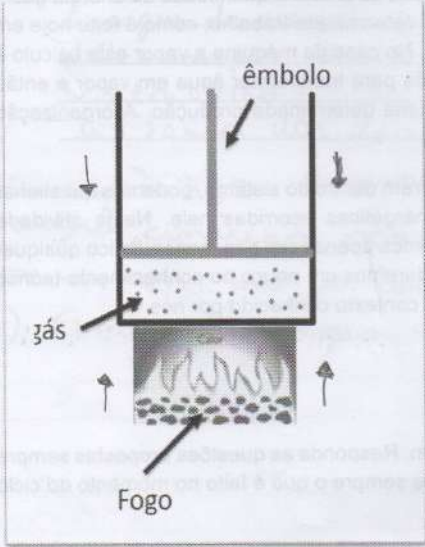
c) transformação de energia térmica em energia mecânica e vice-versa.
 d) o êmbolo movimentará verticalmente.

Grupo	Trecho da Figura 5.29
G1	"b) (1) entrada: a energia entra no sistema através da transferência de calor entre a fornalha e o pistão. (2) saída: a energia sai do sistema através do calor gerado pelo atrito entre o êmbolo e o cilindro e pelo trabalho gerado pela expansão dos gases dentro do cilindro".
G1	"c) Transformação de energia térmica em energia mecânica e vice-versa".
G1	"d) o êmbolo movimentará verticalmente".

Fonte: Dados da pesquisa.

O G1 identificou corretamente os locais de entrada e saída de energia, dando os primeiros indícios de que entenderam o conceito de energia. Nas respostas sobre trabalho e transformação de energia os estudantes do G1 evidenciaram que *entenderam* como ocorre a transformação de energia, dando indícios de que compreenderam o conceito de trabalho. Mas foi necessário abstrair um pouco mais as situações que circundam a máquina a vapor, como planejado pelo professor, para se alcançar o entendimento da primeira lei da Termodinâmica.

Figura 5.30 – Resposta da segunda questão da T6 da G2



a) Indique no desenho o sistema e a vizinhança.
 b) Indique com setas onde e quais as formas de entradas e saídas de energia do sistema.
 c) Quais as transformações sofridas pelo sistema a nível energético?
 d) O que ocorre com o êmbolo nesta configuração?
 e) Há realização de trabalho?

Resolução: a) O sistema é o êmbolo e o gás e a vizinhança é o fogo. b) Transformação de energia térmica em energia cinética. c) O calor aquece o gás que movimenta o êmbolo. d) sim, trabalho do êmbolo.

Grupo	Trecho da Figura 5.30
G2	"a) O sistema é o êmbolo e o gás; a vizinhança é o fogo".
G2	"c) Transformação de energia térmica em energia interna".
G2	"d) o calor aquece o gás que movimenta o êmbolo".
G2	"e) sim, trabalho do êmbolo".

Fonte: Dados da pesquisa.

O G2 identificou a saída de energia com setas para baixo, as posicionando-as nas laterais do cilindro, indicando perda de calor no local. Já a entrada de energia foi simbolizada por uma seta para cima posicionada no fogo, indicando o local por onde entra energia (calor) no cilindro. Os estudantes do G2 ao responderem sobre as transformações de energia, como pode ser visto na figura, deram evidências de que *entenderam* como ocorrem as transformações de energia e a mudança que há em sua natureza, de térmica para mecânica, ou calor em trabalho. Mas percebemos ainda o uso de concepções alternativas em suas respostas quando escrevem: "o calor **aquece** o gás que movimenta o êmbolo". Os estudantes dão indícios de entender **aquecer** por aumentar a temperatura. E viram com clareza que o movimento do êmbolo significa realização de trabalho, apesar de não o formalizar em seu conceito científico.

A utilização dos conceitos de calor, trabalho e energia nas análises feitas pelos estudantes, expostas em suas elaborações conceituais dão evidências de que eles iniciaram o desenvolvimento do pensamento teórico dos conteúdos da Termodinâmica. Porém, foi necessário que se avançasse nas abstrações e que os estudantes vissem situações particulares, devidamente con-

textualizadas mas um pouco fora da realidade, deixando o pensamento *operar por conceitos* e suposições nos processos termodinâmicos.

5.1.3.1 Os Processos Termodinâmicos e as Abstrações no Ensino

O processo adiabático foi o primeiro apresentado aos estudantes. O cilindro é revestido por material que não conduz calor, incluindo o êmbolo. Perguntou-se aos estudantes como introduzir energia em um sistema supostamente lacrado. A intenção do professor era fazê-los pensar operando com os conceitos que eles já possuíam da Termodinâmica em uma situação particular possível, porém não realizada por eles.

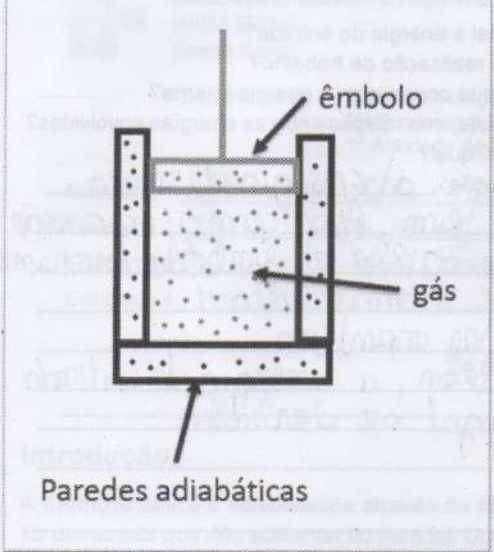
Os estudantes dos dois grupos (G1 e G2) inicialmente responderam que não era possível, pois não tinha como entrar energia. Os estudantes questionaram o professor se o que eles responderam estava correto. Então o professor vinha com outras perguntas, por exemplo: "É somente por meio do calor que entra energia no cilindro?" Ou "Por acaso o êmbolo está travado?" As perguntas chamam a atenção dos estudantes para olhar outros elementos do cilindro onde poderia ter a entrada de energia. Contudo, as respostas dos dois grupos divergiram, muito pela postura dos estudantes ao elaborar as respostas. O G1 respondeu em conjunto a maioria das questões desde a primeira tarefa, e mesmo nos momentos que dividiam as tarefas requisitavam mais a mediação do professor. O G2 teve uma postura diferente, em muitos momentos dividiram as tarefas e pouco procuravam a mediação do professor ou dos colegas. As respostas dos dois grupos estão expostas nas figuras 5.31 e 5.32.

O G1 segue as instruções dadas na mediação e responde com precisão a questões propostas para um cilindro com paredes adiabáticas contendo gás. O professor é chamado mais vezes e sempre os responde com perguntas, por exemplo: "Se abaixar o êmbolo com a mão, o que acontece com o gás com relação a sua temperatura e pressão?" Ou "O que acontece com a energia do gás se a temperatura aumentar ou diminuir?" As questões, feitas oralmente pelo professor, orientaram os estudantes a pensar na solução das questões presentes na figura 5.31.

Os estudantes do G1, em seus argumentos, usaram conceitos da Termodinâmica para a resolução dos problemas. Ao imaginar o que ocorre com o gás ao ser comprimido fizeram um experimento mental e, de acordo com os conceitos já apreendidos na mente, construíram coletivamente a resposta coerente. Para Davidov (1986) o experimento mental "constitui a base do pensamento teórico, que opera mediante conceitos científicos" (p. 300). Com isso, o G1 dá indícios que pensou teoricamente no problema proposto. Outro ponto, notou-se que os estudantes necessitaram da mediação para se desenvolver, o que caracteriza o problema proposto como uma Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI) criada pelo professor. Também foi proporcio-

Figura 5.31 – Resposta da terceira questão da T6 da G1

faremos algumas modificações no cilindro. Ao invés de ter suas paredes de aço em contato com o meio ambiente, o revestiremos com paredes adiabáticas, ou seja, paredes que impeçam a entrada de calor. Será que sem a entrada de calor é possível ocorrer alguma transformação no gás!? Responda as questões abaixo:



a) Com as paredes adiabáticas protegendo o cilindro há alguma possibilidade de entrada de energia no sistema?

b) Nesta situação, há realização de trabalho? Se sim, como ele se processa?

c) Se o gás for comprimido pelo êmbolo, o que ocorrerá com ele?

d) Se o gás sofrer uma expansão, o que ocorrerá com ele?

e) Existe uma relação entre as energias envolvidas? Se sim, qual?

Resolução: a) sim, com força manual
 b) sim, você mesmo realizará o trabalho através da movimentação manual do êmbolo
 c) Aumentará a pressão, a temperatura, e diminuirá o volume
 d) Aumentará o volume, diminuirá a pressão
 e) sim, a energia de entrada aumentará a energia interna no sistema.

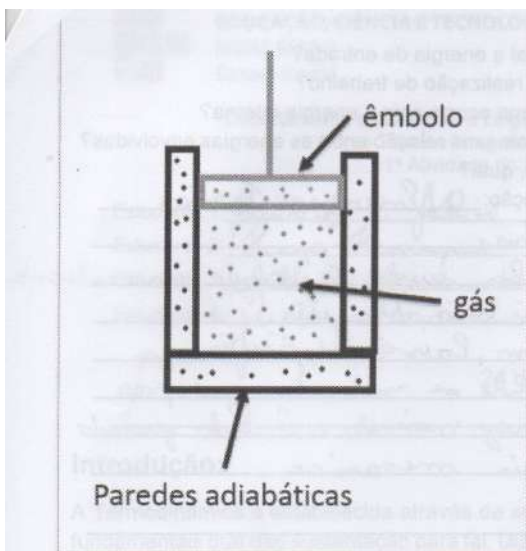
Grupo	Trecho da Figura 5.31
G1	"a) sim, com força manual".
G1	"b) sim, você mesmo realizará o trabalho através da movimentação manual do êmbolo".
G1	"c) Aumentará a pressão, a temperatura e diminuirá o volume".
G1	"d) Aumentará o volume, diminuirá a pressão".
G1	"e) sim, a energia de entrada aumentará a energia interna no sistema".

Fonte: Dados da pesquisa.

nado na T6 um ambiente para a atividade laboral dos estudantes, em conformidade com a teoria histórico-cultural de Vigotski (2009).

O G2 repartiu a T6, cada um fez a sua parte, analisamos as respostas como uma construção individual. Notamos que as respostas do G2 foram elaboradas a partir das concepções alternativas. A expressão "troca de temperatura" e a justificativa sem sentido da questão (b) [pois a realização de trabalho está relacionada com o movimento do êmbolo, como o G2 já havia respondido em outras questões] são exemplos de que o estudante respondeu segundo suas concepções alternativas. Isso se justifica por ser mais seguro responder por concepções alternativas que estão há mais tempo no imaginário do que produzir elaborações baseadas em conceitos e assim operar o pensamento. Mesmo o professor chamando atenção de que a resposta estava

Figura 5.32 – Resposta da terceira questão da T6 da G2



a) Com as paredes adiabáticas protegendo o cilindro há alguma possibilidade de entrada de energia no sistema?

b) Nesta situação, há realização de trabalho? Se sim, como ele se processa?

c) Se o gás for comprimido pelo êmbolo, o que ocorrerá com ele?

d) Se o gás sofrer uma expansão, o que ocorrerá com ele?

e) Existe uma relação entre as energias envolvidas? Se sim, qual?

Resolução: a) Não pois se não há a troca de temperatura, o volume será o mesmo e a energia será a mesma.

b) Não pois se $E_m = E_c + E_p$ e E_c é nula e energia potencial é a mesma não há trabalho. c) o volume irá diminuir, mas a temperatura irá subir em relação a energia cinética, ocasionando assim a geração de calor.

Analisaremos agora uma transformação isovolumétrica, ou seja, o volume do cilindro é mantido constante.

Grupo	Trecho da Figura 5.32
G2	"a) Não, pois se não há a troca de temperatura, o volume será a mesma e a energia será a mesma".
G2	"b) Não, pois se $E_m = E_c + E_p$ e E_c é nula e energia potencial é a mesma não há trabalho".
G2	"c) o volume irá diminuir, mas a temperatura irá subir em relação a energia cinética, ocasionando assim a geração de calor".

Fonte: Dados da pesquisa.

errada o estudante em questão e o G2 não modificou a resposta. Há uma potencialidade para que os estudantes se desenvolvam, mas a escolha real de se desenvolver é do estudante, como dito por Prestes (2010) a "zona de desenvolvimento iminente revela o que a criança (ou estudante) pode desenvolver, não significa que irá obrigatoriamente desenvolver"(p. 160).

Ao final desta parte o professor esperava que os estudantes percebessem que o trabalho feito no gás aumentaria a energia interna. Mas as respostas dos grupos mostram que os estudantes perceberam que ao apertar o êmbolo as moléculas do gás se agitam mais e conseqüentemente a temperatura aumenta, com isso a energia cinética do gás também aumenta, aumentando assim a energia interna do cilindro. Falta aos estudantes essa última elaboração, comparar o aumento de temperatura ao aumento de energia interna. Por se tratar do primeiro contato com esse tipo de situação particular é normal que o estudante não alcance o ápice do desenvolvimento esperado.

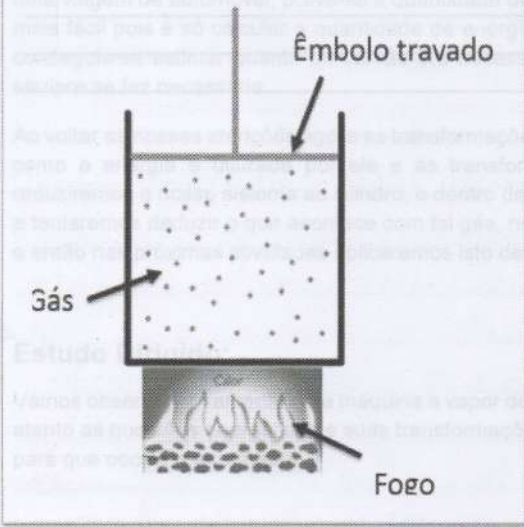
O processo isovolumétrico (isocórico) é a segunda situação mostrada aos estudantes. O êmbolo se encontra travado e o cilindro contendo gás aquecido pelo fogo. Os estudantes são

questionados se nessas condições há realização de trabalho. Aqui a intenção do professor é fazer com que os estudantes percebam que sem movimentação do êmbolo não há realização de trabalho e que toda a energia vinda da vizinhança (fogo) é transformada em energia interna.

Figura 5.33 – Resposta da quarta questão da T6 da G1

Analisaremos agora uma transformação isovolumétrica, ou seja, o volume do cilindro é mantido constante. Se o êmbolo for travado há realização de trabalho!? Responda essa e outras questões abaixo:

Não haverá realização de trabalho.



a) Qual a energia de entrada?
 b) Como o sistema utiliza a energia vinda da vizinhança uma vez que o êmbolo está travado?
 c) Há realização de trabalho pelo sistema? Explique sua resposta.
 d) Existe uma relação entre as energias envolvidas? Se sim, qual?

Resolução: a) energia térmica
 b) Através do aumento da agitação das moléculas, aumentando a temperatura dentro do sistema
 c) Não, pois o êmbolo não se movimenta pois está travado.
 d) Sim, a energia térmica influencia no aumento da energia interna.

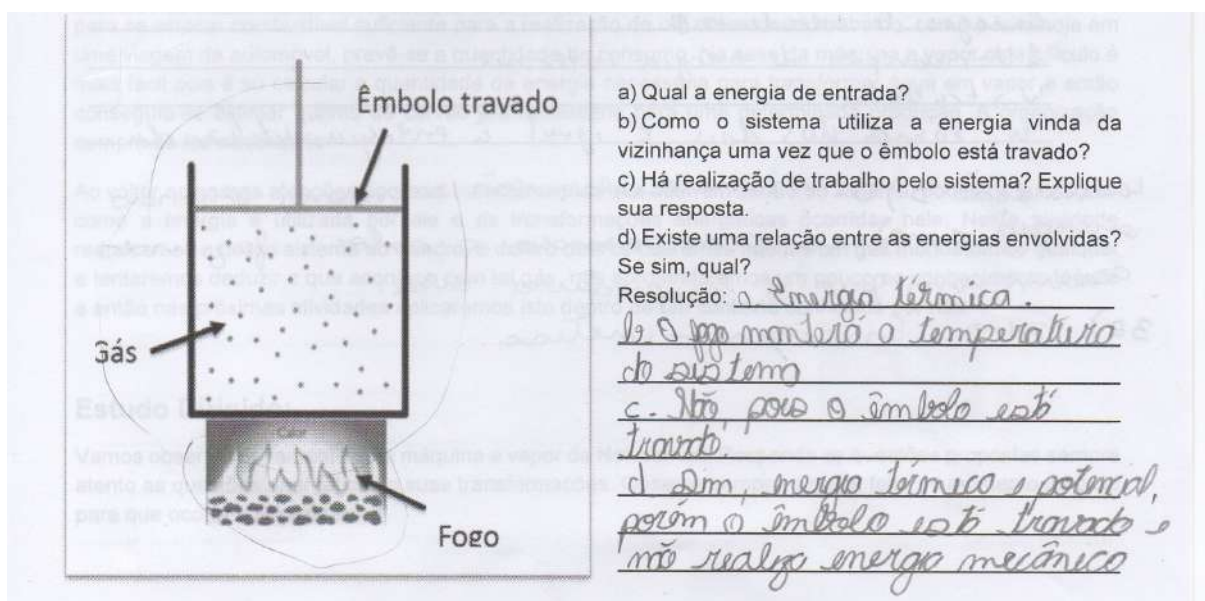
Grupo	Trecho da Figura 5.33
G1	"a) energia térmica".
G1	"b) Através do aumento da agitação das moléculas, aumentará a temperatura dentro do sistema".
G1	"c) Não, pois o embolo não se movimenta pois está travado".
G1	"d) Sim, a energia térmica influencia no aumento da energia interna".

Fonte: Dados da pesquisa.

Os dois grupos identificaram que não há realização de trabalho em um processo isovolumétrico, justificando a resposta pelo travamento do êmbolo. Essa dedução se fez pela relação feita da movimentação do êmbolo e a realização de trabalho. Se o êmbolo não se movimenta não há realização de trabalho e não vai ocorrer a movimentação do braço mecânico, nem do bombeamento de água.

Todos os elementos citados são dados empíricos apropriados pelos estudantes em outras tarefas em atividades de estudos em que esses elementos foram discutidos. Segundo Kopnin (1978, p. 209) "na formação de conceitos são de grande importância o experimento, a simplificação teórica (a abstração de circunstâncias não-essenciais, exteriores ao objeto, que obscurecem a essência deste) e outras operações do pensamento". Essas atividades importantes,

Figura 5.34 – Resposta da quarta questão da T6 da G2



Grupo	Trecho da Figura 5.34
G2	"a) Energia térmica".
G2	"b) O fogo manterá a temperatura do sistema".
G2	"c) Não, pois o êmbolo está travado".
G2	"d) sim, energia térmica e potencial, porém o êmbolo está travado e não realiza trabalho".

Fonte: Dados da pesquisa.

mencionadas por Kopnin (1978) para a formação do conceito, foram colocadas em prática na UD ao serem planejadas e desenvolvidas nas tarefas T2, T3 e agora na T6 em atividades de estudo e de ensino.

Entretanto, na T6, o experimento proposto para os estudantes é mental, na intenção do desenvolvimento do pensamento teórico. Kopnin (1978, p. 209) diz que "nas ciências em que o experimento é impossível, usam-se ilustrações abstratas, representação mental das mudanças das dependências no objeto, abstração isolada, todas as suposições possíveis, construção de esquema, de gráficos, descrição matemática dos fenômenos". Esses elementos estão presentes em diferentes momentos da UD, importantes para o desenvolvimento do pensamento lógico por meio da análise e da síntese por parte dos estudantes em atividade de estudos.

No prosseguir e desenrolar das tarefas os estudantes desenvolveram o "pensamento lógico" na resolução dos experimentos mentais. Quando questionados sobre a energia de entrada, os estudantes dizem que é a energia térmica. Aqui devemos interpretar que a energia térmica é vinda do fogo e transferida para o gás, a esse processo damos o nome de calor. Ao responder energia térmica e não calor a resposta dos estudantes é mais precisa, pois o calor é o processo

de transferência de energia térmica entre corpos de temperaturas diferentes e não energia propriamente dita.

Na questão (b) percebemos que os estudantes do G1 se conscientizaram com o modelo atômico, pois na resposta do grupo a temperatura é correlacionada com a agitação das moléculas. Além disso, a resposta do item (d) mostra que os estudantes fazem uma correlação entre energia interna e a temperatura, como é feito na mecânica entre a velocidade e a energia cinética, por exemplo.

Entretanto, é possível identificar diferenças entre os dois grupos na qualidade da elaboração das questões. Nos itens (b) e (d) é possível notar a diferença que há entre responder em grupo e individualmente. O G1 decidiu resolver todas as questões em grupo, dialogando antes de responder a qualquer questão. Já o G2 não manteve a mesma postura, ao contrário do que foram orientados (resolver as questões no coletivo, socializando ideias). O G2 dividiu as tarefas e respondiam as questões individualmente, por isso as respostas do item (b) e (d) do G2 são imprecisas, ao contrário do que notamos nas respostas dos mesmos itens do G1.

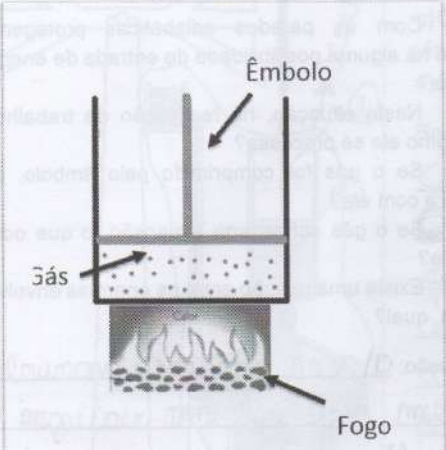
Apenas o G1 consegue explicar com clareza que a energia térmica fornecida pelo fogo é absorvida pelo gás e transformada em energia interna. A explicação dada pelo G2 é confusa, diz mais o que não é feito do que acontece de fato. Interpretamos que o G1 possuía um ambiente propício para a atividade laboral, trabalharam em colaboração, interagindo entre si e com o professor em um processo interpsicológico, para o desenvolvimento dos conceitos. O que não ocorre no G2, pois estão realizando uma tarefa individual e de certo modo mecânica, por isso suas respostas possuem pouca coesão.

O processo isotérmico é a última situação colocada para os estudantes. O cilindro é posto em um banho térmico para que o gás não sofra variações de temperatura na realização de trabalho. A intenção do professor é orientar os estudantes a observarem que se o sistema realizar trabalho, mesmo com a absorção do calor pelo sistema, a energia térmica permanece invariante, ou seja, o calor recebido gera apenas trabalho.

Os estudantes foram informados pelo professor que nesse caso o trabalho não poderia ser feito por nenhum agente humano e orientou-os a responder a primeira questão. Logo, os estudantes chegam à conclusão de que a energia térmica é a energia de entrada. Outra informação dada foi que o êmbolo está livre para se movimentar, então os estudantes concluíram que há realização de trabalho, fato possivelmente facilitado pelo estudo recente do processo isovolumétrico em que o êmbolo está travado e não há realização de trabalho.

Figura 5.35 – Resposta da quinta questão da T6 da G1

Uma outra coisa que podemos fazer em nosso sistema é manter a temperatura constante, mesmo com a entrada de calor e a realização de trabalho, essa transformação é isotérmica, assim sendo não há variação de temperatura. **Considere apenas a expansão.**



a) Qual a energia de entrada?
 b) Há realização de trabalho?
 c) O que ocorre com a energia interna?
 d) Existe uma relação entre as energias envolvidas?
 Se sim, qual?

Resolução: a) energia térmica
b) sim, pois com a expansão dos gases o êmbolo movimentar-se-á.
c) se mantém
d) sim, a energia de entrada é igual ao trabalho

Grupo	Trecho da Figura 5.35
G1	"a) Energia térmica".
G1	"b) Sim, pois com a expansão dos gases, o êmbolo movimentará".
G1	"c) se mantém".
G1	"d) sim, a energia de entrada é igual ao trabalho".

Fonte: Dados da pesquisa.

Nas questões (c) e (d) os grupos divergem em suas justificativas às respostas. O G1 dialogou com o professor sobre a energia interna em um processo isotérmico. Então, o professor perguntou aos estudantes se há dependência da energia interna com a temperatura e caso haja, em um processo isotérmico em que a temperatura é constante, o que ocorre com a energia interna. O G1 responde corretamente após uma busca *ativa* da resposta coerente com o que já foi apreendido por eles em outras tarefas. Se a energia interna não varia a resposta da questão (d) é correta, fruto de uma grande discussão com o professor sobre energia de entrada, energia retida pelo gás e trabalho (energia mecânica). Como a energia interna se mantém, os estudantes do G1 concluíram que a energia de entrada é igual ao trabalho.

Aqui configurou-se ações conjuntas dos estudantes com o professor, em uma atividade laboral. Essa configuração de atividade propicia a apropriação dos conteúdos consubstanciados pela linguagem compartilhada entre os estudantes e o professor, indicando uma significativa apropriação dos conceitos científicos.

As respostas das questões (c) e (d) do G2 não fazem sentido. O possível motivo é a individualização das respostas. A escrita das respostas do G2 é coerente, porém não respondem as questões feitas na tarefa. Um exemplo disso, é a resposta da questão (c). Os estudantes

Figura 5.36 – Resposta da quinta questão da T6 da G2

a) Qual a energia de entrada?
 b) Há realização de trabalho?
 c) O que ocorre com a energia interna?
 d) Existe uma relação entre as energias envolvidas?
 Se sim, qual?
 Resolução: a) Energia Térmica
 b) Sim
 c) Ela aumenta porque as moléculas do gás vão se agitar
 d) Sim, pois energia térmica agitando as moléculas que por sua vez movimentam o êmbolo gerando energia mecânica

Grupo	Trecho da Figura 5.36
G2	"a) Energia Térmica".
G2	"b) Sim".
G2	"c) Ela aumenta, porque as moléculas do gás vão se agitar".
G2	"d) Sim, pois energia térmica agitando as moléculas que por sua vez movimentam o êmbolo gerando energia mecânica".

Fonte: Dados da pesquisa.

são questionados sobre o que ocorre com a energia interna em um processo isotérmico. Se o processo é isotérmico a energia interna é constante, porém os estudantes responderam que a energia interna aumenta e a justificativa dada é coerente com a resposta dos estudantes. Já na questão (d) não há a mesma coerência.

Ao final, os estudantes foram orientados a elaborar um modelo matemático que explicasse a relação entre a energia de entrada, a utilizada pelo sistema e o trabalho realizado, respeitando o Princípio da Conservação da energia. Depois de uma ampla discussão entre os estudantes e o professor, o G1 simplifica e responde corretamente. O G2 mantém uma ampla discussão com o professor, que vai ao quadro explicar por meio dos processos termodinâmicos já estudados sobre o fluxo de energia. O resumo da explicação feita pelo professor na lousa foi copiada pelo G2 no espaço reservado para a resposta.

Figura 5.37 – Modelo matemático da 1ª Lei da Termodinâmica na respostas do G1

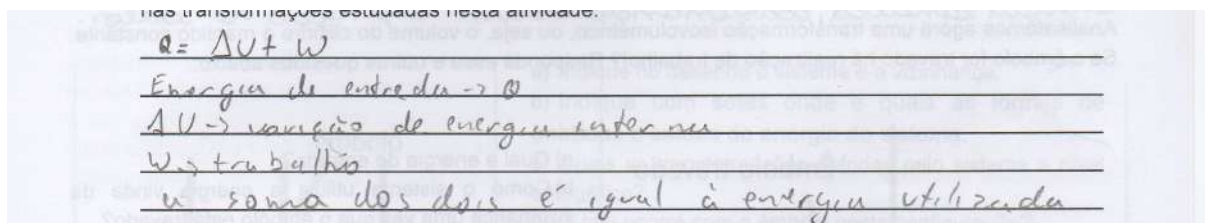
Considerando a Conservação da Energia como algo fundamental da natureza, e se nessas transformações ocorrem essa conservação, faça um balanço energético em um modelo matemático, entre a energia de entrada e a energia utilizada pelo sistema, tendo como base o que foi estudado nas transformações estudadas nesta atividade.

$$E_{\text{entrada}} = \Delta U + W$$

Grupo	Trecho da Figura 5.37
G1	" $Q = \Delta U + W$ ".

Fonte: Dados da pesquisa.

Figura 5.38 – Modelo matemático da 1ª Lei da Termodinâmica na respostas do G2



Grupo	Trecho da Figura 5.38
G2	" $Q = \Delta U + W$ ".
G2	"Energia de entrada $\rightarrow Q$ ".
G2	" $\Delta U \rightarrow$ variação de energia interna".
G2	" $W \rightarrow$ trabalho".
G2	"a soma dos dois [últimos parâmetros] é igual a energia utilizada".

Fonte: Dados da pesquisa.

Segue abaixo o trecho que mostra como ocorreu a construção da 1ª lei da Termodinâmica em diálogo entre o professor e os estudantes:

P: Vamos focar nos elementos aqui, vamos fazer uma analogia. Imagina que eu tenha aqui 100 reais, ok? 60 pra... 60 reais é utilizado numa coisa, pra, pra entretenimento, e 40 pra comer, ok? Fiz o balanço energético, pra 100 de entrada, 60 mais 40, 100 de saída.

E: [ao fundo] Então Q é igual a U.

E: [ao fundo] A variação...

E: [ao fundo] A energia interna é o trabalho.

inaudível

P: Vocês concordam com ele? Q é igual a delta U mais o trabalho?

E: [ao fundo] Agora sim.

P: Sim ou não? Isso aqui tá correto? Onde que tá a energia de entrada aqui nessa equação?

E: [ao fundo] O quê?

P: Todo mundo concorda com a Fabiane?

E1: Concorda.

P: Onde é que tá a energia de entrada aqui na equação?

E1: Q.

E5: O Q.

P: E aonde que tá a energia utilizada?

E1: No U.

E: [ao fundo] Delta U.

E1: O W o é trabalho, uai.

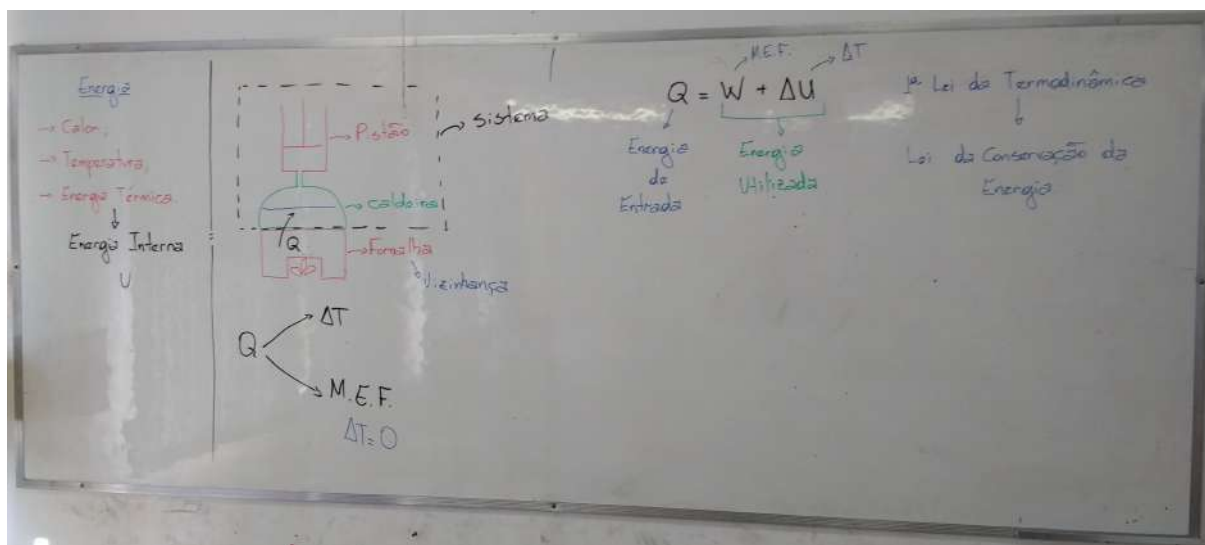
E: [ao fundo] Coloca nos dois.

P: Isso... Será que isso aqui vai funcionar pra todas as transformações?

E: [ao fundo] Na adição.

P: Tem que funcionar. Pra todas as transformações. Então, por exemplo, na transformação isotérmica? Vocês falaram que a variação da energia interna é

Figura 5.39 – Quadro usado pelo professor no diálogo com os estudantes na mediação da 1ª lei da Termodinâmica no desenvolvimento da T6.



Fonte: O Autor.

igual a zero.

E: [ao fundo] Tem nada a ver isso não?

P: Não, a gente tá... não tá considerando que tá saindo calor pelas laterais aqui, tá? Se a gente for considerar a gente coloca Q de entrada menos Q de saída. Que vai ocorrer essa transformação. Presta a atenção. Ó, numa transformação isotérmica. Moçada! Vamo lá? Numa transformação isotérmica, tem variação da energia interna?

E: [ao fundo] Isotérmica?

E: [ao fundo] Tem...

P: Tem ou não tem?

inaudível

P: Isotérmica, temperatura constante, tem variação da energia interna, sim ou não?

E: [juntos] Não.

E: [ao fundo] Não, pois é constante.

P: Então isso aqui é igual a zero. Você tem o calor que é transformado em energia de trabalho. Então, numa transformação adiabática, quanto é que vai de calor? Igual tá aqui?

inaudível

P: Zero.

E: [ao fundo] É igual a...

P: Então, delta U mais W tem que ser?

Es: [juntos] Zero.

E1: Oh, Rogério!

P: Ok? Delta U mais W é igual a zero.

E: [ao fundo] Rogério!

E2: Então é só copiar aquela fórmula lá, uai.

Mesmo mediante cópias em alguns momentos, podemos concluir que em toda tarefa os estudantes estavam em atividade. As questões os levaram a pensar e suas ações foram orientadas a respostas coerentes. Mesmo que em alguns momentos as respostas não tivessem sentido com o que foi questionado, elas possuíam coerência de sua escrita com a teoria. Os estudantes desenvolveram o pensamento teórico nos grupos aqui analisados, dada a coerência com os conceitos estudados em outras etapas da UD. Podemos também concluir que os estudantes se apropriaram dos conceitos das tarefas anteriores os utilizando para mediar a apropriação de novos conceitos da Termodinâmica.

A sétima tarefa (T7) serviu como material de apoio para a apresentação de seminário cujo conteúdo envolveu os conceitos básicos e as leis da Termodinâmica. Em um dos momentos do seminário os estudantes apresentaram a 1ª lei da Termodinâmica em um diálogo com o professor. A primeira apresentação foi do G2. Ficou ao encargo do G1 reafirmar e fazer correções da apresentação do G2. A escolha de apresentarem sequencialmente o mesmo material teve a intenção de, na exposição coletiva, ocorrer correções para um aprendizado coletivo, dando o direito de errarem e corrigirem ao mesmo tempo os equívocos numa construção com a participação de todos.

Na apresentação do G2, seus componentes apresentaram uma certa insegurança, em vários momentos leram os slides. Percebendo isso, o professor começou a fazer perguntas para certificar que os estudantes se apropriaram dos conceitos da Termodinâmica e verificar que sabiam argumentar com os nexos conceituais.

No diálogo com o professor os componentes do G2 apresentaram um bom entendimento dos nexos conceitos (calor, temperatura e energia) da 1ª lei da Termodinâmica e os usaram para argumentar sobre a referida lei. Destacamos o momento em que os estudantes apresentavam a seguinte lauda na figura 5.40:

E1: É... [lendo] A primeira Lei da Termodinâmica é o princípio da conservação de energia aplicada à Termodinâmica. É... isso torna possível prever o comportamento de um sistema gasoso ao sofrer uma transformação termodinâmica. Ai é... Analisando o princípio da conservação de energia ao contexto da termodinâmica. [explicando] É... essa aí é a fórmula né, Q é igual a delta U mais T. Que Q seria energia de entrada e U seria energia utilizada. Então...

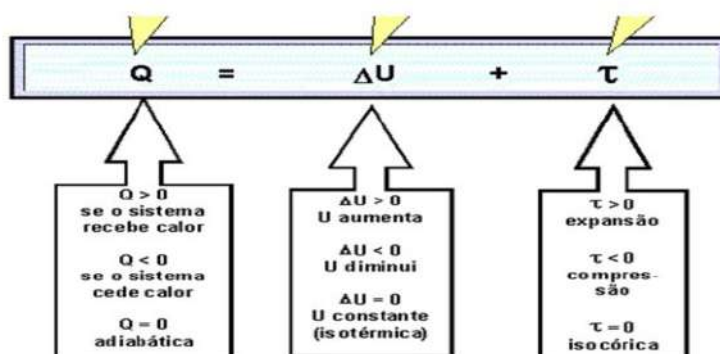
P: [interrompe] Não só a U, mas o trabalho também.

Observamos no trecho acima, algo que o professor não deveria fazer, segundo a teoria histórico-cultural. A atividade do professor, nessa perspectiva é orientar e não direcionar a fala dos estudantes. Ao invés de fazer correções das falas dos estudantes com afirmações,

Figura 5.40 – 1ª lei da Termodinâmica pelo G2

- Analisando o princípio da conservação de energia ao contexto da termodinâmica:

Primeira lei da TERMODINÂMICA



Q- Energia de entrada / U- Energia utilizada

Fonte: Dados da pesquisa.

deveria orientar os estudantes a pensar mais profundamente com perguntas. Ao que parece, no decorrer do diálogo com os estudantes o professor passa a fazer perguntas, fazendo os estudantes pensarem.

E1: O trabalho também, é. É... então, se o Q for maior que... o Q só será maior que zero se o sistema recebe calor, e o Q será menos que zero se o sistema cede calor, e Q igual a zero se ele for é... adiabática né. Que você falou...

P: Vocês lembram da situação adiabática?

E1: É o negócio que você falou, das paredes...?

P: As paredes não transferem o quê? Não transferem calor. Aí lembra, qual o material que a gente pode usar nas paredes adiabáticas?

pausa

E: [ao fundo] Isolante térmico?

P: Isolante térmico. Um isolante térmico que vocês conheçam aí, que material vocês acham que funciona como isolante?

E3: Isopor.

P: As paredes podem ser feitas de isopor.

E1: É. Alí no... na energia utilizada, ela será maior que zero se ela for, se a energia utilizada...

P: [interrompe] João! João, só vou voltar lá. Por exemplo, você falou que o calor é maior que zero se o sistema recebe calor. Em que circunstância o sistema recebe calor? Vamos pensar no sistema, igual mostrei pra vocês o cilindro.

E1: Certo.

Observamos no trecho acima que o professor está em fase de transição de ser condutor para ser orientador, deixando de impor para negociar o conhecimento por meio do desenvolvimento do pensamento. O professor, em suas práticas, foi orientado a ensinar no formato de aula

tradicional. Na mudança de cultura é normal que o professor passe por uma fase de transição, desenvolvendo seu papel de mediador do conhecimento.

P: Se ele, se o meu sistema recebeu calor como é que ele vai reagir?

E2: As partículas sobem.

P: As partículas variam. E o que vai acontecer com elas?

E3: As partículas vai... maior movimento.

E1: Movimento, uai.

P: Elas vão se agitar mais, não é. Se elas se agitam mais, qual é a consequência delas se agitarem mais?

E4: A energia cinética delas normalmente vai depender que ela esteja... da temperatura...

No trecho acima o professor fez de fato o papel de mediador propondo a construção do conhecimento pelo estudante. No próximo trecho, por meio do diálogo com os estudantes, o professor faz perguntas para a melhor fluidez na apresentação da sistematização da 1ª lei da Termodinâmica.

P: Aumento de temperatura? Muito bem. Aumento de temperatura vai resultar em aumento de?

E2: Volume.

P: Não. Você falou antes.

E4: Energia cinética.

E3: Trabalho.

E4: Energia cinética.

P: Energia cinética, que a soma dessas energias cinéticas é o quê? Energia térmica, né.

E4: Isso.

P: Então você tem um aumento da energia térmica e a energia térmica dentro do sistema é chamado de quê?

E4: Interna.

P: Energia interna. Então aquele delta U significa o quê?

E1: Energia interna.

P: Energia interna. Então, tá vendo, ó, o calor é maior que zero, recebeu calor e o quê que vai acontecer com a energia interna?

Mesmo com dificuldades de se expressar e em detrimento da indução do professor em alguns momentos na condução da apresentação os estudantes conseguem organizar os conceitos da 1ª lei da Termodinâmica.

E1: Aumentar.

P: Aumentar. E o quê que... que processo que vai ocorrer associado a isso aí?

E4: Vai ocorrer a expansão, fazendo com que o motor se locomova.

P: Isso... Vai ocorrer o quê? Realização de trabalho e aí o trabalho vai ser considerado trabalho positivo. Por quê? Porque é o gás que está realizando. Ok? Faz sentido. Tá vendo que tudo vai fazer sentido aí? Vocês fazendo esse balanço energético fica mais claro. Continuem.

- E1:** Ali ela será menor que zero é... quando diminuir né.
- P:** [interrompe] Ela quem?
- E1:** A energia utilizada.
- P:** Não. Vamos lá, vamos agora pro calor menor que zero.
- E1:** O calor será menor que zero se o sistema cede calor.
- P:** Em que situação você precisa que o seu sistema ceda calor? Ele expandiu, não expandiu?
- E1:** Certo.
- P:** Se você continuar excedendo calor o quê que vai acontecer com ele? Ele explode né.
- E1:** É.
- P:** Então tem que ter o momento que eu não ceda calor pra ele. Como é que eu faço?
- E2:** Libera temperatura.
- P:** Como?
- E4:** Jogando água nele, no cilindro, poderia perder o volume.
- P:** Isso. Aí vai fazer com que o calor seja cedido pra onde? inaudível
- E3:** Pra fora.
- P:** Seja dissipado. Ok? Então ele está sendo cedido pra fora.
- E1:** É.
- P:** O quê que vai acontecer com a temperatura lá dentro?
- E3:** Ela vai diminuir.
- E2:** Vai diminuir.
- P:** Se diminui a temperatura o quê que acontece com a energia interna?
- Es:** [juntos] Ela diminui.
- P:** O quê que vai acontecer com o trabalho?
- E1:** O trabalho vai... inaudível
- P:** O quê que acontece com o êmbolo?
- E2:** Desce?
- E4:** O êmbolo vai descer uai.
- E2:** Desce.
- P:** Desce. Então o trabalho é positivo ou negativo?
- Es:** [juntos] Negativo.
- P:** Tá vendo que as coisas fazem sentido?
- E1:** E ali ela, a energia será igual a zero quando for constante.
- P:** Então ficou claro pra vocês a Primeira Lei?

A falta de articulação dos estudantes do G2 é fruto do desenvolvimento individual (em boa parte do desenvolvimento da UD os estudantes do G2 decidiram fazer as tarefas, cada um a sua parte) e a ausência de atividade laboral coletiva deles.

Em diversos momentos da apresentação é observado que os estudantes utilizam os nexos conceituais da 1^a lei da Termodinâmica, sem lerem os slides, para explicá-la. No caderno de campo, em suas anotações, o professor observou na fisionomia e no tom de voz dos estudantes certa insegurança nas falas, mas ao fazer alguns questionamentos os estudantes prontamente respondiam, o que podemos observar nos trechos acima descritos, articulando as argumenta-

ções com os nexos conceituais, evidenciando que em seus discursos, que dão indícios de terem desenvolvido um pensamento teórico.

Inclusive, as informações dadas pelos estudantes no diálogo com o professor foram obtidas no desenvolvimento das tarefas em sala de aula. Se no momento do desenvolvimento das tarefas T2, T3, T4 e T5 os estudantes davam indícios de estar em *atividade* de estudos, pela concentração e por terem a intencionalidade de se apropriar os nexos conceituais (calor, temperatura, energia térmica, trabalho e pressão) da 1ª lei da Termodinâmica, na apresentação do seminário os estudantes demonstraram ter entrado em *atividade*, como também no momento das referidas tarefas, e na preparação do seminário.

O G1 complementou a apresentação do G2 na 1ª lei da Termodinâmica com uma apropriação mais aprofundada na articulação dos nexos conceituais da referida lei, proporcionada em todo o desenvolvimento da UD pela postura dos estudantes do G1 em fazer as tarefas em grupo.

E2: E... a energia térmica é a manifestação de energia em forma de calor em algum corpo. E... a energia térmica é a soma de todas as energias, as energias cinéticas das moléculas. E... já que energia cinética, assim, tem a ver um pouco com temperatura, quanto maior a temperatura maior é a energia térmica dentro desse sistema.

E3: A primeira Lei da Termodinâmica. Se resume basicamente na conservação da energia. O que significa isso? É... eles tá falando basicamente isso, por exemplo, se colocar... coloca lá uma medida de pressão... não sei qual que é, escala de pressão você sabe?

E3: É, você coloca uma determinada quantidade de energia e aí tá falando que essa energia vai sempre se transformando, mas ela nunca teve perdas. Por exemplo, vai que você... que tem um gerador, esse gerador alimenta um motor. Nessa... de acordo com a Primeira Lei, o próprio motor vai alimentar o gerador, então você nunca tem perdas. É como se fosse... sempre renovada, sempre... não acaba.

P: Não é que você nunca tem perdas. É que você deu energia... igual os meninos colocaram aqui, você tem a energia fornecida, não tem? Então parte dessa... vai ser energia útil, parte vai ser energia desperdiçada.

E3: Essa energia desperdiçada...

P: Mas a energia que você colocou tem que ser próximo das duas. Concordam comigo?

E2: Nessa parte tem o atrito também que é na maioria das vezes é que mais... que a energia é mais desperdiçada.

E3: Pois é, mas em questão de perda energia é na Segunda Lei, não é não? A primeira Lei...

P: Não. Aí eu tô falando de... eu estou pegando assim, eu tenho uma energia de entrada, certo? Parte dessa energia vai ser útil. Olha só que eu não estou usando a palavra utilizada. Eu tenho a energia aqui de entrada, parte dessa energia vai ser útil, parte dessa energia, ela vai ser o quê? Vai ser desperdiçada, vai ser dissipada. Só que, vocês concordam comigo que essa energia de entrada tem que ser igual a essas duas energias aqui?

E1: Iguais.

P: Porque tem que me respeitar né, na natureza nada se cria, não é isso?

P: Nada se perde, tudo se?

Es: [juntos] Transforma.

P: Transforma. Então a primeira Lei vai pegar essa... ideia. Ter essa pegada aí de conservação da energia.

P: Entendeu?

E3: [lendo]Um sistema não pode criar ou consumir energia mas apenas armazenar ou transferir ao meio onde se encontra com o trabalho, ou ambas as situações simultaneamente. [explicando] Aí eles está falando aí que como um corpo é... ser... você tem lá o sentido da energia, de onde tem mais energia pra um...

Na sistematização dos estudantes do G1, o professor pode apontar alguns equívocos conceituais dos estudantes, que ao serem corrigidos, entenderam com maior apropriação a 1^a lei da Termodinâmica.

5.1.4 A Energia e a 2^a Lei da Termodinâmica

O experimento mental exposto aos estudantes na T7 cria um conflito em suas mentes, pois a imaginar que o calor vai fluir da fonte fria para a fonte quente é contrária as suas vivências. Contudo, a regra posta para os estudantes precisa ser respeitada. No diálogo entre o professor e os estudantes (esse diálogo encontra-se no Apêndice C), o professor fez de tudo para convencer os estudantes que a situação era possível usando apenas a 1^a lei da Termodinâmica, até que os estudantes se convenceram de que o professor estava certo, mesmo que de maneira implícita estivesse na mente dos estudantes que o calor naturalmente flui do corpo mais quente para o corpo mais frio.

Depois de os estudantes serem convencidos, o professor perguntou aos estudantes: "Fora das condições postas, respeitando as suas vivências, a situação problema seria possível?" A resposta dos estudantes foi não em coro. O professor então pergunta: "O que vocês observam na natureza?" Os estudantes responderam: "O calor flui do corpo mais quente para o corpo mais frio".


As respostas se complementam. O G2 deu a resposta completa e na parte escrita o G1 descreve uma situação peculiar, pois para que o fluxo de calor ocorra no sentido contrário é necessário a realização de trabalho.

Na apresentação do seminário, os estudantes de ambos os grupos desenvolveram a 2^a lei da Termodinâmica em diálogos com o professor. O G2 aplicou a 2^a lei da Termodinâmica ao refrigerador de acordo com o diálogo desenvolvido com o professor, conforme trecho abaixo:

Figura 5.41 – 2ª lei da Termodinâmica G1.

Imagine que uma lata de refrigerante gelada está em cima de uma chapa quente. É possível a lata de refrigerante gelada resfriar (diminuir sua temperatura) cada vez mais e a chapa esquentar (aumentar a temperatura) cada vez mais sem ferir a 1ª Lei da Termodinâmica, que tem como princípio a conservação da energia?

Sim, se houver a realização de trabalho, o corpo mais frio sobressai sobre o corpo mais quente, pois assim cada um fica mais frio.



Logo após a discussão, enuncie a 2ª Lei da Termodinâmica.

Grupo	Trecho da Figura 5.41
G1	"Sim, se houver a realização de trabalho, o corpo mais frio sobressai sobre o corpo mais quente, pois assim cada fica mais frio".

Fonte: Dados da pesquisa.

E1: É... agora a Segunda Lei, ela é mais importante. Ela... dentre as duas ela é mais importante porque ela... trata diretamente do rendimento das máquinas é... das máquinas térmicas nas indústrias, né. E... ela tem duas enunciados, que o enunciado de Clausius e de Kelvin-Planck. É... Clausius é... fala tudo aquilo que você falou, acho que você falou na última aula que foi explicado nos trabalhos lá. É... o calor não pode fluir de forma espontânea de um corpo de temperatura menor para um outro corpo de temperatura mais alta, pelo que você falou, né. Tendo como consequência que o sentido natural do fluxo de calor é da temperatura mais alta para a mais baixa e que para, e que para que o fluxo seja inverso é necessário que o agente externo realize um trabalho sobre esse sistema.

P: [interrompe] Dá um exemplo?

E1: O agente externo seria o... o agente externo no caso seria o fogo, né. Por exemplo, poderia ser o... [barulho de sopro] pra...

P: Não. Você está falando do agente externo que está acontecendo de forma natural.

E1: Isso. É o fluxo natural. Aí, como ele falou que precisa do agente externo no caso poderia, por exemplo, esse agente era o fogo. Não... por quê?

E2: Explica pra gente...

P: E aí? E aí, galera? Me dá um exemplo...

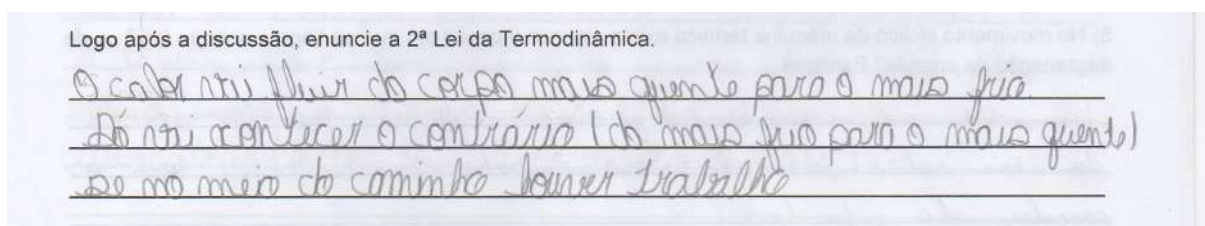
E2: O exemplo lá do congelador, sô. Esqueci como é que chama?

E1: Hum?

E2: Congelador?

P: O que faz a geladeira. Me fala então um pouco sobre a geladeira, Lucas.

Figura 5.42 – 2ª lei da Termodinâmica G2.



Grupo	Trecho da Figura 5.42
G2	"O calor vai fluir do corpo mais quente para o corpo mais frio. Só vai acontecer ao contrário (do mais frio para o mais quente) se no meio do caminho houver trabalho".

Fonte: Dados da pesquisa.

E: [ao fundo] Não, então vai do... tipo assim, vai falar de energia térmica do, por exemplo de um lugar que tem mais pressão pra um lugar que tem menos pressão. Aí você... usa, põe uma engrenagem no meio desse caminho, por exemplo você tem duas, você tem duas cargas. Uma de maior pressão e outra de menor. A maior pressão passa pra da menor, né. E passa por essa engrenagem você tem trabalho. Que é área de trabalho.

P: Tá. Mas eu quero saber se... não é isso que eu quero saber, eu quero saber é como é que eu tiro o calor do lugar que tá frio e passo pro lugar que tá quente? Isso ocorre na natureza?

Es: [juntos] Não.

P: Não. Não faz parte da natureza. E como é que eu faço pra isso ocorrer?

E: [ao fundo] Uai, mas você tem que ter uma opção aí.

E: [ao fundo] Aí tem que produzir trabalho, uai.

P: Vamos lá pro refrigerador. Não é exatamente isso que ocorre com o refrigerador?

E3: É, ele passa do quente pro frio.

P: É? Então quem é que faz isso?

E2: Como ele tira...

E4: O motor que faz uma força pra poder...

P: Isso... É o motor que faz o processo inverso. Ele é que é o agente externo, tá vendo? É só a gente parar e observar, onde é que isso ocorre? Mas isso vai ocorrer de maneira natural? Volta lá o slide. Ocorre de maneira natural? Não. Precisa realizar trabalho. No refrigerador a gente observa esse fluxo contrário? Observa.

E3: E observa também o agente inverso do agente...

P: Mas quem é o agente que faz isso inversamente?

E3: O agente externo que no refrigerador, que no caso poderia, no caso é o motor né.

P: É o motor, compressor acoplado.

E3: Isso.

No G1 há um diálogo maior com o professor e uma explicação melhor da 2ª lei da Termodinâmica:

E1: [lendo] Segunda Lei da Termodinâmica. Enquanto a Primeira Lei da Termodinâmica estabelece a conservação de energia em qualquer transformação, a

Segunda Lei estabelece condições para que as transformações termodinâmicas possam ocorrer. A quantidade de entropia de qualquer sistema isolado termodinamicamente tende a incrementar-se com o tempo até alcançar o valor máximo. Mas sensivelmente, quando uma parte de um sistema fechado interage com outra parte, a energia térmica se dissipa igual até que o sistema alcance o equilíbrio térmico. [pausa] A segunda Lei da Termodinâmica afirma que as diferenças entre os sistemas em contato tendem a igualar-se. As diferenças de pressão, densidade e, particularmente as diferenças de temperatura, tendem a equalizar-se. Isso significa que um sistema isolado chegará a alcançar uma temperatura uniforme. [explicando] É... a Segunda Lei da Termodinâmica fala que, como você tem, é... no sentido lá de quem tem maior energia vai pro de menor, você pode utilizar isso pra transformar em trabalho, tipo isso. É... igual aquele exemplo que eu tinha dado antes, por exemplo, você tem uma caixa de maior pressão e uma caixa de menor pressão, você pode... como a pressão maior pra passar pro galde de menor pressão, você pode utilizar isso pra... pra criar trabalho pra você, pra ser útil pra você. Só que você vai ter perda nisso aí, como se fosse o atrito, uma engrenagem que move o que você precisa, entre outros. [lendo] Uma máquina térmica é aquela que provê trabalho eficaz graças à diferença de temperatura entre dois corpos. Dado que qualquer máquina termodinâmica requer uma diferença de temperatura, se deriva, pois nenhum trabalho útil pode extrair-se de um sistema isolado em equilíbrio térmico. Isto é, requererá de alimentação de energia do exterior. A Segunda Lei se usa normalmente com uma razão por a qual se pode criar uma máquina de movimento perpétuo, de modo contínuo. [explicando] Que ela fala que tem perdas, né, que não tem jeito da máquina sempre... recebendo energia.

P: Aonde é tem as perdas, por exemplo, naquela máquina de Newcon, que eu mostrei pra vocês?

E1: Naquela máquina de Newcomen?

P: É, onde é que tem perda de energia?

E1: Uai, acho que no próprio atrito do cilindro com o êmbolo, não?

P: Vamos, vamos desconsiderar o atrito do cilindro com o êmbolo. Onde é que eu tenho perda de energia aí?

P: Vamo pensar... Como é que ocorre? Vamo pensar por partes. Como é que, onde é que ocorre a expansão?

E2: No cilindro...

P: Hum?

E1: Dentro do cilindro.

P: Então, dentro do... Mas, mas como é que ocorre? Quem é que empurra o êmbolo pra cima?

Es: [juntos] O gás.

P: O gás, em alta pressão. Como é que eu faço pra baixar o êmbolo?

E3: Uai, você condensa o... vapor.

P: Pra eu condensar eu não tenho que desperdiçar calor não?

E2: É, você desperdiça calor na hora que... vai água, como é no, como é... no... na temperatura nesse vapor.

P: Isso... o vapor tinha um nível de energia, agora... joguei água gelada o quê que vai acontecer com o vapor?

E2: Vai perder essa energia que tinha.

P: E aí ele perde essa energia e ele fica em formato de vapor ainda?

Es: [juntos] Não.

E2: Não, porque senão, não ia... o êmbolo não ia abaixar.

P: Quê que vai acontecer com ele? O quê que vai acontecer com o vapor?

E2: Vai condensar, virar água e diminuir de volume.

P: Isso, diminuiu de volume e... Beleza. Vai, próximo.

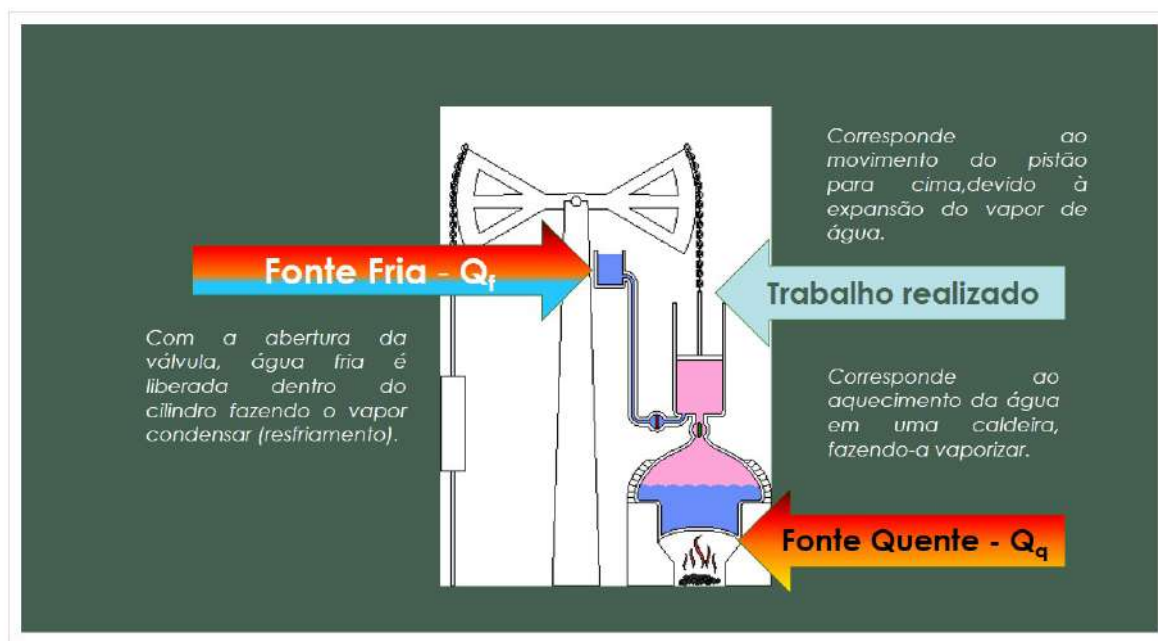
Finalizada as tarefas e o seminário, interpretamos que o G1 teve maior segurança ao apresentar o seminário por terem uma apropriação adequada dos conceitos, respeitando os momentos intersíquicos e intrapsíquicos no decorrer das tarefas. Atribuímos essa segurança ao G1 pela postura de desenvolver as tarefas conforme as orientações do professor, desenvolvendo o pensamento teórico com relação as leis da Termodinâmica.

O G2 não teve tanta segurança na apresentação do seminário. Atribuímos isso ao G2 ter dividido as tarefas em um determinado momento do desenvolvimento da UD, cada estudante fazendo isoladamente a sua parte na tentativa de resolver individualmente os problemas, exigindo uma mediação maior do professor. O desenvolvimento do pensamento teórico se fez presente em alguns momentos no decorrer das atividades de estudos do G2, entretanto quando os estudantes não queriam mais fazer as tarefas respondiam de acordo com as suas concepções alternativas, desenvolvendo assim o pensamento empírico e revelando a geração do saber empírico.

Em síntese, analisamos até aqui que a UD proporcionou aos estudantes a partir da T2 um desenvolvimento do pensamento teórico, por tudo o que já foi apresentado e interpretado até aqui. Porém, os estudantes desde a T1 até a T4 apresentavam predominantemente o desenvolvimento do pensamento empírico, entretanto os estudantes no desenvolvimento das tarefas estavam em processo de significação em ações de aprendizagem com a apropriação dos dados empíricos que possibilitaram nas tarefas T5, T6 e T7 o desenvolvimento do pensamento teórico e nesse a operação mental por conceitos.

Destacamos que a Unidade Didática produzida para a presente pesquisa tem potencialidade para o desenvolvimento do pensamento teórico dos estudantes, mas para que isso se torne possível é importante que o professor tenha uma apropriação básica da teoria histórico-cultural para o seu desenvolvimento em atividades de ensino, como exposta em nossa proposta metodológica de ensino. Outro elemento importante é o desejo do estudante em realizar as tarefas em atividades de estudos, destacadas por Davidov (1986).

Figura 5.43 – Modelo da Segunda lei da Termodinâmica que os grupos poderiam chegar realizado em outra turma que desenvolveu a mesma UD do mesmo colégio.



Fonte: Dados da pesquisa.

5.2 Mediação

O momento de mediação, no processo de desenvolvimento, é de extrema importância para a formação dos estudantes. Na perspectiva da teoria histórico-cultural da atividade a mediação ocorre em uma atividade laboral em que os sujeitos atuam em colaboração para o desenvolvimento coletivo. Nesse processo, as ideias são socializadas e ajuizadas pelos colegas, que em uma interação dialética constroem o conhecimento.

A mediação é uma etapa complexa que se dá por instrumentos e pela atuação do professor, tratando-se de uma operação e servindo de ponte para os estudantes alcançarem o desenvolvimento desejável. A mediação faz parte do processo intersíquico dos estudantes, tendo o professor o papel principal da mediação e os instrumentos de consulta, como livros e aparelhos com acesso a informação, com papel secundário. O alcance da mediação ocorre internamente com a construção de juízos, servindo de parametrização do raciocínio no ato de reflexo, que podem ser formados por dados empíricos (informações) ou conceitos científicos, advindos da mediação.

Nesse processo tão importante para a formação dos estudantes, escolhemos analisar como a mediação ocorre na interação entre os estudantes e o professor, e também o uso das tecnologias como instrumento de mediação para a formação dos estudantes.

5.2.1 A interação entre os estudantes e dos estudantes com o professor

Na atividade de ensino, o professor executa tarefas dentro e fora da sala de aula. Antes da aula, planeja as ações a serem desenvolvidas pelos estudantes, que são orientados a executar tarefas em atividades de ensino para a sua formação. Dentro do planejamento, uma das ações do professor, na perspectiva histórico-cultural, é criar uma zona de desenvolvimento iminente, projetando o desenvolvimento do pensamento teórico dos estudantes em atividade laboral de estudos.

No momento da sala de aula, o professor deve dar instruções aos estudantes para o desenvolvimento das tarefas. No processo da execução das tarefas os estudantes, seguindo as orientações do professor na perspectiva histórico-cultural, expõem suas ideias e dialogam com a intenção de formar novos conceitos. Mas de acordo com Vigotski (2009), os problemas sugeridos para os estudantes, projetando um novo desenvolvimento, deve ser de tal forma que eles, em grupo ou individualmente, consigam resolver os problemas propostos, mas com a mediação do professor e de outros instrumentos.

Por se sentirem em um ambiente democrático, os estudantes tinham autonomia para tomar decisões de como deveriam realizar a tarefa. O professor, ao trabalhar na perspectiva teórica histórico-cultural, orientou os estudantes a realizar as tarefas item por item coletivamente, proporcionando discussões interativas adequadas para a formação deles. Na T6, os dois grupos tomaram decisões distintas. O G1 inicialmente, decidiu realizar a tarefa em divisão de trabalho, porém, em determinado instante em uma interação inicial com o professor, viram que era melhor realizá-la item por item, interagindo coletivamente. Já o G2 sustentou a divisão de tarefa de trabalho até o final da realização, ou seja, cada estudante ficou responsável por determinado item. O momento da divisão de trabalho pelo G2 é destacado no trecho a seguir:

E2: Vai fazer separado? Nós faz uma e vocês faz outra?

E3: Pode ser, uai. Vamos fazer, fazer essa de trás aqui então.

Identificamos que o G1 teve maior interação entre os estudantes e menor interação com o professor, comparado ao G2. Os estudantes do G2 chamavam o professor com maior frequência para a mediação, porém a interação entre os colegas não ocorria. Isso teve consequência na elaboração das respostas, pois os estudantes do G2 responderam individualmente utilizando concepções alternativas ao invés de utilizar conceitos já apreendidos para a argumentação textual.

Interpretamos que os estudantes do G2 deixaram para trás uma etapa importante no momento do processo interpsíquico na interação entre os colegas, investindo tempo com o professor, o mediador, para a participação nesse processo. Segundo Vigotski (2009), a mediação é realizada por meio de instrumentos e pelo professor, ou seja, é uma algo complexo que pode ser caracterizado por uma operação e por orientações feitas pelo professor, como um construtor de *pontes educacionais*. Estruturalmente, de acordo com Leontiev (1978), o professor mediador tem o papel de instrutor no atravessar a *ponte educacional*, ou seja, deve ser acionado para auxiliar os estudantes nas operações mentais para o desenvolvimento do pensamento, participando no atravessar dessa ponte educacional. O estudante caminha nessa ponte no processo de significação e tem como resultado a apropriação do novo conceito, que conta com toda a atividade de atravessar até chegar ao novo desenvolvimento.

A mediação torna possível o processo interpsíquico, que é uma ação entre os colegas, com objetivos bem definidos, como a resolução de problemas. Leontiev (1978) destaca a diferença de ações e operações. As ações possuem objetivos bem definidos, quer alcançar algo e depende de operações para esse fim. As operações são realizadas por instrumentos, para diversos fins, dependendo da ação.

No processo da mediação durante o desenvolvimento da UD, o professor em alguns momentos direcionava os estudantes ao invés de orientá-los, divergindo com as orientações da teoria histórico-cultural. O direcionamento tira a característica de autonomia proporcionada pela referida abordagem, o professor dá apenas uma possibilidade para o desenvolvimento da tarefa. A orientação respeita a autonomia dos estudantes, mostrando as diversas possibilidades para se alcançar o objetivo. A única restrição da orientação é determinar o ponto em que se quer alcançar, entretanto, essa escolha traz o sentido e a lógica para as atividades, em nosso caso para a atividade de estudos e de ensino. O trecho a seguir foi interpretado por nós como um direcionamento da apresentação dos estudantes.

P: Vocês lembram da situação adiabática?

E1: É o negócio que você falou, das paredes...?

P: As paredes não transferem o quê? Não transferem calor. Aí lembra, qual o material que a gente pode usar nas paredes adiabáticas?

pausa

E: [ao fundo] Isolante térmico?

P: Isolante térmico. Um isolante térmico que vocês conheçam aí, que material vocês acham que funciona como isolante?

E3: Isopor.

P: As paredes podem ser feitas de isopor.

E1: É. Alí no... na energia utilizada, ela será maior que zero se ela for, se a

energia utilizada...

P: [interrompe] João! João, só vou voltar lá. Por exemplo, você falou que o calor é maior que zero se o sistema recebe calor. Em que circunstância o sistema recebe calor? Vamos pensar no sistema, igual mostrei pra vocês o cilindro.

E1: Certo.

Há de se tomar cuidado com a mediação, temos que ter em mente que o desenvolvimento do pensamento deve ser feito pelos estudantes mediante a orientação do professor, que auxilia, mas não toma as rédeas do desenvolvimento. A atividade de estudos é realizada pelos estudantes, o professor em sua atividade de ensino elabora e planeja o material para a aula e durante a aula faz o papel de mediador do conhecimento, orientando sem direcionar.

5.2.2 As Tecnologias e a Mediação

Antes da internet chegar às residências, no início do século XXI, as pesquisas para a resolução de problemas ocorriam nas bibliotecas, em livros confiáveis da área em que se pretendia estudar. Com a chegada da internet o comportamento dos estudantes vem mudando, basta um smartphone com acesso à internet que a informação está ali, na palma da mão. Não há a mesma confiabilidade em sítios da web do que há nos livros da biblioteca. Antes se quiséssemos entender o significado de uma palavra, procurávamos no dicionário e em poucos minutos alcançávamos o entendimento da palavra. Hoje basta uma busca no *Google* e temos acesso a vários dicionários, podendo até fazer comparações em diferentes estilos de dicionários e a busca está a nossa disposição em poucos segundos, quase de maneira imediata, dependendo da qualidade da conexão com a internet.

Questiona-se dentro do ambiente escolar se o uso de celular deve ser proibido ou não. A legislação do Estado de Minas Gerais proíbe o uso de celulares em sala de aula. Isso se justifica pelo uso das redes sociais, conversas paralelas com a utilização de aplicativos como whatsapp e messenger, fazendo com que os estudantes percam o foco no que deveria ser estudado. Temos também o uso de aplicativos como *Instagram* e *Facebook* com informações da vida das pessoas comuns, sem contar os navegadores da web que dão acesso a todo tipo de informação, conveniente ou não a aula. Aqui habita uma pequena contradição, pois a mesma ferramenta que auxilia e ajuda na investigação rápida e ágil de informações, distrai os estudantes em conversas paralelas, que podem ultrapassar as paredes da sala e leva-los a assuntos que estão distantes dos tratados em sala de aula. Como fazer o smartphone, hoje uma ferramenta democrática, ser utilizada como instrumento educacional em sala de aula?

Observamos que independente da utilização de celulares os estudantes têm conversas paralelas. O ser humano é um ser sociável, necessita conversar, trocar ideias para se desenvolver. Em uma aula, em que foi proibido o uso do celular, os estudantes mudavam o foco da tarefa proposta pelo professor, tinham conversas paralelas aos assuntos tratados na atividade, mas retomavam o assunto da aula como verificamos no trecho abaixo pelo G1:

- E2:** Nós vamo almoçar, sô. Nós vai tá 13:00 mesmo? Até lá fica de boa lá.
[inaudível]
E3: Vai lá buscar Iphone?
E2: Iphone sete plus.
E2: Chegou no Brasil ontem.
E4: 156 gigas.
E2: Chegou no Brasil ontem...
E3: Chegou no Brasil... veio, veio da onde?
E1: Importado.
E2: Da Claro.
E3: É quantos que existe no Brasil, dele?
E4: 500 conto mais caro.
E3: Dois fora do Brasil, até?
E4: Três, com o meu, da minha mãe e do meu irmão. [risos]
E3: E do seu pai? E do seu pai... [risos]
E2: Ou, o cara comprou era quase três mil conto, passou seis meses foi pra dois mil.
E4: O Meu pai não dá certo não.
risos
E1: Da sua mãe... tipo...

Na terceira aula da UD o uso do celular foi permitido. Os estudantes tinham uma lista de tarefas para fazer e a obrigatoriedade de entregá-la no mesmo dia. As tarefas foram programadas pelo professor para que os estudantes a fizessem no tempo da aula, não dando muito tempo para que os estudantes perdessem tempo com outros assuntos paralelos aos da aula. Foi observado na presente pesquisa o uso de celulares pelos estudantes para a consulta, com a finalidade de resolver os problemas propostos nas tarefas, como podemos ver no trecho abaixo:

- E1:** O quê que é calor? Você já fez aí?
E3: Já. É a transferência de energia térmica entre corpos com a temperatura diferente.
E1: Ah tá.
E3: Quer corrigir não?
E1: Não, precisa não.
E3: Puxar assim mais rápido.
E1: Temperatura é o quê?
E3: Temperatura?
E1: É.
E3: É uma grandeza física escalar que pode ser definida como a medida de grau de agitação de molécula, que compõe um corpo. Tipo assim, quanto

maior a agitação de molécula maior será a temperatura. Desenvolve mais, entendeu?

E1: [som de concordância]

obs.: essas respostas, com indícios de cópia pelos estudantes, estão disponíveis na internet.

Nota-se nitidamente que o estudante, mesmo com a consulta ao aparelho celular, socializa a nova informação com os outros colegas e vê com eles se há confiabilidade e lógica na informação e depois a transcreve no problema da questão. Se a atividade fosse individual nada disso iria ocorrer. O problema não se encontra no aparelho, ou nas novas tecnologias, o problema reside na forma como esta nova tecnologia é usada.

Na presente pesquisa, em todas as aulas, as conversas paralelas eram constantes e era característica de todos os grupos. Em nossa percepção os estudantes faziam pausas em sua atividade laboral para um pequeno descanso. Nas anotações do caderno de campo do professor/pesquisador, os estudantes e o professor estavam cansados ao final das aulas, segundo a maioria dos comentários "estavam cansados de tanto pensar." No dito popular os estudantes paravam para "molhar o bico", para dar prosseguimento a atividade laboral, em comparação com uma *atividade física* que necessita de pausas para o descanso.

A atitude do professor em inibir o uso do celular pelos estudantes faz parte da cultura do colégio, além de ser uma determinação do Estado de Minas Gerais. A justificativa já posta acima é que o celular e as novas tecnologias distraem os estudantes. Em nossa perspectiva, o problema está muito mais presente na metodologia de ensino do que na tecnologia em si. A Metodologia de Ensino pode e deve favorecer o uso das novas tecnologias, incluindo o smartphone.

As novas tecnologias são ferramentas, que com um certo critério, pode substituir o livro didático, mas não em conteúdo. O conteúdo do livro didático é mais confiável, pois passa pelo crivo de profissionais da área e é escolhido pelo professor no colégio onde trabalha. Este crivo não passa pelo material de fácil acesso nos sítios da internet. O que pode fazer o diferencial é o conhecimento e o domínio que o professor tem do conteúdo ensinado.

Na presente pesquisa, o professor é um mediador do conhecimento e em todo momento o professor é chamado para conferir se a resposta é coerente. Podemos concluir que a peça fundamental em todo este processo de aprendizagem é a intermediação do professor. Nesta perspectiva, o professor deve preparar a aula prevendo a utilização das novas tecnologias e se preparar para a sua atuação na aula, tanto com o domínio do conteúdo quanto para a sua atividade de ensino.

5.3 A falsa passividade dos estudantes

Na busca em acabar com a passividade dos estudantes em sala de aula, os professores traçam estratégias de ensino para que os estudantes estejam mais *ativos* no processo de ensino-aprendizagem. Além disso, o intuito dos professores, orientados pelos documentos oficiais, é também que os estudantes sejam formados para viver em sociedade, conscientes em atividades sociais e no ambiente profissional após a conclusão dos estudos do Ensino Médio. A aparente passividade dos estudantes é um fenômeno comum em aulas expositivas, em que o professor desenvolve todo o seu entendimento no quadro e o estudante faz anotações dos conteúdos para depois replicar em exercícios repetitivos. Nos documentos oficiais propõe-se que os professores desenvolvam estratégias metodológicas que favoreçam "a formação de um cidadão contemporâneo, *atuante* e *solidário*". (BRASIL, 2007, p. 01)

No período do desenvolvimento da UD, a escola promoveu um conselho de classe para analisar o desempenho e o comportamento dos estudantes em sala de aula, como normalmente ocorre em todas as instituições de ensino brasileiras. Nas turmas em que desenvolvemos a UD os professores em sua grande maioria reclamavam dos estudantes, por apatia na disciplina e excesso de conversa nas aulas, além do uso constante do celular em sala de aula. Apenas os professores das disciplinas de Física e de Educação Física elogiavam o desempenho dos estudantes.

Ao analisar as falas da professora de Educação Física e seu estilo de aula, percebemos que em suas aulas os estudantes se desenvolviam mental e fisicamente pela potencialidade das metodologias adotadas. A estratégia adotada pela professora se resume nos estudantes terem consciência das regras dos jogos e se desenvolverem dentro delas em atividades esportivas em que se aprendiam técnicas para o melhor desempenho nas modalidades. Os estudantes foram orientados nas aulas de Educação Física, o estudante foi atuante em seu desenvolvimento físico e mental, se desenvolvendo na teoria e na prática em uma relação dialética.

Ao retomar a fala dos demais professores, percebemos que as características das aulas são determinantes para julgar se o comportamento dos estudantes está ou não dentro do ideário dos professores. O motivo 'conversa dos estudantes' era a reclamação da maioria dos professores, porém na metodologia adotada no desenvolvimento da UD era desejável que os estudantes conversassem entre si. Percebemos nas gravações que a incidência de conversas paralelas ao assunto da aula entre os estudantes era pequena. Atribuímos essa situação também a nossa metodologia que favorecia ao desenvolvimento de assuntos voltados ao aprendizado coletivo.

A apatia em assuntos desenvolvidos em sala de aula não fez parte da rotina das aulas de Física e Educação Física porque os estudantes estavam sempre em *atividade*, voltadas para os assuntos da aula. Segundo Leontiev (1978) a atividade é voltada para um objeto (assunto) e que engloba ações orientadas por objetivos específicos e operações por instrumentos. No desenvolvimento da UD os estudantes eram conscientizados do objeto ou assunto a se desenvolver em sala de aula, dos objetivos específicos e geral que regulavam as suas ações de aprendizagem e dos instrumentos disponíveis que favoreciam a mediação para a aprendizagem.

Quanto às conversas paralelas ao assunto desenvolvido em sala de aula, apontado como um problema, percebemos sua ocorrência também em nossas aulas, baseado nas audições das gravações das aulas e nas notas de campo do professor no desenvolvimento da UD. Nas primeiras notas de campo do professor havia a mesma frustração dos demais professores. Segundo as anotações do professor: *os estudantes gastavam muito tempo brincando e conversando sobre assuntos que não tinham relação com o que estava em discussão na aula*. Entretanto, ao ouvir os momentos de conversa dos estudantes percebemos que eram de curta duração e que logo os estudantes retomavam aos assuntos referentes a aula. No desenvolvimento da primeira atividade os estudantes no meio da construção da resposta, interromperam momentaneamente para relatar uma situação antes da aula e depois retomaram a elaboração do texto da resposta, como pode ser visto em conversa do G2, na primeira tarefa, no trecho a seguir:

E1: Quem descobriu o fogo também foi o... a história do fogo é daqueles atrito da pedra com pedra.

E2: Pedra com pedra.

E1: água com gás lá, gerando atrito, gerando calor.

E4: Ei, testando... 1, 2... olha o fogo.

E2: Olha o gás, olha o gás!

E4: Ah, isso aí baiano. O óculos da inteligência.

E1: Óculos de sol, óculos de sol...

E4: O óculos da inteligência.

E: [ao fundo] Modo nerd.

E2: Modo nerd agora, ã? Deu certo fii, deu. Graças ao senhor Vitor cachorro. A prova de Matemática valendo 7, ele me passou a folha, eu tirei 6.

E4: Eu?

E1: Ah, gente.

E4: Eu?

E1: O Vitor que achou.

E4: Então, fii, agiliza.

E2: Por que que você não esperou?

E4: Então, fii você é um c***. Como é que eu ia fazer aquela prova daquele tamanho?

E3: Meu fii, rapidinho.

E3: O fogo é um estado da matéria chamado plasma. Aristóteles achou que o fogo era um dos quatro elementos...

E2: Escreve aí.

E3: Fundamentais.

A maior frequência das *conversas paralelas* ocorriam no saturamento das discussões em volta de um problema proposto pelos estudantes, aparentando uma pausa estratégica para o descanso mental do grupo, mas com duração de dois minutos no máximo. Logo após essa pausa, os estudantes retomavam o assunto como se a pausa não tivesse ocorrido. Podemos concluir nesse ponto que, mesmo se atendo a assuntos fora do referente a sala de aula, os estudantes estão em *atividade* constante. Segundo Leontiev (1978) a atividade é algo que pertence a vida do ser humano a todo instante, só não o acompanha na morte.

As estratégias metodológicas adotadas pelos professores contribuem consideravelmente para o desenvolvimento dos estudantes em sala de aula, tanto para a ascensão, quanto para o fracasso. A conversa foi um item de reclamação dos demais professores, porém esse mesmo item foi favorável para o desenvolvimento da nossa UD, pois a *conversa* compunha a mediação entre os estudantes e deles com o professor.

Ainda nos resta uma pergunta: *de onde vem essa [falsa] passividade dos estudantes? Qual a origem desse termo?* Em Freire (1987) encontramos na postura do professor, em sala de aula, o que denominou como educação *bancária*. O professor despeja conteúdo no quadro e os estudantes enfileirados copiam a matéria no caderno. Ao final da aula, o professor resolve um exercício no quadro e passa uma lista para os estudantes reproduzirem o conhecimento. A esse processo de ensino-aprendizagem notamos o comportamento apassivado dos estudantes, apontado por Freire (1987) como educação *bancária*.

Na teoria do conhecimento, Marx faz críticas a passividade contemplativa, ressaltando o homem como ser ativo na construção das imagens cognitivas, realizadas na atividade prática do homem com o objeto. Davidov (1986) afirma que a contemplação passiva é estranha e uma "renúncia a explicação materialista da faceta ativa como conhecimento sensorial e racional do homem ao mesmo tempo"(p. 293).

Em nossa perspectiva de ensino, baseado na teoria histórico-cultural, a atividade voltada para o objeto de estudos tem um papel central na formação dos estudantes. Na estrutura da atividade de estudo, o estudante tem a ação de aprendizagem com a mediação de instrumentos, dos signos e do professor. Todos os sujeitos estão ativos, quer voltados para o objeto da aula ou não.

Percebemos ao final das aulas que não há essa passividade dos estudantes. Eles se encontram ativos, mas nem sempre para os estudos. Muitas vezes o objeto que lhe toma a atenção está fora da sala de aula. Leontiev (1978, p. 61) nos diz que a atividade é inerente ao ser humano. Portanto, é impossível o ser humano não se encontrar em atividade e o dever do professor é buscar estratégias metodológicas de ensino que favoreçam a atividade dos estudantes, inerente a eles, e que seja voltada para a aprendizagem.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao finalizar o processo da presente pesquisa, nos sentimos enriquecidos com as leituras, orientações, socialização de ideias e a assimilação de conceitos teóricos da Teoria histórico-cultural e seus desmembramentos na Teoria da atividade e do ensino desenvolvimental. Assim como, revisitar o construção da Termodinâmica em uma perspectiva lógico-histórica, destacando os pontos desencadeadores para o desenvolvimento dos conceitos e das leis da Termodinâmica na satisfação das necessidades sociais científicas, industriais e da sociedade em geral. Esse arcabouço teórico norteou nossas atividades de ensino e de pesquisa, para que pudéssemos alcançar os objetivos de pesquisa e os objetivos de ensino da Unidade Didática desenvolvida com os sujeitos da pesquisa.

O desenvolvimento da Unidade Didática proporcionou aos estudantes momentos de socialização e de reflexão do conhecimento da Termodinâmica, momentos esses não comuns, porém desejáveis, pois a cultura de suas aulas privilegia uma abordagem tradicional dos conteúdos, em que os conceitos são expostos pelos professores prontos e acabados¹, chegando ao final de uma série de *aulas dadas* o professor aplica uma prova, na perspectiva em que os estudantes tenham um momento de estudos do conteúdo, sem ao menos construí-los com os estudantes.

A Unidade Didática elaborada pelo professor para o desenvolvimento dos conceitos da Termodinâmica, utilizando como objeto central para tal desenvolvimento a máquina a vapor e os elementos para o seu desenvolvimento, numa perspectiva lógico-histórica. As estratégias metodológicas foram pautadas pelas supracitadas teorias e segundo a análise de pesquisa feita, alcançou o seu potencial de desenvolvimento do pensamento teórico acerca dos conceitos da Termodinâmica.

No cumprimento das tarefas da nossa Unidade Didática, os estudantes socializavam, dentro do grupo e com colegas próximos, suas ideias do conteúdo a ser desenvolvido, construindo a partir de dados empíricos em atividades práticas de estudos os significados dos conceitos da Termodinâmica. Trabalho esse feito em conjunto com o desenvolvimento do pensamento teórico na assimilação dos conteúdos teóricos da Termodinâmica, evidenciado nas produções textuais dos estudantes e em seus discursos destacados na análise, alcançando o objetivo específico da presente pesquisa de *desenvolver o pensamento teórico acerca das leis da Termodinâmica por meio de uma abordagem histórico-cultural*.

¹ Segundo depoimento dos estudantes, sujeitos da presente pesquisa.

Os dados empíricos foram gerados em atividades práticas, sensibilizando os sentidos humanos. Primeiramente, sensibilizamos a visão e a audição com recursos áudio-visuais como instrumento de mediação para o acesso aos dados empíricos dos estudantes. Depois, foram utilizadas as ações experimentais para sensibilizar o tato e a visão, dando acesso a análise dos conceitos de calor e temperatura, além de destacar suas inter-relações. Um terceiro passo, foi atualizar a linguagem dos estudantes por meio das simulações, para consolidar os conceitos de temperatura, calor e energia térmica. Essa consolidação dos conceitos, fez com que esses tornassem agora dados empíricos para o desenvolvimento das leis da Termodinâmica.

Kopnin (1978) destaca esse movimento como o "empírico se transformando em teórico e, ao contrário, o que em certa etapa da ciência se considerava teórico torna-se empiricamente acessível em outra etapa mais elevada"(p. 153). Para lidar com as leis da Termodinâmica, uma etapa mais elevada dos conceitos dessa ciência, calor e energia térmica tornam-se empiricamente acessíveis, proporcionando o desenvolvimento das leis da Termodinâmica, em nossa pesquisa sendo materializada no desenvolvimento da UD e conseqüentemente nas elaborações conceituais dos estudantes.

O desenvolvimento do nosso trabalho e os resultados da análise do movimento das atividades práticas e do pensamento, tanto do professor quanto dos estudantes e até mesmo dos pesquisadores envolvidos, mostram que é possível se ter uma sala de aula em que a conversa dos estudantes são utilizadas a favor da formação em que se incentive a socialização de ideias e se gere a necessidade dos estudantes para a construção do conhecimento a partir do pensamento teórico.

Leontiev (1978) sinaliza a diferença entre as necessidades humanas fisiológicas e as intelectuais. A primeira necessidade aqui citada sendo satisfeita, o homem sente o desejo de satisfazer a segunda. Basta que o conhecimento tenha a possibilidade de ser desenvolvido de alguma maneira, seja pelo pensamento empírico, gerando um conhecimento superficial, ou por um pensamento teórico na construção de um conhecimento mais concreto e profundo.

Especificamente em nossa pesquisa, é possível ver o desenvolvimento do pensamento teórico dos estudantes nas leis da Termodinâmica. As mediações feitas pelos próprios estudantes, pelo professor, por celulares e outros meios, facilitaram a socialização e a formação da consciência dos estudantes.

Ao retomar a questão de pesquisa: "Que elaborações conceituais são produzidas pelos estudantes ao se desenvolver as leis da termodinâmica por meio de atividades orientadoras de

ensino"? Essa questão nos orientou na presente investigação para a análise e em sua finalização notamos respostas sólidas.

As elaborações conceituais dos estudantes passaram por um processo de memória dos dados empíricos na primeira tarefa à utilização de conceitos nucleares (calor, energia térmica e trabalho) *empiricamente acessíveis* para o desenvolvimento e a formação da consciência das leis da Termodinâmica por meio do pensamento teórico dos estudantes.

No primeiro momento, há um relato dos estudantes dos dados empíricos, construídos nas atividades práticas de aprendizagem, com o incentivo de socializar e conflitar as ideias dentro dos grupos, potencializando a mediação entre os estudantes. A orientação para que os estudantes trabalhassem dessa forma foi feita pelo professor que trabalhou orientado pela teoria histórico-cultural da atividade.

Uma vez criada a imagem dos dados empíricos na mente dos estudantes, o professor propôs algumas questões com a intencionalidade de gerar uma reflexão coletiva dentro do grupo para o desenvolvimento de conceitos teóricos na consciência, por meio do pensamento. Nas transcrições, é possível ver nos primeiros momentos do desenrolar da UD, que a criação do professor dessa Zona de Desenvolvimento Iminente (ZDI) proporcionou nos grupos o desenvolvimento esperado, a assimilação de conceitos teóricos da Termodinâmica, evidenciado em suas elaborações conceituais.

Outro aspecto importante na construção das elaborações conceituais pelos sujeitos da pesquisa (estudantes), foi a construção de significados dos conceitos. As ações coletivas realizadas em atividades experimentais e ações por meio das operações com instrumentos tecnológicos de áudio e vídeo, construíram significados na formação de conceitos, em conformidade com Leontiev (1978, p. 82). No processo da socialização para a formação dos conceitos, há a construção da consciência coletiva, o que é chamado por Vigotski (2009) de processos psicológicos superiores interpsicológicos para depois se transformar pelo indivíduo em um processo intrapsicológico.

Na parte final do desenrolar da UD, os conceitos formados em etapas anteriores da própria UD formaram a base para a formação de novos conceitos, das leis da Termodinâmica. Aqui há de se destacar dois aspectos: a abordagem lógico-histórica da Termodinâmica e seus nexos conceituais determinando a sequência de aulas na inter-relação dos conceitos, em uma linha lógica de construção de conceitos que favoreceu o desenvolvimento dos estudantes; a

operação por conceitos consolidados em outras etapas da UD pelos estudantes, favorecendo a formação do pensamento teórico.

A preparação da UD foi feita com a intencionalidade de favorecer o desenvolvimento dos estudantes em atividades de estudos orientados pela atividade de ensino do professor. Essa intencionalidade foi construída com a assimilação por nós das teorias aqui divulgadas, orientando as práticas de ensino do professor, principalmente em seu papel de mediação na ZDI potencializando o desenvolvimento dos estudantes em atividades de estudos. Com isso, alcançamos o objetivo específico de *contribuir para a pesquisa na linha da Teoria da Atividade*. Além de contribuir para o melhor entendimento na área de Ensino de Física dos elementos envolvidos, como a Zona de Desenvolvimento Iminente, atividades de ensino e de estudos, na Teoria do Ensino Desenvolvimental e na Teoria Histórico-cultural.

Nossa contribuição para a pesquisa em Ensino de Física na linha da Teoria da Atividade e de Ensino Desenvolvimental estão nas páginas dessa dissertação e no produto educacional (Unidade Didática) disponíveis em suas publicações. Entretanto, o produto invisível está interiorizado pelo professor² que conduziu todo esse processo. Desde leituras e assimilações pelo professor no decorrer da pesquisa, na produção da Unidade Didática e na consciência dos principais elementos das referidas teorias. Em conformidade com a teoria histórico-cultural, a minha formação não foi feita pelas minhas mãos, mas construídas pelos meus professores e principalmente pelos meu orientador e minha co-orientadora. Demonstraram que no ato de ensinar há o fenômeno da multiplicação na compartilhamento e na divisão de conhecimento, mostrando-me que em uma atividade de ensino ética o interesse do professor é o desenvolvimento do estudante.

Com isso, me vi pesquisador. Na verdade a influência pelo processo interpsicológico por meio da minha interação com meus professores e orientadores na pesquisa em Ensino de Física fez parte do meu processo intrapsicológico. Assimilados os principais elementos das supracitadas teorias por mim, materializadas na presente pesquisa, me dão combustível de continuar estudando mais, pesquisando mais, prosseguindo para as próximas etapas. Vejo-me como uma criança na praia, entre seixos e conchas, com um oceano de conhecimento a minha frente por ser descoberto. Não conhecerei tudo e isso me motiva a conhecer cada vez mais. Essa busca me satisfaz, como professor e como pesquisador. O processo da busca e do desenvolvimento é mais prazeroso do que o resultado conquistado.

² Autor da dissertação.

REFERÊNCIAS

- ARSÉNIEV, L. **Análisis del Concepto en Desenvolvimento**. [S.l.]: Moscú, 1967.
- ASBAHR, F. d. S. F. **A Pesquisa sobre a Atividade Pedagógica: Contribuições da Teoria da Atividade**. [S.l.]: SciELO Brasil, 2006.
- BALDOW, R.; JÚNIOR, F. N. M. Os Livros Didáticos de Física e suas Omissões e Distorções na História do Desenvolvimento da Termodinâmica. **ALEXANDRIA: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 3, n. 1, p. 03–19, 2010.
- BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Lisboa: Edições, 1977. v. 70.
- BITTAR, M.; FERREIRA JR, A. Ativismo Pedagógico e Princípios da Escola do Trabalho nos Primeiros Tempos da Educação Soviética. **Revista Brasileira de Educação**, Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Educação, v. 20, n. 61, 2015.
- BOGDAN, R. C.; BIKLEN, S. K. **Investigação Qualitativa em Educação: Uma Introdução à Teoria e aos Métodos**. Porto: Porto Editora, 1994.
- BRASIL, I. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais-Física/PCN+**. [S.l.]: MEC, 2007.
- CAMILLO, J. **Experiências em contexto: A experimentação numa perspectiva sócio-cultural-histórica**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.
- CARVALHO, T. F. G. d. **Da Divulgação ao Ensino: um olhar para o céu**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.
- CASTRO, B. A. C. d. **O Professor de Física em Formação: seus Motivos, Ações e Sentidos**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.
- CHASSOT, A. I. **A Ciência Através dos Tempos**. 2. ed. São Paulo: Moderna, 2004.
- CUNHA, M. R. K. d. **Estudo das Elaborações dos Professores sobre o Conceito de Medida em Atividades de Ensino**. Tese (Doutorado), 2008.
- DAVIDOV, V. V. **Tipos de Generalización en la Enseñanza**, Ed. Habana, Cuba: Pueblo y Educación, La Habana, Cuba, s/f, 1986.
- DAVIDOV, V. V. Problemas do Ensino Desenvolvimental: A experiência da pesquisa teórica e experimental na psicologia. **Textos publicados na Revista Soviet Education, August**, v. 30, n. 8, 1988.
- DIAS, J. M. **Um Estudo da Construção do—Habitus no Ensino da Segunda Lei da Termodinâmica**. Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de Santa Maria, 2016.
- EVANGELISTA, L. R. **Perspectiva em História da Física: Da Física dos Gases à Mecânica Estatística**. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014. v. 2.
- FARA, P. **Uma Breve História da Ciência**. 1. ed. São Paulo: Fundamento Educacional, 2014.
- FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. Rio de Janeiro: Ed. Paz e Terra, 1987. v. 3.

GOMES, I. C. P. et al. **A Mediação Semiótica de Instrumentos Culturais na Aprendizagem do Conceito de Radioatividade no Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado) — UFG, Goiás, 2013.

HELMHOLTZ, H. In: _____. [S.l.: s.n.], 1847.

HOGBEN, L. **O Homem e a Ciência: O Desenvolvimento Científico em Função das Exigências Sociais**. Porto Alegre: Editora Globo, 1952. v. 2.

KOPNIN, P. V. **A Dialética como Lógica e Teoria do Conhecimento**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1978.

KOSIK, K. **Dialética do Concreto**. 2. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1976.

LAGO, L. G. **Lua: Fases e Facetas de um Conceito**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

LANNER DE MOURA, A.; SOUSA, M. O Lógico-histórico: uma Perspectiva Didática da álgebra na Formação de Professores. **Encontro Nacional de Didática e Prática de Ensino**, v. 11, 2002.

LAVOISIER, A. In: _____. [S.l.: s.n.], 1774.

LEONTIEV, A. N. **Actividad, Consciencia y Personalidad**. Buenos Aires: Ciencias del Hombre, 1978.

LEONTIEV, A. N.; LURIA, A. R.; VIGOTSKI, L. S. **Linguagem, Desenvolvimento e Aprendizagem**. 14. ed. São Paulo: Ícone Editora, 2016.

LIBÂNEO, J. C. **A didática e a Aprendizagem do Pensar e do Aprender: a Teoria Histórico-cultural da Atividade e a Contribuição de Vasili Davydov**. [S.l.]: SciELO Brasil, 2004.

MARX, K.; ENGELS, F. **Obras Escolhidas**. [S.l.: s.n.], 1980.

MARX, K.; ENGELS, F. **O Capital: Crítica de Economia Política, volume I**. São Paulo: Abril Cultural, 1983. v. 1.

MAYER, J. R. v. In: _____. [S.l.: s.n.], 1842.

MENDES, F. A. C. **Física: uma Língua(gem)**. Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

MORAES, R. Uma Tempestade de Luz: a Compreensão Possibilitada pela Análise Textual Discursiva. **Ciência & Educação**, SciELO Brasil, v. 9, n. 2, p. 191–211, 2003.

NÚÑEZ, I. B. **Vygotsky, Leontiev, Galperin**: Formação de conceitos e princípios didáticos. Brasília: Liber Livro, 2009.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica: Fluidos, Oscilações e Ondas, Calor**. 5. ed. São Paulo: Editora Blucher, 2014. v. 2.

PÁDUA, A.; PÁDUA, C. D.; SILVA, J. **A História da Termodinâmica Clássica: Uma ciência fundamental**. Londrina: EDUEL, 2009.

PALANGANA, I. C. **Desenvolvimento e Aprendizagem em Piaget e Vigotski: A relevância do social.** São Paulo: Summus Editorial, 2015.

PASCOAL, A. d. S. **A Evolução Histórica da Máquina Térmica de Carnot como Proposta para o Ensino da Segunda Lei da Termodinâmica.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Estadual da Paraíba, 2016.

PRESTES, Z. R. **Quando Não é Quase a Mesma Coisa: Análise de Traduções de Lev Semionovitch Vigotski no Brasil Repercussões no Campo Educacional.** Tese (Doutorado) — Unb, Brasília, 2010.

RAFAEL, F. J. **Elaboração e Aplicação de uma Estratégia de Ensino sobre os Conceitos de Calor e de Temperatura.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2007.

ROCHA, J. F. **Origens e Evolução das Idéias da Física.** 2. ed. Salvador: EDUFBA, 2015.

RODRIGUES, A. M. **Redimensionando a Noção de Aprendizagem nas Relações entre Perfil Conceitual e Contexto: uma Abordagem Sócio-cultural-histórica.** Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

RUBTSOV, V. A atividade de aprendizado e os problemas referentes à formação do pensamento teórico dos escolares. **Após Vygotsky e Piaget: perspectivas social e construtivista escolas russa e ocidental.** Porto Alegre: Artes Médicas, p. 129–137, 1996.

RUMFORD, B. T. C. d. In: _____. [S.l.: s.n.], 1798.

SABKA, D. R. **Uma Abordagem CTS das máquinas Térmicas na Revolução Industrial Utilizando o RPG como Recurso Didático.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2016.

SILVA, D. N. d. **Ensino e Aprendizagem da Termodinâmica: Questões Didáticas e Contribuições da História da Ciência.** Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SILVA, G. d. S. F. d. **A Formação de Professores de Física na Perspectiva da Teoria da Atividade: Análise de uma Disciplina de Práticas em Ensino e suas Implicações para a Codocência.** Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SKATKIN, M.; DANILOV, M. *Didáctica de la escuela media.* **La Habana: Editorial Pueblo y Educación,** 1978.

SOUSA, M. d. C. d. **O Ensino de Álgebra numa Perspectiva Lógico-histórica: um Estudo das Elaboraões Correlatas de Professores do Ensino Fundamental.** Tese (Doutorado), 2004.

TAVARES, L. B. **A Teoria da Atividade como Instrumento de Análise da Escola: o Caso da EMAE.** Tese (Doutorado) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

TOTI, F. A. **Física no Ensino médio e Estudantes Trabalhadores: Buscando Relações entre Significado e Sentido para a Aprendizagem.** Dissertação (Mestrado) — Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2007.

VIGOTSKI, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. 2. ed. São Paulo: WMF Martins Fontes, 2009.

ZABALA, A. **A Prática Educativa: como Ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

Tarefa 2 - Análise de Vídeos da Panela de Pressão

Professor: _____ Disciplina: _____

Etapa: _____ Turma: _____ Data: _____

Estudante 1: _____

Estudante 2: _____

Estudante 3: _____

Estudante 4: _____

Introdução

A panela de pressão é um item imprescindível para a cozinha, de grande utilidade em cozimento de alimentos, que demorariam muito tempo para ser cozidos da maneira convencional. Daí poderia surgir um bom questionamento: qual o segredo da panela de pressão para cozer de maneira mais rápida e eficaz os alimentos? Sabemos que a panela de pressão foi criada por Dennis Pappin (1647-1714) em 1691, considerada por alguns autores como Rocha (2015), como uma máquina a vapor de alta pressão.

O seu funcionamento é simples, mas guarda algumas curiosidades. Quando alguém coze algum alimento na panela de pressão, um elemento indispensável é a água e o alimento a ser cozido, obviamente. Uma vaca atolada, para quem gosta, bem feita em uma panela de pressão é uma delícia! Ao tampar a panela nota-se que a tampa carrega algo diferente, a saber uma válvula de escape, uma borracha de vedação e uma alça que serve para acompanhar a alça da panela e gerar uma boa vedação entre tampa e panela. Ao colocar no fogo e esperar alguns minutos a panela começa a emitir sons, ou seja, o vapor está saindo pela válvula, ou no dito popular, ganhou pressão. Neste exato momento, de maneira inconsciente o cozinheiro diminui o volume da chama, para economizar o combustível, a saber o gás de cozinha na maioria das casas brasileiras. Após alguns minutos do alimento na pressão, ele está pronto para ser servido. (Bom apetite!)

O uso da panela de pressão requer alguns cuidados, principalmente ao entupimento de válvula, nas panelas de pressão mais antigas que não possuem válvula de segurança, cuidado redobrado. Veremos dois vídeos, mostrando os perigos da panela de pressão.

<<https://www.youtube.com/watch?v=QyLD7xbBtbg>>

<<https://www.youtube.com/watch?v=QKO6BYfqlnw>>

Questões a serem respondidas

1. Descreva a função de cada item para o funcionamento da panela de pressão:

(a) gás: _____

(b) fogo: _____

(c) água: _____

(d) vapor: _____

(e) válvula: _____

2. O vapor realiza algum trabalho na panela de pressão?

3. Por qual motivo o cozinheiro "abaixa o fogo da panela" quando a panela "ganha pressão"?

4. Qual o segredo para o alimento cozer mais rápido na panela de pressão?

Tarefa 3 - Análise das Figuras de Duas Máquinas a Vapor

Professor: _____ Disciplina: _____

Etapa: _____ Turma: _____ Data: _____

Estudante 1: _____

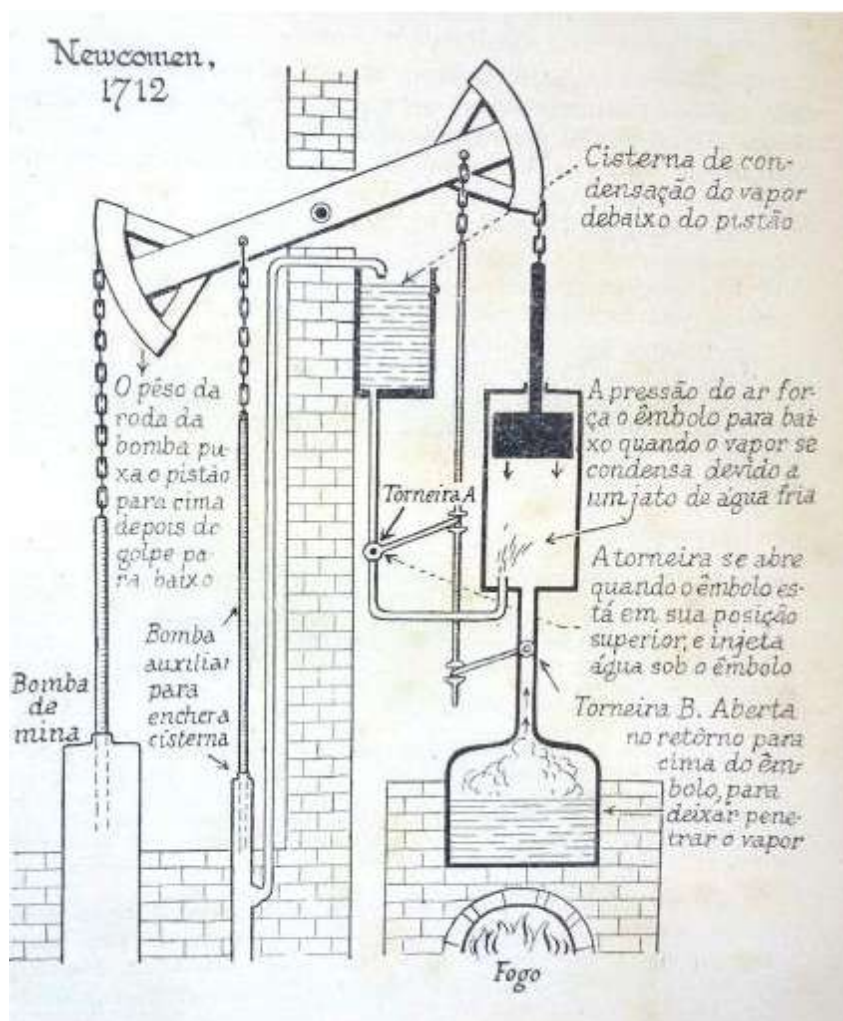
Estudante 2: _____

Estudante 3: _____

Estudante 4: _____

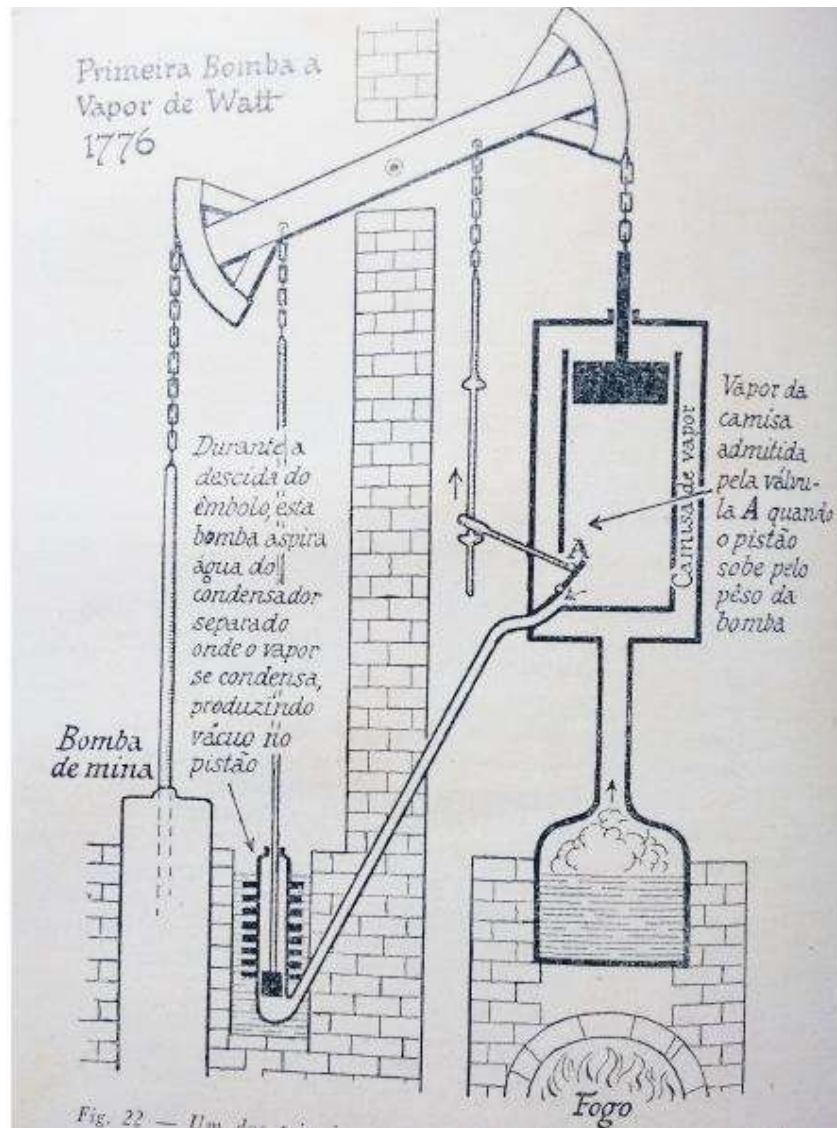
1. Dadas as figuras abaixo, de dois modelos de máquina a vapor, descrevam o funcionamento de cada uma e as suas finalidades.

Figura 1 – Máquina a vapor de Newcomen



Fonte: (HOGBEN, 1952)

Figura 2 – Máquina a vapor de Watt



Fonte: (HOGBEN, 1952)

Tarefa 4 - Atividades Experimentais

Professor: _____ Disciplina: _____

Etapa: _____ Turma: _____ Data: _____

Estudante 1: _____

Estudante 2: _____

Estudante 3: _____

Estudante 4: _____

Introdução

Em um dia muito quente é comum uma pessoa virar para a outra e dizer: "Como está calor hoje! Vou tomar uma água bem gelada!" Por que no dia-a-dia trocamos a palavra quente por calor? Em outra situação uma pessoa poderia dizer: "Professor, posso ligar o ventilador? Está fazendo um calor hoje! Estou com calor!" Neste último caso não faz muito sentido trocar a palavra calor por quente, não há a identificação dos dois termos.

Será que temos a necessidade de identificar o conceito de calor? Será que já é entendido no senso comum o que é calor? Ao estudar a Termodinâmica o conceito científico de calor é fundamental para entendermos os processos de aquecimento e aplicá-lo. Não só esse termo, mas necessitamos ver as interligações que há entre calor e outros conceitos, como temperatura e energia térmica.

Precisamos definir com clareza estes três conceitos. Para tanto, realizaremos dois experimentos simples para contemplarmos o que ocorre com a água ao ser aquecida com a intenção de analisarmos neste simples experimento o que o calor faz com uma substância. Será possível definir o que é calor neste simples experimento? Ou necessitaremos de mais elementos para explicar tal conceito? Mãos à obra e vamos pensar um pouco como cientistas!

Recursos

- Água;
- 500g de gelo;
- Termômetro;

- Ebulidor;
- Sete baldes.

Procedimentos

Experimento I:

Bacia de Locker: Este experimento utiliza três baldes contendo água, porém um com água quente suficientemente suportável para se colocar a mão, outro com água gelada também suportável para se colocar a mão e o último balde contendo água a temperatura ambiente. A atividade experimental consiste em a pessoa colocar uma mão na água quente e a outra mão na água gelada de maneira simultânea, após 30 segundos colocar as duas mãos imediatamente na água morna (temperatura ambiente) e deixar lá por 30 segundos, relatar a sensação das duas mãos.

Anotações: _____

Experimento II:

Dois estudantes devem colocar em um balde 1 L de água para ser aquecido e monitorado por um termômetro a cada minuto; deixar a água ser aquecida até o momento da água entrar em ebulição, depois disso esperar a água em ebulição no fogo por pelo menos 2 minutos. Discutir o que ocorre com a temperatura antes e durante a ebulição.

Anotações: _____

Questões a serem respondidas

1. No experimento da bacia de Locker, descreva detalhadamente o desenvolvimento do experimento destacando as sensações térmicas em cada etapa.

2. Analisando o experimento da bacia de Locker, o que podemos concluir como necessário para a transferência de calor entre os corpos?
3. Utilize um modelo explicativo para o processo de transferência de calor, identificando formalmente os conceitos de calor, temperatura e energia térmica.
4. No Experimento 2 a água é colocada para ser aquecida, antes de entrar em ebulição, a água sofre variação de temperatura? Se sim, podemos dizer que o ebulidor está transmitindo para a água? Explique sua resposta.
5. Seguindo o experimento 2, a água entra em ebulição e permanece neste estágio, com isso é verificável experimentalmente que ela não sofre variação em sua temperatura. Explique como isso acontece.
6. Ao analisar o experimento 2, descreva a transferência de energia e suas transformações no decorrer do experimento.
7. O que é calor?
8. O que é temperatura?
9. O que é energia térmica?
10. O que é energia interna de um fluido?

Tarefa 5 - Simulações

Professor: _____ Disciplina: _____

Etapa: _____ Turma: _____ Data: _____

Estudante 1: _____

Estudante 2: _____

Estudante 3: _____

Estudante 4: _____

Introdução

A água é um componente essencial para os seres vivos, tanto para as funções vitais quanto para o funcionamento de algumas máquinas, principalmente as máquinas a vapor. As primeiras máquinas automáticas eram impulsionadas com a energia do vapor d'água. Porém o vapor d'água não é encontrado naturalmente no meio ambiente, para isso a água em seu estado líquido deve passar por algumas transformações.

Normalmente para identificarmos o comportamento de um grupo homogêneo pegamos uma pequena amostra e a analisamos. É mais fácil identificar o comportamento de uma amostra e depois generalizar este comportamento e atribuí-lo ao todo. No caso da água utilizaremos um simulador que demonstre como as partículas de água se comportam em diversas temperaturas e nos três diferentes estados físicos. Dada a importância da água que tal investigarmos o seu comportamento em situações diversas!?

Simulações

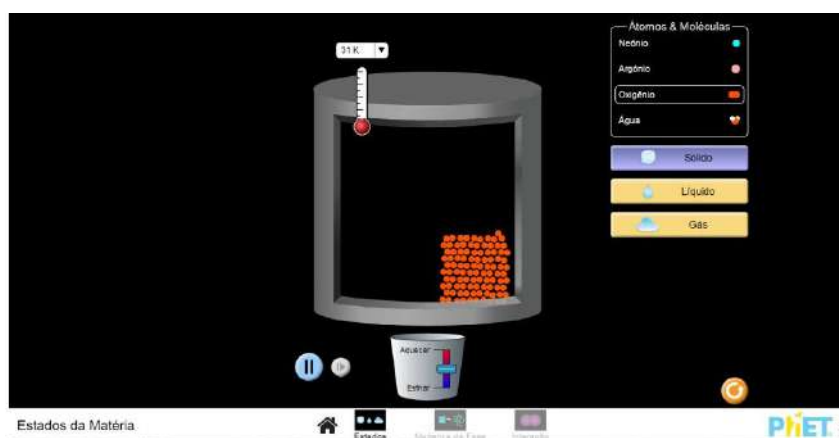
O Estado em que a matéria se encontra depende muito da faixa de temperatura e da pressão na qual esta se encontra. De acordo com a figura 1, ao abrirmos a página principal do simulador veremos três opções, você deverá acessar o ícone *Estados* e começar a trabalhar com a simulação.

Figura 3 – Tela de simulação.



Após acessar a parte de *Estados*, uma nova tela aparecerá, como pode ser observado na figura 2, e você terá algumas opções para modificar o estado da matéria e para mudar até mesmo a molécula a ser observada. Para você se familiarizar com mecha livremente com os itens que o simulador te proporciona, mas o faça com atenção anotando se possível algumas curiosidades.

Figura 4 – Tela de simulação.



Logo após este momento livre, vamos a observação propriamente dita, afinal precisamos investigar o comportamento das moléculas e sua relação com a temperatura.

Parte 1

Inicialmente escolha a molécula de Oxigênio e o observe em cada um de seus estados de agregação (sólido, líquido e gasoso), clicando nesses itens. Então preencha a tabela abaixo anotando as temperaturas.

Molécula de O_2	
Estado da Matéria	Temperatura($^{\circ}C$)
Sólido	
Líquido	
Gasoso	

Faça o mesmo procedimento de simulação, mas agora com a molécula de água.

Molécula de H_2O	
Estado da Matéria	Temperatura($^{\circ}C$)
Sólido	
Líquido	
Gasoso	

Faça também anotações sobre o que vocês podem observar do comportamento das moléculas em seus estados físicos no que se refere a sua movimentação e respondam: há alguma relação da agitação das moléculas com a temperatura?

Ao olhar para a agitação de apenas uma molécula, o que podemos concluir com relação a sua energia? Possui ou não possui energia? E qual a natureza desta energia?

Se essa molécula única possui energia, as outras moléculas em mesma situação também possuem. O que podemos concluir com relação a energia do sistema, a qual engloba todas estas moléculas?

Parte 2:

Escolha novamente a molécula de oxigênio O_2 e resfrie até que sua temperatura seja igual a zero na escala Kelvin, ou seja $0K$. Esta temperatura na escala Celsius equivale a $-273^\circ C$. Anote o que vocês observaram com relação a movimentação das moléculas e repitam o mesmo procedimento com a molécula de água.

Depois desta primeira parte o que podemos concluir como sendo o conceito de temperatura utilizando um modelo atômico para explicá-la?

Parte 3:

Em uma aula anterior trabalhamos com o experimento da bacia de Locker. Quando colocamos a mão na água a temperatura do nosso corpo não notamos muita diferença em a mão estar ou não na água. Porém ao colocar a mão na água quente ou na água fria notamos diferença. Segundo o relato da maioria dos estudantes, a troca de calor do braço com a mão. Alguns estudantes também relataram de ter uma transferência de temperatura. Mas é evidente e consenso que ocorreu algo e isto ocorreu por causa da diferença de temperatura.

É preciso ficar evidente o que é trocado, calor ou temperatura. Para isso, nesta terceira parte no simulador escolha as moléculas de água H_2O para a simulação. Comece com ela no estado sólido e aqueça-a até a temperatura de $375K$. O aquecedor da simulação funciona de maneira similar do fogo que sai do fogão. Enquanto aquece a temperatura da chama permanece a mesma. Então antes da simulação podemos perguntar, por que e como ocorre o aquecimento da água?

Se o fogo troca temperatura com a água, o fogo deveria ficar com a temperatura da água e a água com a temperatura do fogo, é isso que ocorre? Observe isso na simulação e explique.

Problemas Propostos

1. Feita a simulação e os efeitos que o aquecimento faz com as moléculas de água responda as seguintes questões:

(a) O que o aquecedor transfere para as moléculas de água?

(b) Através desta simulação é possível ver as mudanças de estado de agregação das moléculas? Se sim, explique o que ocorre com as moléculas.

(c) O que ocorre com as moléculas na mudança de estado físico?

(d) A energia absorvida pela água é utilizada para quais fins?

2. Após estas anotações defina o conceito de calor. Diferenciando o conceito de calor com o conceito de temperatura.

Tarefa 6 - Estudos Orientados

Professor: _____ Disciplina: _____

Etapa: _____ Turma: _____ Data: _____

Estudante 1: _____

Estudante 2: _____

Estudante 3: _____

Estudante 4: _____

Introdução

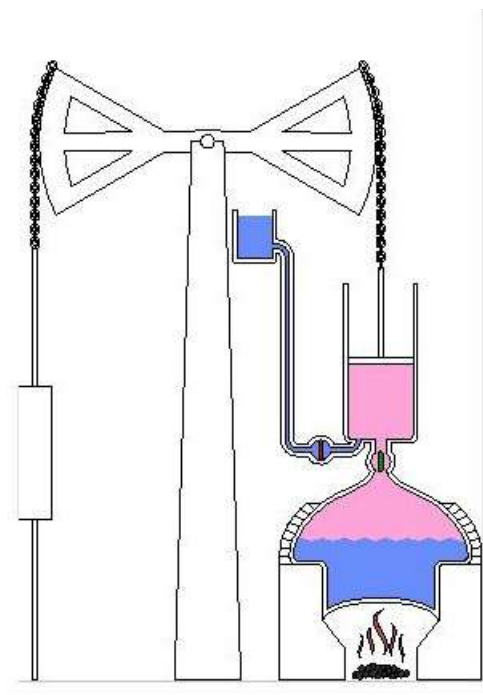
A Termodinâmica é estabelecida através de suas leis. No entanto, é importante destacarmos os conceitos fundamentais que dão sustentação para tal. Durante as atividades anteriores foram construídos os conceitos de calor, temperatura e energia térmica. Assim como também foram estudados os mecanismos que explicam o funcionamento da máquina a vapor em seus detalhes. Além disso, foi trabalhado o modelo de interações intermoleculares para ter uma melhor explicação dos conceitos fundamentais já citados. Mas ainda há a necessidade de se resgatar uma discussão histórica sobre as máquinas a vapor que possui relevância econômica, que é o seu consumo de energia.

Uma máquina a vapor para realizar trabalho, consome energia na queima de combustível (carvão mineral no período da Revolução Industrial). Então há uma preocupação de se prever a quantidade de energia gasta para se estocar combustível suficiente para a realização de um determinado trabalho, como é feito hoje em uma viagem de automóvel, prevê-se a quantidade de consumo. No caso da máquina a vapor este cálculo é mais fácil pois é só calcular a quantidade de energia necessária para transformar água em vapor e então conseguia-se estimar quanto de carvão era necessário para uma determinada produção. A organização sempre se fez necessária.

Ao voltar as nossas atenções agora as transformações que ocorrem dentro do sistema, podemos questionar como a energia é utilizada por ele e as transformações energéticas ocorridas nele. Nesta atividade reduziremos o nosso sistema ao cilindro, e dentro dele colocaremos apenas um gás monoatômico qualquer e tentaremos deduzir o que acontece com tal gás, nos aprofundaremos um pouco no conhecimento teórico e então nas próximas atividades aplicaremos isto dentro de um contexto conhecido por nós.

Estudo Orientado:

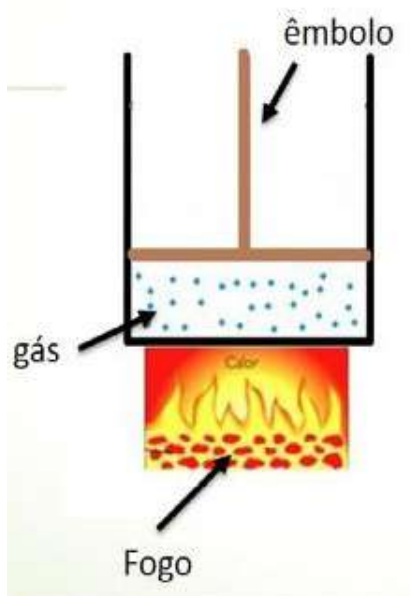
Vamos observar novamente uma máquina a vapor de Newcomen. Responda as questões propostas sempre atento as questões energéticas e suas transformações. Observe sempre o que é feito no momento do ciclo para que ocorra a **expansão**.



- Indique na figura onde estão a vizinhança e o sistema.
- Indique com setas onde e quais as formas de entradas e saídas de energia do sistema.
- O que o sistema fará com essa energia vinda da vizinhança?
- Onde ocorre a realização de trabalho?

Resolução:

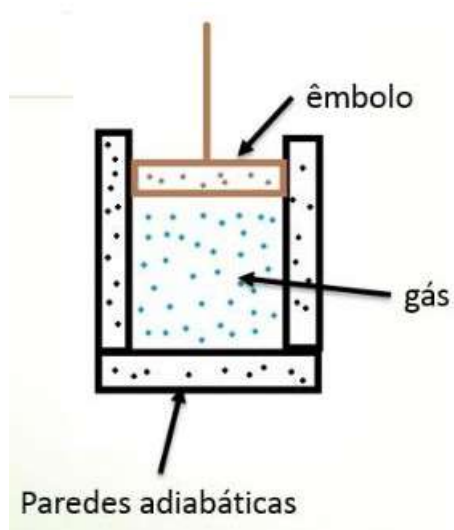
Vamos agora reduzir o nosso sistema para apenas o que ocorre dentro do cilindro da máquina a vapor e trocamos o vapor d'água por um gás monoatômico qualquer. Considere apenas a expansão.



- Indique na figura onde estão a vizinhança e o sistema.
- Indique com setas onde e quais as formas de entradas e saídas de energia do sistema.
- Quais as transformações sofridas pelo sistema a nível energético?
- O que ocorre com o êmbolo nesta configuração?
- Há realização de trabalho?

Resolução:

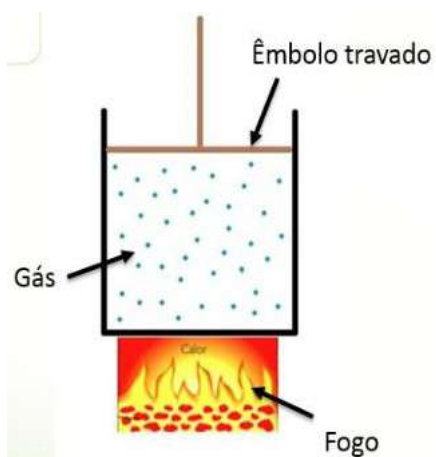
Faremos algumas modificações no cilindro. Ao invés de ter suas paredes de aço em contato com o meio ambiente, o revestiremos com paredes adiabáticas, ou seja, paredes que impeçam a entrada de calor. Será que sem a entrada de calor é possível ocorrer alguma transformação no gás!? Responda as questões abaixo:



- Com as paredes adiabáticas protegendo o cilindro há alguma possibilidade de entrada de energia no sistema?
- Nesta situação, há realização de trabalho? Se sim, como ele se processa?
- Se o gás for comprimido pelo êmbolo, o que ocorrerá com ele?
- Se o gás sofrer uma expansão, o que ocorrerá com ele?
- Existe uma relação entre as energias envolvidas? Se sim, qual?

Resolução:

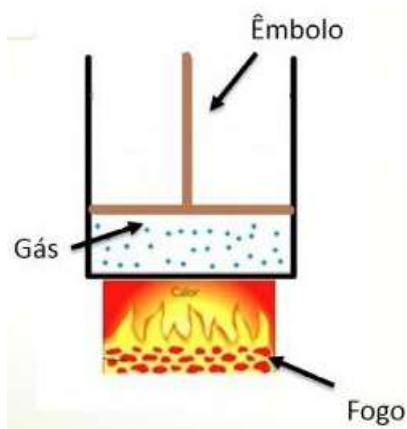
Analisaremos agora uma transformação isovolumétrica, ou seja, o volume do cilindro é mantido constante. Se o êmbolo for travado há realização de trabalho!? Responda essa e outras questões abaixo:



- Qual a energia de entrada?
- Como o sistema utiliza a energia vinda da vizinhança uma vez que o êmbolo está travado?
- Há realização de trabalho pelo sistema? Explique sua resposta.
- Existe uma relação entre as energias envolvidas? Se sim, qual?

Resolução:

Uma outra coisa que podemos fazer em nosso sistema é manter a temperatura constante, mesmo com a entrada de calor e a realização de trabalho, essa transformação é isotérmica, assim sendo não há variação de temperatura. Considere apenas a expansão.



- Qual a energia de entrada?
- Há realização de trabalho?
- O que ocorre com a energia interna?
- Existe uma relação entre as energias envolvidas? Se sim, qual?

Resolução:

Considerando a Conservação da Energia como algo fundamental da natureza, e se nessas transformações ocorrem essa conservação, faça um balanço energético em um modelo matemático, entre a energia de entrada e a energia utilizada pelo sistema, tendo como base o que foi estudado nas transformações estudadas nesta atividade.

Tarefa 7 - Estudos Orientados II

Professor: _____ Disciplina: _____

Etapa: _____ Turma: _____ Data: _____

Estudante 1: _____

Estudante 2: _____

Estudante 3: _____

Estudante 4: _____

Introdução

Na atividade passada estudamos o balanço energético de uma máquina térmica e realizamos algumas Transformações Termodinâmicas na expansão de um gás, com exceção da Transformação Adiabática. Porém, ao analisar uma máquina a vapor trabalhando vimos que a sua operação não é apenas de expansão, ou seja, o êmbolo não apenas sobe, ele também desce e sobe novamente e desce de novo, formando assim ciclos. Na maioria das máquinas térmicas este movimento cíclico serviu para ser transformado em movimento rotacional, movendo assim além de máquinas, também locomotivas.

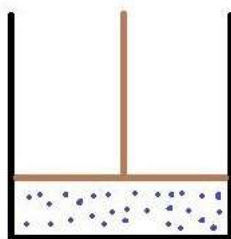
Por ser mais eficiente e não sofrer processo de resfriamento em sua câmara, a máquina de Watt (ou o seu princípio) era mais utilizado em máquinas de alta rotação, como as locomotivas, e depois em larga escala na indústria em geral.

Mas como colocar a máquina térmica para funcionar em ciclo? Vamos analisar em nosso sistema simplificado (contendo apenas o cilindro e o gás), como faremos para que a máquina térmica funcione de maneira cíclica.

Parte 1:

Em uma Transformação Termodinâmica comum, são necessárias algumas etapas para que o êmbolo do cilindro tenha uma movimentação cíclica. Tente descrever em nosso sistema simplificado, como ocorrerão estas etapas, descrevendo se a energia está entrando ou saindo do sistema e como a energia é utilizada dentro do sistema. Descreva também as transformações de temperatura e volume, associando sempre a alguma energia dentro do sistema. Desenhem como o cilindro fica nas demais etapas.

Figura 5 – Transformação não especificada.



Descrição: _____

Parte 2:

Analisando as atividades trabalhadas até agora sobre as transformações termodinâmicas e o trabalho cíclico das máquinas térmicas responda as questões abaixo.

1. Ao analisar a expansão de uma máquina térmica no sistema idealizado e simplificado por nós em uma transformação termodinâmica simples como aparece na atividade 1, determine a energia de entrada e a energia utilizada pelo sistema, destacando as transformações que ocorrem dentro do cilindro. **Lembre-se de levar em consideração a conservação da energia. Sempre que possível descreva o balanço energético através de um modelo matemático.**

2. Agora analise o processo de compressão da máquina térmica em nosso sistema idealizado e simplificado. Determine a energia de entrada e a energia utilizada pelo sistema, destacando as transformações que ocorrem dentro do cilindro. **Lembre-se de levar em consideração a conservação da energia. Sempre que possível descreva o balanço energético através de um modelo matemático.**

-
-
-
3. A energia é uma grandeza física escalar, ou seja, para a energia ser definida é necessário um número real e uma unidade de medida. Porém, podemos perceber que na máquina térmica é colocado calor para dentro do sistema e rejeitado para fora do sistema, e também que é realizado trabalho pelo sistema e no sistema. Determine, usando critérios razoáveis, em que situação o calor e o trabalho adquirem valores positivos e negativos.

-
-
-
4. Determine, em um modelo matemático, o balanço energético feito tanto na expansão quanto na compressão na transformação termodinâmica descrita na atividade 1 que descreva a conservação da energia. **Lembre-se de destacar a energia de entrada (ou saída) e a energia utilizada pelo sistema.**

-
-
-
5. No movimento cíclico da máquina térmica existe alguma situação em que se “joga a energia fora” ou de degradação de energia? Explique.

Parte 3:

2ª Lei da Termodinâmica - Experimento Mental

Imagine que uma lata de refrigerante gelada está em cima de uma chapa quente. É possível a lata de refrigerante gelada resfriar (diminuir sua temperatura) cada vez mais e a chapa esquentar (aumentar a temperatura) cada vez mais sem ferir a 1ª Lei da Termodinâmica, que tem como princípio a conservação da energia?

Figura 6 – A Lata gelada e a chapa quente.



Logo após a discussão, enuncie a 2ª Lei da Termodinâmica.

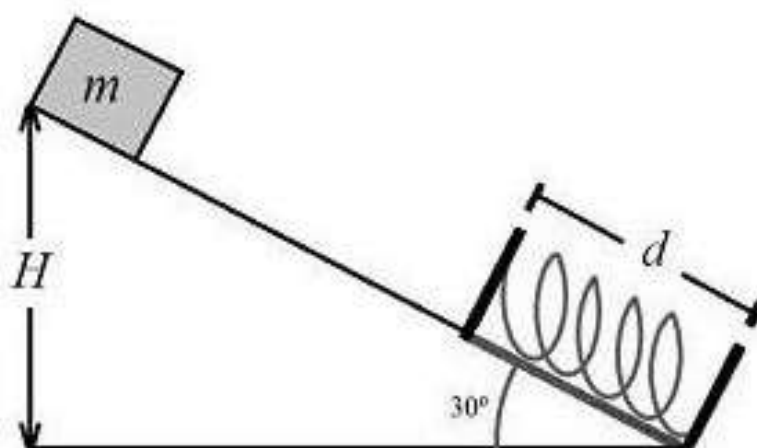
Entropia: Da Ordem a Desordem

A 2ª Lei da Termodinâmica nos mostra uma assimetria em fenômenos reais da natureza. Na maioria dos problemas solucionados na mecânica, imaginamos modelos ideais, desprezando o atrito e outros tipos de perdas de energia. Em um sistema ideal a energia não é degradada, ou seja, o sistema é simétrico. Neste sistema, considerando um plano inclinado ideal com uma mola na parte de baixo e um objeto movendo-se para cima e para baixo, se desconsiderarmos as perdas de energia por atrito, é difícil identificar a situação inicial de movimento deste objeto,

caso ela não tenha sido informada, pois o objeto irá subir e descer em um movimento infinito e simétrico.

Porém os sistemas simétricos na natureza são questionáveis. Seria o modelo ideal de sistemas físicos condizente com o real? Ao filmarmos uma árvore queimando, conseguimos identificar o movimento real do processo, pois sabemos que é impossível das cinzas serem formadas instantaneamente uma árvore. A natureza se comporta de maneira assimétrica, de maneira real. Ao pensarmos agora em um sistema mecânico real, imaginamos o mesmo plano inclinado mas agora considerando o atrito, a tendência do objeto é parar em algum momento pela perda de energia por atrito, o qual gera um calor inútil para o movimento. E vem assim a ideia de rendimento, tendo em mente que não há rendimento 100%, ou seja, a energia de alguma forma será degradada e sua forma de degradação é com a liberação de calor.

Figura 7 – O plano e a mola



Os físicos sabem que a degradação da energia está conectada com o conceito de Entropia, que mede o grau de desordem de um sistema. A partir dos textos disponibilizados, faça um seminário apresentando e explicando a Entropia e mostrando uma aplicação dos conceitos de entropia em uma máquina térmica e em um fenômeno da natureza.

Para pensar:

Ao utilizar a 2ª Lei da Termodinâmica como nosso parâmetro, é possível a transferência de calor de uma fonte fria para uma fonte quente de forma natural? Se não for possível de forma natural o que é necessário para que ocorra tal transferência?

APÊNDICE B – Revisão Bibliográfica

Na busca da relevância do nosso tema de pesquisa fizemos uma revisão bibliográfica. Antes de começar a nossa revisão bibliográfica escolhemos um conjunto de palavras chaves para que a partir delas fosse possível fazer a busca em sites de pesquisa de bibliotecas de teses e dissertações. O site escolhido foi do ibict <<http://bdtd.ibict.br/vufind/Search/Advanced>> e a busca feita em seu banco de teses e dissertações. As palavras-chaves escolhidas foram: História da Física, sócio-histórico, histórico-cultural, teoria da atividade, lógico-histórico, termodinâmica, história da ciência e nexos conceituais. Essas palavras foram escolhidas, pois carregam consigo conceitos-chave e construtos teóricos muito relevantes para a presente pesquisa.

Escolhemos inicialmente fazer a busca avançada utilizando três palavras-chave de uma só vez. Depois, usamos o critério de usar palavras-chave que alcançassem um maior número de trabalhos se utilizadas isoladas na busca bibliográfica. Por exemplo, se no campo de busca colocarmos somente o termo ‘História da Física’ no site referido, aparecerão mil setecentos e trinta e quatro (1734) trabalhos, o que torna inviável a revisão bibliográfica utilizando tantos trabalhos, mas se utilizarmos este termo abrangente com outros não tão abrangentes, verificaremos trabalhos que estejam na interseção das três palavras-chave, o que torna factível a revisão bibliográfica e afunila o trabalho dentro da orientação de pesquisa. Posteriormente, utilizamos palavras-chave menos abrangentes, ou seja, com termos mais específicos e no mesmo viés de nossa investigação, com maior relevância.

Na primeira busca, depois de estabelecidos os critérios acima, utilizamos os termos: História da Física, Histórico-cultural e Teoria da Atividade. Como resultado foram elencados pelo site quinze (15) trabalhos. Dentre eles, apenas três (3) eram realmente voltados para a área de Ensino de Física, como mostra a tabela abaixo:

Os três trabalhos analisados trazem a História da Física dando destaque para o surgimento dos conceitos da Física e o modo que eles foram desenvolvidos pelo homem como componente importante do seu desenvolvimento humano. A História aparece nesses trabalhos como componente que dialoga com o lógico em um movimento dialético entre ambos, o lógico e o histórico.

Quadro .1 – Palavras de busca: História da Física, Histórico-cultural e Teoria da Atividade

Nº	Ano	Autor/Orientador	Título
1	2013	Ivan Carlos Pereira Gomes	A mediação semiótica de instrumentos culturais na aprendizagem do conceito de radioatividade no Ensino Médio
2	2016	Tassiana Fernanda Genzini de Carvalho	Da divulgação ao ensino: um olhar para o céu
3	2013	Leonardo Gonçalves Lago	Lua: Fases e Facetas de um Conceito

Fonte: O Autor.

Os trabalhos de Carvalho (2016) e de Lago (2013) tratam em sua pesquisa dos processos de ensino-aprendizagem que envolvem a Astronomia no Ensino Médio. Já o trabalho de Gomes et al. (2013) trabalha com o conteúdo de radiação e sua transposição para outras áreas de conhecimento como Química e Medicina.

As três pesquisas aqui analisadas se utilizam da Teoria histórico-cultural da Atividade em perspectivas muito similares. Gomes et al. (2013) tem como um de seus arcabouços teóricos a ação mediada de James Wertsch. Esta teoria caracteriza o agente como aquele que realiza uma ação, necessariamente mediada por uma ferramenta cultural. Logo, o aluno atua como sujeito ativo, possuidor de ferramentas culturais, e dialoga ativamente com diferentes vozes.

Carvalho (2016) trabalha o conceito de atividade, segundo a Teoria da Atividade de Alexei Leontiev. Segundo a autora, "a atividade motivada por uma necessidade humana, construída socialmente, acontece por meio de ações, ligadas a objetivos bem definidos, e por operações, ligadas às condições concretas de realização". Carvalho (2016) também relaciona em seu trabalho o que ela chama de movimento histórico lógico do conceito, o que por nós é chamado de uma relação dialética entre o lógico e o histórico, que será explicado em nosso referencial teórico.

Lago (2013) em sua dissertação trabalha na perspectiva da formação de conceitos a partir da Teoria Histórico-cultural da Atividade, a qual será a base teórica para o processo de ensino-aprendizagem no Ensino de Astronomia.

Carvalho (2016) propõe a apropriação da cultura humana desenvolvida ao longo da história, desenvolvendo suas potencialidades como seres humanos, como perspectiva universal, a qual favorece o desenvolvimento do pensamento teórico. Nesse sentido, ao tratar do conceito

de mediação, a autora menciona que a relação do ser humano com o mundo não é uma relação direta de sua observação desinteressada, não é uma situação simples de estímulo-resposta, mas é mediada pela atividade num contexto social. Lago (2013) segue uma linha teórica muito próxima a de Carvalho (2016), ambos utilizam a Teoria da Atividade com a categoria da dialética materialista do lógico-histórico.

Em nossa pesquisa teremos as leis da Termodinâmica como conceitos a serem trabalhados pelos estudantes em atividades de ensino que potencializem os estudantes a entrarem em atividade de aprendizagem. O conceito de atividade utilizado na presente pesquisa também tem o aspecto abordado pela Teoria da Atividade de Leontiev e pela teoria do ensino desenvolvimental de Davidov. Entendemos a mediação como Carvalho (2016) e Lago (2013), porém em nossa perspectiva o papel central da mediação é do professor, o qual orienta as atividades dos estudantes e o municia de instrumentos, orientando também na construção de conceitos, que posteriormente servirão como agentes mediadores para o desenvolvimento de novos conceitos.

Nossa contribuição para as pesquisas na área da Teoria da Atividade se dá em dois aspectos. O primeiro deles ocorre com o desenvolvimento do pensamento teórico a partir das concepções espontâneas dos estudantes e do pensamento empírico. As imagens mentais criadas pelo pensamento empírico são trabalhadas e (re)significadas por meio de abstrações ascendendo ao conceito científico concreto. O segundo aspecto são os nexos conceituais, com os quais os conceitos possuem uma inter-relação e servem como base para a formação de novos conceitos, ou seja, os conceitos inter-relacionados são os nexos conceituais do novo conceito.

Em nosso trabalho também nos valem da parte histórica. Porém, em sala de aula, os aspectos históricos aparecem como suporte a uma linha lógica para dar início aos estudos da Termodinâmica a partir de sua gênese relacionada a alguma necessidade humana. No caso da Termodinâmica existia a necessidade de se retirar água das minas, trabalho considerado como secundário, para que a mão-de-obra fosse direcionada apenas para a atividade fim. Para suprir a necessidade do momento, Thomas Newcomen inventou a máquina a vapor a partir de tentativas que vieram anteriormente a dele, as quais destaque o trabalho de Savery (1661) e a máquina de Heron da Grécia Antiga. Lago (2013) e Carvalho (2016) tomam a mesma decisão, começam os

seus trabalhos em sala de aula a partir da gênese do conceito e o desenvolvimento dos conceitos emergentes respeitando um processo lógico dialogando com o histórico.

Outra busca avançada utilizou os termos: História da Física, sócio-histórico e Teoria da Atividade. Pretende-se aqui fazer uma variação do termo sociocultural em sócio-histórico, histórico-cultural, por terem aparentemente significados próximos ou expresso nas literaturas quase sempre no mesmo sentido semântico. Ao fazer a segunda pesquisa avançada no site já referido obtivemos o trabalho de Gomes et al. (2013). Ao trocar o termo sócio-histórico por sociocultural obtivemos novamente o trabalho de Gomes et al. (2013) e uma tese doutoral com o título "Contatos: a ficção científica no ensino de ciências em um contexto sócio cultural". Este último não mostrou convergências relevantes com o nosso referencial teórico e nem com o nosso objeto de pesquisa, com isso, partimos para outra pesquisa.

Em função de Leontiev ser o precursor da Teoria da Atividade, executei a busca com o nome dele juntamente com o termo Ensino de Física. Foram obtidos 19 trabalhos, dos quais apenas 2 eram voltados para o Ensino de Física no Ensino Médio, conforme explicitado na próxima tabela:

Quadro .2 – Palavras de busca: Leontiev e Ensino de Física

Nº	Ano	Autor/Orientador	Título
4	2007	Frederico Augusto Toti/Alice Helena Campos Pierson	Física no Ensino Médio e Estudantes Trabalhadores: buscando relações entre significado e sentido para a aprendizagem
5	2009	André Machado Rodrigues/Cristiano Rodrigues de Mattos	Redimensionando a noção de aprendizagem nas relações entre perfil conceitual e contexto: uma abordagem sócio-cultural-histórico

Fonte: O Autor.

Em sua pesquisa Toti (2007) tentou relacionar fragmentos de conhecimentos de Física, presentes nas atividades profissionais dos estudantes, com os conhecimentos de Física tipicamente abordados no Ensino Médio. Foram aplicados questionários, entrevistas e visitação ao ambiente de trabalho para melhor investigar os sentidos pessoais que os estudantes atribuem ao saber escolar.

Segundo Toti (2007) os resultados da pesquisa sugerem que as conexões entre conhecimentos de Física presentes nas atividades de trabalho dos estudantes e aqueles ensinados no

Ensino Médio possuem potencial para a criação de novas necessidades de aprendizagem, de modo que podem contribuir para que os estudantes trabalhadores venham atribuir novos sentidos pessoais à aprendizagem de Física.

O referido trabalho tem fundamentação no materialismo histórico dialético para que o autor tenha a consciência da realidade do trabalhador e isso o auxilie na metodologia da aula, fazendo com que a aula esteja mais próxima da realidade dos estudantes/trabalhadores. Toti (2007) identifica a alienação como um problema da sociedade replicada na cultura da escola e para o combate desta alienação é tomada a estratégia de se aproximar a realidade da sala de aula com a realidade do ambiente de trabalho dos estudantes.

Rodrigues (2009) revê o modelo de perfil conceitual inserindo em sua estrutura a noção de contexto, por meio de uma perspectiva sócio-histórico-cultural. Para conciliar perfil conceitual e contexto, o autor utilizou a teoria da atividade e os ferramentais teóricos que ela dispõe para entender o uso e a formação de conceitos. O autor utilizou também a teoria histórico-cultural da Atividade que tem origem com os trabalhos de Vigotski e são ampliados por Alexei Leontiev e Engeström, somada aos princípios de sistemas complexos para uma compreensão do processo ensino-aprendizagem.

Rodrigues (2009) utilizou também um questionário, perguntando sobre o conceito de energia em diferentes disciplinas. A intenção era associar o conceito aos diversos micro contextos. O autor enfatiza que a dialética entre a formação do conceito e o uso do conceito, só é consolidada na práxis do sujeito.

Os dois autores mencionados tratam o Ensino de Física de maneira genérica, sem abordar especificamente um tópico da Física. A razão disso se deve ao fato de seus trabalhos serem de cunho teórico.

Nossa pesquisa tratará de um trabalho desenvolvido em sala de aula, em que a análise partirá das atividades dos estudantes, diferente das análises de questionários e entrevistas propostos nos referidos trabalhos (TOTI, 2007), (RODRIGUES, 2009). Trata-se assim de uma pesquisa que parte do processo de ensino-aprendizagem com embasamento na Teoria histórico-cultural da Atividade e trabalha com um tópico da Física bem definido, o da Termodinâmica.

Na próxima etapa de buscas, utilizamos os termos entre aspas para diminuir a abrangência, ou seja, ser mais específico na busca. Os termos utilizados foram: "Teoria da Atividade" e "Ensino de Física". Obtive nove resultados, incluindo o trabalho de André Machado Rodrigues que já apareceu e que já foi analisado. Mantive o foco em pesquisas desenvolvidas para o Ensino Médio e formação de professores. Feito isso, restaram somente cinco trabalhos a serem analisados como seguem no quadro .3.

Quadro .3 – Palavras de busca: "Teoria da Atividade" e "Ensino de Física"

Nº	Ano	Autor/Orientador	Título
6	2011	Juliano Camilo/Cristiano Rodrigues de Mattos	Experiências em contexto: a experimentação numa perspectiva sócio-cultural-histórica
7	2012	Luciani Bueno Tavares/Cristiano Rodrigues de Mattos	A teoria da atividade como instrumento de análise da escola: o caso da EMAE
8	2013	Glauco dos Santos Ferreira da Silva/Alberto Villani	A formação de professores de física na perspectiva da teoria da atividade: análise de uma disciplina de práticas em ensino e suas implicações para a codocência
9	2010	Francisco Amancio Cardoso Mendes/Cristiano Rodrigues de Mattos	Física: Uma Língua(gem)
10	2015	Beatriz Aparecida Caprioglio de Castro/Maria Lucia Vital dos Santos Abib	O professor de física em formação: seus motivos, ações e sentidos

Fonte: O Autor.

Camillo (2011) realiza sua pesquisa por meio de atividades experimentais, utilizadas como recurso de ensino-aprendizagem, com base na Teoria da Atividade. Camillo (2011) entende a Física como uma manifestação da atividade humana no mundo, isto é, não pode ser compreendida de maneira descontextualizada, fora das práticas humanas. A atividade experimental, como parte de uma produção cultural, só adquire sentidos quando mergulhada em uma práxis, onde sujeitos compreendem o seu papel na atividade, quando compartilham certos instrumentos mediadores comuns que o farão ter acesso ao mesmo objeto, ou seja, participar de uma mesma atividade.

Camillo (2011) traz um pouco de sua experiência didática e relata o desenvolvimento do uso da experimentação como recurso didático e de atividade para as suas aulas. Logo, sua pesquisa é realizada em uma análise da experimentação voltada para a apropriação de conceitos de eletricidade. Para isso, ele utiliza a Teoria sócio-cultural-histórica da Atividade, com emba-

samento no materialismo histórico dialético. Assim, a Física é compreendida como atividade humana.

Tavares (2012) pesquisa sobre a atuação de profissionais da área de educação em ambientes hospitalares. A autora tem como base teórica a Teoria da Atividade. A escolha e a aplicação desse instrumento teórico-metodológico justifica-se pelo enfoque no desenvolvimento humano. Tavares (2012) não destaca em seu trabalho que parte da Física e de seu ensino desenvolveu com os pacientes/estudantes. Sua ênfase na pesquisa está mais na forma como trabalhou e não no conteúdo abordado.

A pesquisa da Tavares (2012) explicita a necessidade de se repensar a formação nos cursos universitários de Licenciatura para que o professor consiga se adaptar a ambientes diversos e diferentes aos ambientes pedagógicos comuns (sala de aula). Os sujeitos da pesquisa são pacientes em tratamento contra o câncer e executam atividades escolares, em momentos oportunos, e com o auxílio do professor, o qual faz atendimento individual. Nestas intervenções não há uma periodicidade como ocorre na escola, o estudante faz as atividades quando ele tem a disponibilidade para executá-la.

A relevância da pesquisa de Tavares (2012) se dá pelo número reduzido de pesquisas pedagógicas em ensino de ciências no ambiente hospitalar que utilizam a Teoria da Atividade como base teórico-metodológico.

Silva (2013b) tem por objetivo em sua pesquisa analisar o processo de tornar-se professor vivenciado por um grupo de licenciandos em Física que cursavam a disciplina de Práticas de Ensino de Física, no âmbito das aulas e das oficinas de preparação do estágio, as quais são situações da disciplina na universidade. A hipótese básica dessa pesquisa está na ideia de que a formação inicial do professor ocorre na universidade e na escola, e que ser professor constitui, historicamente, na trama de relações sociais, especialmente entre essas duas instituições, por meio da apropriação e objetivação da prática docente vivenciado pelo sujeito no processo da atividade do tornar-se professor.

Mendes (2010) apresenta a tese de que a Física é uma língua(gem) juntamente com a hipótese de que seu ensino pode se pautar pelas teorias da Linguística Aplicada voltadas ao ensino-aprendizagem do conhecimento científico como uma segunda língua assim como a

aprendizagem de uma língua estrangeira. O autor aborda o letramento e a alfabetização científica para mostrar que outros pesquisadores usam esta abordagem de maneira metafórica. Feito assim, há algumas limitações nessa linha metafórica. O autor utiliza alguns conceitos da Teoria da Atividade e da Teoria Histórico-cultural para apresentar alguns argumentos que corroborem com a hipótese levantada de que o ensino de Física pode ser trabalhado utilizando-se teorias da Linguística Aplicada voltadas ao ensino-aprendizagem de segunda língua ou língua estrangeira.

Em sua tese Castro (2015) tem como objetivo investigar como licenciandos atribuíam sentidos à docência em seu processo de formação inicial, considerando o contexto das disciplinas de Metodologia do Ensino de Física de um curso de Licenciatura de uma universidade pública paulista.

Castro (2015) buscou analisar a trajetória de formação de dois sujeitos em sua historicidade e nas interações estabelecidas por eles no desenvolvimento das ações no processo de aprendizagem na docência. Os resultados alcançados apontaram alguns eixos articuladores da atribuição de sentidos, como: as memórias e vivências trazidas pelos licenciandos; as interações estabelecidas com os diferentes atores nos diversos contextos; os processos mediacionais conduzidos nas disciplinas pela professora e com os colegas; o movimento das atividades de estágio e suas contribuições; bem como, as possibilidades projetadas para o futuro pelos licenciandos, os quais foram os indutores de mudanças, por promoverem motivos eficazes para os licenciandos, proporcionando a organização das ações para a aprendizagem da docência.

Em nossa pesquisa trabalhamos também com a Teoria da Atividade como base teórico-metodológica de modo semelhante ao que aparece nos trabalhos aqui analisados nesta etapa, porém de maneira mais específica, pois em nenhum dos trabalhos desta etapa aparece a ênfase na categoria da dialética entre o lógico e o histórico. Em todos os trabalhos há o enfoque no Ensino de Física, no entanto nas pesquisas de Castro (2015), Mendes (2010) e Silva (2013b) o enfoque está na formação de professores. Isso é importante destacar, pois em nossa pesquisa a metodologia de ensino é uma proposta inovadora dos processos de ensino-aprendizagem que utiliza o Materialismo Histórico Dialético em conjunto com a Teoria da Atividade e que serve como uma proposta para o desenvolvimento do Ensino de Física, tendo relevância na formação de professores, ou seja, tem potencialidade para ser trabalhado nas Licenciaturas.

Camillo (2011) investiga a experimentação em suas aulas. Isso também é feito nesta pesquisa em dois momentos da unidade didática (produto educacional), na mesma perspectiva, ou seja, o experimento serve como o concreto sensório, isto é, é uma informação que adentra a mente, porém não faz parte do processo de pensar. O que ocorre depois, pois partindo desta informação, há condições para o movimento que ocorre no pensamento. Este movimento parte das abstrações para o concreto, o que será explicado/discutido no referencial teórico.

Outra busca importante envolve outros três termos: Termodinâmica, História da Ciência e Ensino de Física. Obtivemos como resultado dois trabalhos os quais são apresentados no Quadro .4.

Quadro .4 – Palavras de busca: Termodinâmica, Histórica da Ciência e Ensino de Física

Nº	Ano	Autor/Orientador	Título
11	2013	Djalma Nunes da Silva/ Jesuína Lopes de Almeida Pacca	Ensino e Aprendizagem da Termodinâmica: Questões Didáticas e Contribuições da História da Ciência
12	2016	Alexandre dos Santos Pascoal/ Marcos Antônio Barros	A Evolução Histórica da Máquina Térmica de Carnot como Proposta para o Ensino da Segunda Lei da Termodinâmica

Fonte: O Autor.

A pesquisa de Silva (2013a) considera a importância de estabelecer conexões entre áreas de conhecimentos complementares e essenciais para promover um ensino consistente; o resgate das raízes filosóficas da termodinâmica, fazendo emergir as estruturas que permitem a elaboração de seu arcabouço teórico em diferentes períodos históricos constitui uma base de sua pesquisa. Esse resgate nas aulas de física proporcionaria, segundo o autor, as condições para a emergência das potencialidades criativas dos sujeitos envolvidos no processo de ensino/aprendizagem e poderiam, talvez, possibilitar aos estudantes fazer uso dos conceitos científicos quando necessário. Em sua intervenção didática, Silva (2013a) espera poder reverter as percepções prévias inadequadas dos estudantes em outras percepções mais amplas, apoiadas nos princípios organizadores do conhecimento.

A pesquisa de Pascoal (2016) utiliza a História e Filosofia da Ciência (HFC) como um instrumento facilitador do processo de ensino/aprendizagem para professores e estudantes da área das ciências. Esse fenômeno pode ser explicado pelo grau de dificuldade encontrada para se

explicar/entender alguns princípios científicos, quando expostos de maneira descontextualizada. A HFC, ao situar as mudanças científicas no contexto histórico e filosófico, ao mesmo tempo em que facilita o entendimento, possibilita a prática interdisciplinar no ambiente acadêmico. O seu trabalho se insere nessa nova corrente e a ideia central foi à criação de uma proposta inovadora de ensino a partir de uma problemática que constatamos no campo do ensino da física: a dificuldade de compreensão da Segunda Lei da Termodinâmica. Para tal, partindo da HFC e do contexto da Revolução Industrial, foi realizada uma pesquisa bibliográfica de caráter exploratória e qualitativa sobre a temática e foi situada a importância da Máquina de Carnot e a relação desta com a problemática proposta na Unidade Didática. Com os resultados, o autor preparou um material paradidático e uma proposta de aplicação prática em sala de aula.

Em nossa pesquisa a história da Termodinâmica nos servirá de referência para identificação da gênese do conceito e seu desenvolvimento lógico-histórico. Além disso, explicitaremos as necessidades que ocasionaram o surgimento dos equipamentos tecnológicos e das implicações científicas decorrentes.

Que necessidade a humanidade precisou suprir que impulsionou o surgimento da máquina a vapor de Newcomen? Uma vez que essa necessidade foi suprida, surgiram outras necessidades? Quais as implicações dessas descobertas para o conhecimento científico? Essas questões serão discutidas em sala de aula para que os estudantes pensem em soluções possíveis dentro da experiência que eles carregam. Não é levada a história da termodinâmica para a sala de aula e sim as necessidades a serem supridas pela humanidade com o intuito de observar quais as hipóteses levantadas pelos estudantes de acordo com a experiência que eles possuem.

Em nossa penúltima busca utilizamos dois termos concomitantemente no sítio de buscas já mencionado, são eles: Ensino de Física e Máquinas Térmicas. Nesta busca foram obtidas 151 trabalhos. Por serem muitos trabalhos a serem analisados e por critérios de tempo e de qualidade do trabalho, optamos por fazer uma busca mais específica, colocando os termos da primeira busca entre aspas ("). Foram obtidos apenas 5 resultados, porém 2 resultados traziam o mesmo trabalho, então analisamos os 4 trabalhos.

Os quatro trabalhos analisados trabalham com a História Geral da Física. O uso da História Geral é justificado pelos autores para que se possa fazer uma contextualização com

Quadro .5 – Palavras de busca: "Ensino de Física" e "Máquinas Térmicas"

Nº	Ano	Autor/Orientador	Título
13	2016	Dias, Jaqueline Menezes/Everton Ludke	Um Estudo da Construção do Habitus no Ensino da 2ª Lei da Termodinâmica
14	2016	Pascoal, Alexandre dos Santos/Marcos Antônio Barros	A Evolução Histórica da Máquina Térmica de Carnot como proposta para o Ensino da Segunda Lei da Termodinâmica
15	2007	Rafael, Francisco Josélio/Martins, Adré Ferrer P.	Elaboração e Aplicação de Uma Estratégia de Ensino Sobre os Conceitos de Calor e Temperatura
16	2016	Sbka, Diego Ricardo/Lima Jr, Paulo	Uma Abordagem CTS das Máquinas Térmicas na Revolução Industrial Utilizando o RPG como Recurso Didático

Fonte: O Autor.

o cenário social e econômico da Revolução Industrial e é mencionada em todos os trabalhos analisados. A abordagem dada a História da Física e a utilização dessa na sala de aula ocorre de maneira distinta. E os quatro trabalhos analisados dizem que a História da Física é essencial para um Ensino de Física de qualidade.

Dias (2016), propõe contextualizar o Ensino da Termodinâmica com a História da Evolução das Máquinas Térmicas e a importância dessas para a afirmação do sistema econômico capitalista. Ela elaborou uma sequência didática e a desenvolveu em três turmas dos cursos de Engenharia da Universidade Federal de Santa Maria RS (UFSM). A autora faz uma Análise Textual Discursiva em cima dos livros adotados para os cursos superiores.

Na introdução Dias (2016) relata que sua abordagem histórica da evolução das máquinas térmicas vem entrelaçada com as necessidades sociais a serem supridas e dos impactos sociais que as máquinas proporcionaram. Ela dá um destaque para a necessidade de se explicar cientificamente o funcionamento das máquinas térmicas e da construção dos conceitos fundamentais da Termodinâmica, como energia, calor e trabalho.

Na justificativa da escolha para o tema, Dias (2016) aponta os problemas metodológicos do Ensino da Termodinâmica (Ensino Tradicional) e a fragmentação dos conteúdos como um dificultador para a compreensão dos estudantes e por isso ela defende um Ensino de Física contextualizado historicamente para a melhor compreensão de como os conceitos da Termodinâmica foram construídos.

Em sua sequência didática Dias (2016) propõe o uso de fatos históricos em suas aulas para entender como as máquinas surgiram nas minas de carvão até a sua utilização nas indústrias e sua importância na Revolução Industrial. Sua sequência são de 5 aulas, sendo 4 expositivas dialogadas e 1 experimental. Dias (2016) prepara uma aula específica sobre o funcionamento das máquinas térmicas e como elas evoluíram. A autora pede que os estudantes expliquem como Watt melhorou a máquina a vapor de Newcomen e porque a máquina de Watt é mais eficiente.

Pascoal (2016) utilizou a História e Filosofia da Ciência (HFC) no contexto da Revolução Industrial. Já na introdução o autor fala da importância de utilizar textos históricos para promover uma melhor compreensão das concepções dos métodos científicos e mostra a Evolução histórica da Máquina Térmica de Carnot para tal feito. Pascoal (2016) tem a intenção de humanizar os assuntos da Física utilizando o conhecimento científico dentro de um contexto histórico. Ele ressalta em boa parte do seu trabalho o cuidado de se divulgar de maneira correta a história da ciência e os perigos que as anedotas trazem para o Ensino de Física. Outro ponto que o autor levanta é que a contextualização melhora a compreensão dos estudantes.

Pascoal (2016) cria um capítulo para falar da Revolução Industrial no que tange o uso das máquinas térmicas e o seu impacto social, depois mostra a evolução e substituição das máquinas a vapor e a sua importância para a Revolução mencionada. O material foi elaborado para professores que desejam saber da Evolução Histórica das Máquinas Térmicas e a Elaboração da 2ª Lei da Termodinâmica.

Rafael (2007) trabalha com a contextualização do conhecimento científico com o foco nos conceitos de calor e temperatura. Ele se propõe a fazer a conexão entre o relato da História da Ciência e o Ensino de Física, defendendo que elementos históricos contribuam para o aprendizado e devem estar presentes em sala de aula.

Rafael (2007) em seu capítulo "História da Ciência e Ensino de Física" faz um balanço entre os benefícios e os malefícios de utilizar a História da Ciência no Ensino de Física. Ele faz um capítulo contando a História da Termodinâmica ressaltando a Revolução Industrial, a máquina a vapor e a Evolução dos conceitos de calor e temperatura. O autor faz uma breve

descrição histórica dando ênfase na evolução dos conceitos de calor e temperatura, mas não fica claro como o autor abordou a História da Ciência em suas aulas.

Sabka (2016) em sua dissertação desenvolve um produto educacional voltado para os professores. Trata-se de um jogo de RPG voltado para o Ensino de Termodinâmica. O autor utiliza a História Geral como pano de fundo do RPG. A partir disso ele (professor) conduz o jogo pegando fatos históricos e colocando para os estudantes afim de que eles tomem decisões para solucionar problemas como os da poluição das fábricas, do melhoramento das máquinas a vapor, e as consequências sociais por tal avanço tecnológico. No jogo ele traz também a relação do desenvolvimento científico influenciando no desenvolvimento tecnológico que por sua vez vai influenciar no desenvolvimento econômico e social. O autor utiliza a Ciência, Tecnologia e a Sociedade (CTS) como uma abordagem para as suas aulas dentro de um viés marxista.

A última busca foi feita utilizando os termos: lógico-histórico e Termodinâmica, lógico-histórico e História da Física e combinações com palavras que pudessem ter o mesmo sentido, porém não obtivemos nenhum resultado, dando assim por encerrada a nossa revisão bibliográfica.

APÊNDICE C – Diálogos dos Estudantes

Segue abaixo o diálogo entre o professor e os estudantes em uma aula expositiva sobre a 2ª lei da Termodinâmica. O experimento mental proposto pelo professor promove o desenvolvimento do pensamento teórico dos estudantes, utilizando a 1ª lei da Termodinâmica como *juízo especial*³ como parâmetro para o raciocínio para a resolução do problema proposto.

P: É possível, quando eu colocar essa lata aqui em cima dessa chapa, a chapa ficar cada vez mais quente e a lata cada vez mais gelada sem ferir a...

E1: Não.

P: A primeira Lei da termodinâmica e a regra pra transferência de energia térmica?

E2: Não.

E4: Sim.

E: [juntos] Não.

E2: Não, se a chapa é quente e a lata é gelada não tem como... cada um ficar mais... a lata ficar mais gelada e a...

E3: Pode ter troca de energia.

E2: A não ser que a lata...

E5: Eu acho que vai ser a mesma coisa.

E1: Se a lata tiver muito quente a lata vai ferver...

E2: Não..

P: Não, esquecem... Vocês tão falando aí das experiências... Presta a atenção, ó! Vocês tão falando das experiências de vocês. Esqueçam as experiências que vocês já têm.

E1: Que tipo de experiência...

P: A gente vai concentrar aqui na primeira Lei e no calor. Pra que eu, pra que tenha transferência de energia térmica tem que ter o quê? Diferença de temperatura. Eu tenho diferença de temperatura entre os corpos?

E1: Tem.

E4: Tem.

P: Tem. Então se tem transferência, se tem diferença de temperatura vai ter transferência de calor, tá, transferência de energia, né, de um ponto pro outro. E aí? É possível? Pra que... Vou, vou fazer a pergunta de uma maneira diferente: Pra que a lata fique cada vez mais gelada o que ela precisa fazer?

E3: Tá num ambiente mais gelado que ela, uai.

P: Pra quê?

E3: Pra ter troca de... temperatura?

P: É troca de temperatura que entra ou de calor?

E4: Troca de energia.

E3: É... de calor, lá.

P: Transferência de calor, né, de um corpo pro outro. Então pra ele ficar cada vez mais gelado ele tem que transferir calor, ele tem ser retirado calor dele. som de concordância

P: Se eu retirar o calor da lata e pra chapa, a lata vai ficar cada vez mais fria?

E1: Vai.

E4: É, uai.

E2: Não.

³ Termo utilizado por Kopnin (1978).

E3: Não.

E2: Vai trocar calor, e a chapa vai tá mais quente, não.

P: Sim, mas... lembra? A primeira Lei fala da conservação de energia, ela não fala o caminho, se o calor sai do material mais frio pro material mais quente, não fala isso.

E3: Mas e se lata passar o... a temperatura dela pra chapa, com certeza ela vai ficar mais quente.

P: Não se transfere... lembra das aulas: não se transfere temperatura, se transfere essa energia.

E3: Energia...

P: Que a gente chama de calor, essa transferência a gente chama de calor. Ok?

E2: Mas então a chapa vai esquentar. Se qualquer energia que a lata passar pra chapa passar, a lata vai ficar mais fria.

E: Então se eu fizer esse processo aqui?

E1: Não sei como, mas vai.

P: Fere a primeira Lei?

E1: Fere.

P: Vamo olhar pra esse objeto aqui, digamos que a chapa seja o meu sistema...

E1: Tem que ter um caminho aí.

P: Qual é a energia de entrada?

E1: A energia utilizada.

P: É o calor. Vai ser utilizada pra quê? Vai realizar trabalho na chapa? A chapa vai movimentar alguma coisa?

E: [juntos] Não.

P: Vai ter variação da energia interna?

E2: Vai.

E4: Vai.

P: Vai. E isso vai fazer o quê? Com que a chapa fique o quê?

E1: Mais... quente.

E3: Mais fria.

P: Ela tá recebendo calor, ela vai ficar mais fria ou mais quente?

E4: Tem diferença de temperatura.

E3: A chapa?

E1: Ela tinha que ficar mais fria porque a lata vai ficar mais quente.

P: Vamo lá!

E2: Mas como que isso acontece?

P: Tá? Psiu! Na nossa hipótese a lata tá transferindo calor pra?

E2: Chapa.

P: Pra chapa.

E1: Da chapa pra quê? Da chapa pra lata?

P: A lata tá gelada...

E1: Então a chapa vai esfriar, uai.

P: A lata tá gelada. A gente tá levantando uma hipótese, isso não quer dizer que condiz com a verdade. Já vou falar pra vocês. A gente tá levantando uma hipótese e tá verificando se essa hipótese vai ferir a primeira Lei ou não.

E4: Põe uma água bem gelada na lata.

P: Então você tem uma lata gelada.

E1: Certo.

P: Porque vocês falaram que pra ela resfriar, ela tem que retirar calor dela, não é isso?

E1: Sim.

P: Eu tenho que tirar calor dela, pra ela ficar gelada. É isso que acontece por exemplo no freezer.

E2: É, uai.

E3: É, uai.

P: Ponto. Mas tem que retirar. Imagina que eu retirei calor da lata e joguei na chapa? O meu sistema é a chapa. Agora a gente vai olhar pra chapa. A chapa tá cedendo ou recebendo calor?

E4: Recebendo.

E1: Tá recebendo calor.

P: Recebendo. Ela realiza trabalho? Ela tem êmbolo pra empurrar?

E4: Não.

E1: nenhum.

P: Então o quê que vai acontecer?

E5: Vai aumentar a temperatura.

P: Vai aumentar a energia interna dela?

E5: vai.

P: Vai. Se aumenta a energia interna, o quê que eu verifico?

E2: Aumento de temperatura e calor.

P: Então ela vai ficar? Mais quente. E a lata?

P: Ela perdeu calor, não perdeu?

E2: Vai variar a temperatura também, só que pra menos.

P: É, Realiza trabalho na lata?

E4: Não.

E1: Não.

P: Só que ela tá o quê? Positivo ou negativo? Porque ela tá perdendo...

E5: Negativo.

P: E a variação da energia interna?

E1: Positiva.

E3: Negativa.

P: Mas pra manter a igualdade é possível isso?

E1: É, uai.

E3: Negativo.

E4: Não.

P: Ela tem que ser o quê? Se aqui é negativo, isso aqui tem que ser o quê?

E1: Negativo também.

E: [juntos] Negativo.

P: Isso significa que, se a variação é negativa quer dizer que ela tá, a energia interna tava num patamar e passou pro patamar menor.

E1: É, uai.

P: Diminuiu a energia interna, se diminuiu a energia interna, o quê que diminuiu lá?

E1: Temperatura.

E5: Temperatura.

P: Fere a primeira Lei? Eu usei a primeira Lei pra explicar isso aí, fere? A primeira Lei?

E2: Não.

E3: Fere não.

E4: Não entendi.

E3: Nós não entendeu.

E2: Mas tudo depende do trabalho...

inaudível

E3: Falei, nadei, nadei e morri na praia.

P: Pra explicar... pra... Vamo olhar só pra, pros elementos distantes. Eu quero fazer com que o líquido lá dentro da lata congele, por exemplo.

E3: Eu tô pensando uma coisa, se você pegar uma lata gelada e colocar dentro de um trem quente? A lata vai, vai... [inaudível]

P: Por isso que eu falei, o experimento é mental! A gente tem que esquecer esse negócio da experiência.

E3: Eu não consigo não.

E3: Eu não consigo fazer um trem desse não.

P: Tá, calma.

E1: Isso não é difícil não.

P: Segura, segura essa informação. Segura essa informação. A gente tá fazendo uma simulação mental.

E5: É uma coisa que não existe, né.

P: É, a gente tá... mas que seja razoável. Pra ser razoável a gente tem que ter alguns parâmetros. Igual, eu não posso por exemplo, eu tô com um... quatro de espadas jogando truco, eu não posso pedir truco, jogar o quatro de espadas e falar assim: "Aqui, vale mais do que o quatro de paus." "Posso falar isso?"

E1: Não.

E5: Pode, mas não vai valer.

P: Poder, eu posso falar, mas não é... não é, não tá dentro das regras.

E4: Depende se você roubar.

P: Não, a gente tá jogando dentro das regras sem roubar.

E5: Não... isso eu não conheço não.

risos

P: A gente tá jogando de acordo com as regras. Ok?

E5: Não conheço não. [risos]

P: Então presta a atenção. Isso aqui é a minha regra de conduta. Só existe isso aqui como regra e aquela regra do calor: pra eu ter transferência de energia térmica eu tenho que ter diferença de temperatura. Teve diferença de temperatura?

E: [juntos] Tem.

P: Tem. Vamo olhar os dois isoladamente. Eu quero congelar o líquido que tá lá dentro, o quê que eu preciso fazer?

E1: Tirar calor.

E2: Esfriar.

E3: Abaixar a temperatura.

P: Esfriar! Quando você fala em resfriar, é o quê? Colocar calor pra dentro do sistema ou retirar?

E1: Retirar.

P: Retira o calor, ok? Se eu retiro o calor... Ele não tá realizando trabalho, o trabalho lá é nulo. O quê que vai acontecer com a variação da energia interna?

E4: Negativa.

P: Se eu tô retirando, a variação da energia interna vai ser o quê, Mateus?

E4: Negativa.

P: Negativa. Se a variação da energia interna é negativa, a variação de temperatura também. Variação de temperatura negativa, a temperatura tava em 20 graus celsius, passou a zero, por exemplo, ok? Tô imaginando a latinha sozinha. Então ela tem que ser retirado calor. Imagina que eu retiro esse calor e joga na chapa.

E4: Vai esquentar.

P: Ok? Agora eu vou olhar só pra chapa. A chapa recebeu esse calor, não realiza trabalho, o quê que vai acontecer com a variação da energia interna?

E4: Vai variar a temperatura.

P: Aumenta, aumentando também o quê? Temperatura.

E5: Energia interna.

P: É, você falou invertido. Aumenta, é... varia a energia interna, se for a temperatura... mas enfim, dá na mesma.

E3: Por que que o calor não pode sair da chapa e ir pra lata?

E1: Não, meu fii, esquece isso!

E5: Ô! Vai embora.

E2: Ah, neim...

E5: Finge que a chapa tá dentro do congelador.

P: Imagina... eu tô, eu tô fazendo uma extrapolação. Tô imaginando a lata primeiro sozinha... Psiu! Tô imaginado a lata primeiro sozinha... Lucas, presta a atenção. Ok? Depois eu tô... pra onde eu vou tirar esse calor que eu vou tirar pra chapa? Por exemplo.

E4: Imagina ao contrário que é mais fácil.

risos

E4: É, uai.

P: Tá. Mas só que a primeira Lei proíbe não fazer essa, esse... experimento mental?

E: [juntos] Não.

P: Não. A ideia de que o calor sai de um corpo pro outro e a diferença de temperatura? Vai ferir isso aí? Vou ferir isso aí?

E1: vai não.

P: Também não, também não firo isso aí. Então a minha pergunta é a seguinte: Esse experimento, ele é possível se usasse somente a primeira Lei da Termodinâmica?

E1: Não.

E2: Não.

P: Então existe um problema aí. Porque a primeira Lei da Termodinâmica, ela não é suficiente pra... pra que eu tenha a noção do todo. Ok? Ela precisa ser complementada. E aí eu pergunto pra vocês: Isso acontece na natureza?

E1: Não.

P: Aí vem a sua resposta, Lucas. Acontece na natureza isso aí? O calor sair da latinha e vir pra chapa? Acontece?

E: [juntos] Não.

P: Então como é que eu tenho que enunciar a segunda Lei?

E5: Doida.

inaudível

E3: É o quê?

P: O quê que tá faltando aqui na primeira Lei que eu preciso dizer na segunda?

E2: O ambiente?

E4: A massa?

P: Não. O calor pode sair do corpo mais frio pro corpo mais quente?

E: [juntos] Não.

P: Não. Então o quê que vocês têm pra falar?

E3: Que só o calor mais quente pode entrar no mais frio.

P: Não.

E1: É o calor.

E2: Isso aí é diferença de temperatura.

- P: O calor pode fluir do corpo mais frio pro corpo mais quente?
- E1: Não. Só a temperatura do corpo mais quente pro corpo frio.
- E2: Depende, se a temperatura tiver menor que o do frio... Não tem jeito não.
- P: Não, esse aqui tá com a temperatura, a temperatura da chapa é maior que a temperatura da lata de refrigerante.
- E5: Da atmosfera.
- E3: É ao contrário.
- P: Então como é que você falaria?
- E3: Uai, é só se a lata tivesse quente e a chapa tivesse fria.
- E2: Não meu, fii, a lata é fria.
- P: Não... Olha só!
- E3: Eu tô falando o contrário.
- P: O que eu tô dizendo pra vocês é o seguinte: nesse experimento mental, fiz com que a temperatura, que o... olha só, até eu tô... que o calor fluísse do corpo mais frio pro corpo mais quente, vocês tavam insistindo comigo que não, que isso não acontece. Se não acontece assim, como é que acontece então? Se o corpo...
- E1: Do mais quente pro mais frio.
- E2: Isso.
- P: Isso... Então o calor flui como?
- E2: ã?
- P: O calor vai fluir como?
- E2: Uai, do quente pro frio.
- P: Do quente o quê? Do corpo mais quente?
- E2: É, uai.
- E4: É, uai.
- E5: É, uai.
- P: Então, você acabou de enunciar a segunda Lei da Termodinâmica. O calor, ele vai fluir do corpo mais quente pro corpo mais frio.
- E1: Uai, isso aí é uma conta muito grande.
- P: Sim, mas é possível...
- P: Ok, mas isso aqui é pra gente ver que isso aqui não é o suficiente pra eu identificar as coisas. E outra coisa, é possível, agora você imagina a lata isolada e a chapa isolada, é possível fluir calor do corpo mais frio pro corpo mais quente?
- E1: Não.
- E2: Só se tiver frio.
- P: Sim ou não?
- E2: Tem que tá frio demais.
- P: Não. Só tem os dois corpos.
- E1: Depende da atmosfera...
- P: Imagina que a gente tá aqui, ó, que aqui é um ambiente isolado. Eu tenho uma lata de refrigerante, eu...
- E1: Não, não.
- E4: Não tem contato.
- P: Mesmo que não tenha contato.
- E2: Isso não existe não.
- E1: Não.
- E5: Não.
- E1: Vai dar certo não.
- P: Não tem, né. Então me expliquem como é que funciona o refrigerador?

E4: Refrigerador?

E5: Energia.

E2: É um sistema fechado.

E5: Na tomada.

E1: É, uai, a energia elétrica tá mandando...

P: Não. Agora eu tô pedindo pra vocês usarem a experiência de vocês. Se eu quero que uma lata de refrigerante gele, o quê que eu faço?

E5: Usa o congelador, uai.

E1: Abaixa a temperatura lá dentro e esfria.

P: Não. Qual é o processo? Eu tenho uma lata aqui, eu quero que ela... eu quero fazer com que ela fique gelada.

E5: Põe na água quente.

P: Põe no congelador.

E4: É porque ela sai do mais quente e vai pro mais frio.

P: Sim.

E4: Aí tira tudo a temperatura dela, da lata.

P: Não tira a temperatura, tira o quê dela?

E2: Calor.

P: Calor. Pra quê que você retira calor?

E1: Pra esfriar.

P: Pra diminuir a temperatura. Ok? Galera, vamo lá! Retirei... coloquei ela no congelador, vai ser retirado calor dela, não vai?

E4: vai.

E2: vai.

P: Vai ser passado pra onde?

E5: Pra superfície do congelador.

P: Isso, então a temperatura do congelador vai diminuir.

E5: Não...

P: Vai não, aumentar, né, eu tô passando calor pra ele...

E2: Não mas tem um [inaudível]

E1: É, uai tem o motor que tá sempre mandando mais.

E2: Ele aumenta de acordo com, tipo assim, a temperatura dele, da lata tiver maior vai aumentar, depois que igualar... vai manter...

P: Isso... Mas aí vamo lá. A temperatura da lata vai abaixar e a temperatura do congelador vai aumentar ou a temperatura do congelador é constante?

E1: Constante.

E2: É constante porque ele é ligado.

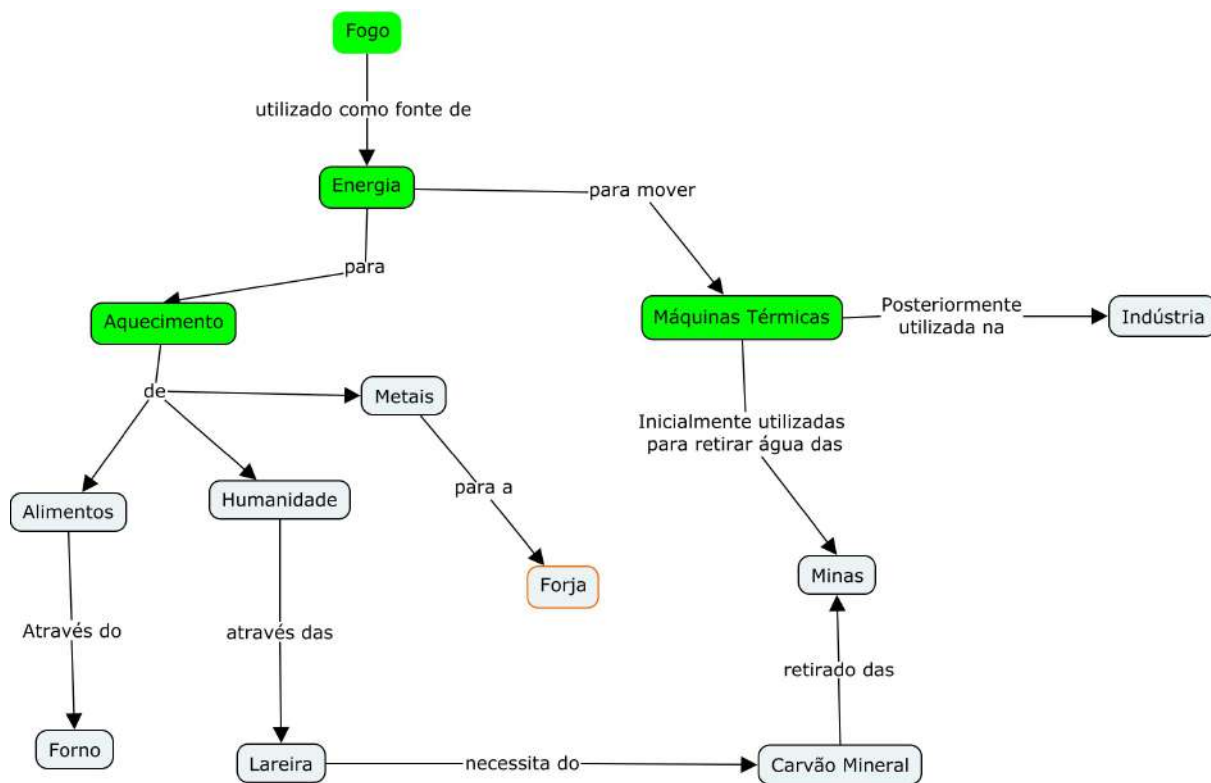
P: Constante. Então esse calor tem que ser transferido pra algum lugar. Pra onde é que vocês imaginam que esse calor vai ser transferido?

E1: Pra aquele negócio lá do congelador, aquele que fica atrás da geladeira lá, que é pretinho.

P: Radiador.

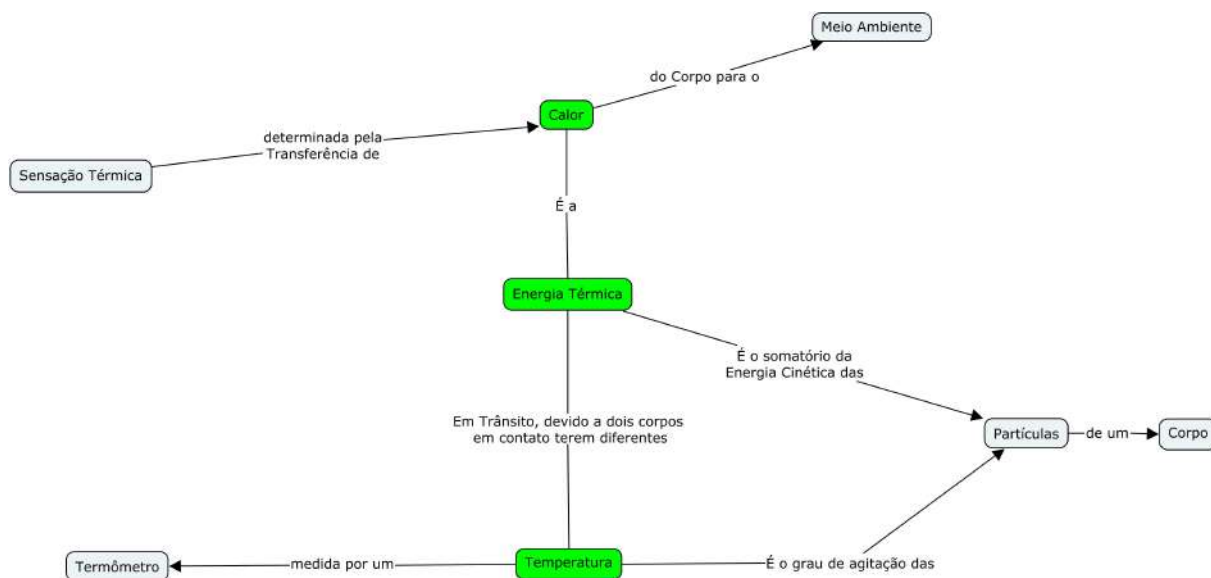
APÊNDICE D – Mapas Conceituais da Termodinâmica

Figura 8 – Mapa conceitual do fogo.



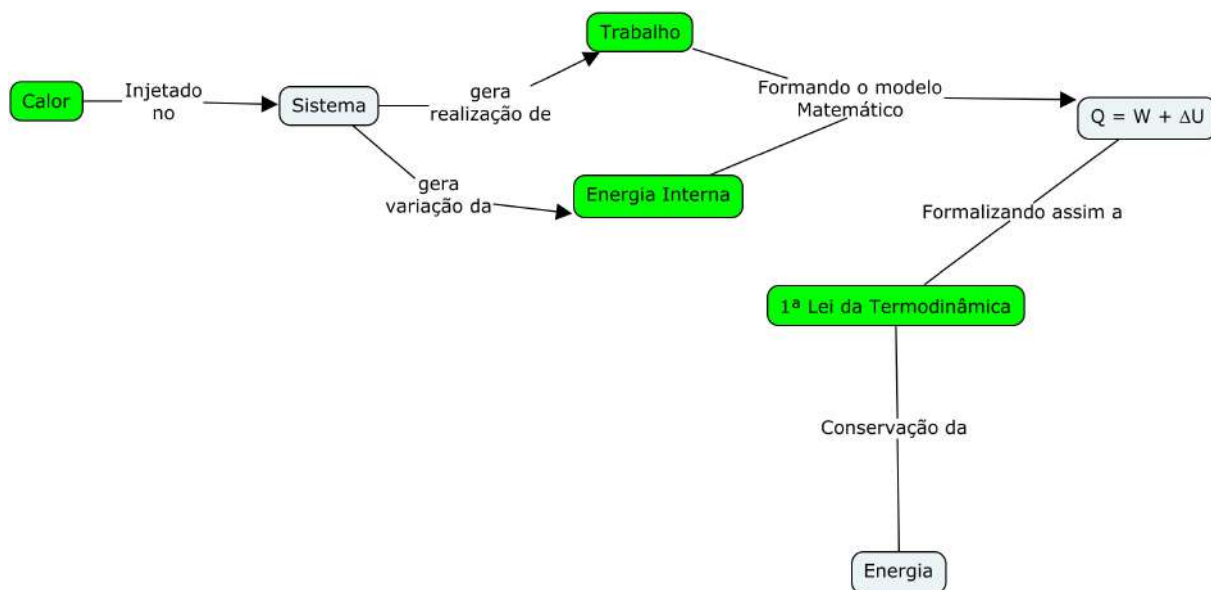
Fonte: O Autor.

Figura 9 – Mapa conceitual de calor e temperatura



Fonte: O Autor.

Figura 10 – Mapa conceitual simplificado da Primeira lei da Termodinâmica.



Fonte: O Autor.

Figura 11 – Mapa conceitual simplificado da Segunda lei da Termodinâmica.

