



UNIVERSIDADE  
ESTADUAL DE LONDRINA

---

WALTER ANIBAL RAMMAZZINA FILHO

**UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA PARA  
APRENDIZAGEM POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA DE  
TERMODINÂMICA QUÍMICA NO ENSINO SUPERIOR**

WALTER ANIBAL RAMMAZZINA FILHO

**UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA PARA  
APRENDIZAGEM POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA DE  
TERMODINÂMICA QUÍMICA NO ENSINO SUPERIOR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, da Universidade Estadual de Londrina.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Irinéa de Lourdes Batista.

Londrina  
2017

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

Rammazzina Filho, Walter Anibal.

Uma Abordagem Histórico-Epistemológica para a Aprendizagem Potencialmente Significativa de Termodinâmica Química no Ensino Superior / Walter Anibal Rammazzina Filho. - Londrina, 2017.  
304 f.

Orientador: Irinéa de Lourdes Batista.

Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Ciências Exatas, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, 2017.

Inclui bibliografia.

1. Termodinâmica - Tese. 2. Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade - Tese. 3. Epistemologia - Tese. 4. Ensino de Engenharia - Tese. I. Batista, Irinéa de Lourdes. II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Ciências Exatas. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática. III. Título.

WALTER ANIBAL RAMMAZZINA FILHO

**UMA ABORDAGEM HISTÓRICO-EPISTEMOLÓGICA PARA  
APRENDIZAGEM POTENCIALMENTE SIGNIFICATIVA DE  
TERMODINÂMICA QUÍMICA NO ENSINO SUPERIOR**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, da Universidade Estadual de Londrina como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Irinéa de Lourdes  
Batista  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Giselle Rôças de Souza Fonseca  
Instituto Federal de Educação, Ciência e  
Tecnologia do Rio de Janeiro - IFRJ

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Marcia Gorette Lima da Silva  
Universidade Federal do Rio Grande do Norte -  
UFRN

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vera Lúcia Bahl de Oliveira  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Fabiele Cristiane Dias Broietti  
Universidade Estadual de Londrina - UEL

Londrina, 04 de dezembro de 2017.

## **DEDICO**

Aos meus pais, Walter Anibal Rammazzina e Rosângela Gonçalves Rammazzina e à minha irmã Ana Carolina Gonçalves Rammazzina Servidoni.

## AGRADECIMENTOS

A conclusão desta importante etapa é fruto de um processo de planejamento e articulação de ideias, que não aconteceu de maneira solitária, várias pessoas contribuíram para que hoje eu pudesse estar aqui agradecendo. Quando agradeço, deixo meu sentimento de alegria e gratidão que tenho pelo amor dispensado a mim.

A Deus, que me deu forças e me iluminou durante todo o curso e colocou do meu lado pessoas maravilhosas que puderam me ensinar e me fazer crescer como pessoa e profissional.

Aos meus pais, Rosangela Gonçalves Rammazzina e Walter Anibal Rammazzina e minha irmã Ana Carolina Gonçalves Rammazzina que estiveram comigo em todos os passos da minha vida e da minha carreira, desde a época de escola no Sagrado, ingresso e percurso na Unicamp, concurso na UTFPR e agora neste último grau acadêmico de Doutor na UEL. Tenho a sorte de ter a família que tenho. Obrigado por entenderem minhas ausências necessárias, agora é o início de uma nova fase.

À Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Irinéa de Lourdes Batista pela orientação, confiança, e espírito crítico na orientação do trabalho. Às Professoras Doutoras Márcia Gorette Lima da Silva, Giselle Rôças de Souza Fonseca, Fabiele Cristiane Dias Broietti e Vera Lúcia Bahl de Oliveira por todos os conselhos e por todo o carinho dispensado na análise do meu trabalho nos Exames de Qualificação. Ao grupo IFHIECEM por todas as contribuições.

A todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática (PECEM), que compartilharam e construíram comigo conhecimentos no decorrer de minha formação. À Cibele, secretária do PECEM, pelo auxílio em todas as questões burocráticas.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) pela minha liberação em tempo integral para a conclusão do doutorado, e por me propiciar a infraestrutura para a tomada de dados empíricos.

Aos amigos e colegas de PECEM, que tanto contribuíram com as leituras, revisão e contribuições: Gabriela, Marlize, Juliane, Márcia, Lígia, Denise, Juliana Stahl, Ronaldo e Fernanda. Obrigado pelas discussões, conversas, companhia nas disciplinas e por todos os incentivos.

A Ana Funari (e toda família) e Mariana Botelho por todas as festas,

momentos de risada, diversão e de descontração que foram essenciais para refrescar a minha cabeça durante este processo. Minha eterna gratidão e amizade. Vocês foram fundamentais. A todos com quem puder jogar vôlei durante este período na Atlética da UTFPR-CP.

Aos meus amigos de infância, Walkyria e Edgar e Regina, Mariane e Fernando, Juliana, Vânia, por todos os anos de amizade, por serem meus irmãos de coração e por me acolherem sempre com tanto carinho. À Priscila, ao Eduardo e à Danielle por serem amigos tão presentes, apesar da distância física. À Gabi por todas as divertidas paradas em Assis, seja com café ou sorvete.

Aos queridos alunos e amigos que embarcaram na minha “louca” ideia de uma experiência didática diferenciada e por serem fundamentais no sucesso deste trabalho. Meu eterno respeito e carinho por vocês.

Enfim, a todos os que direta ou indiretamente contribuíram para que este trabalho se realizasse. Caso tenha me esquecido de alguém, peço desculpa. Foi uma jornada incrível.

"Para se ter sucesso, é necessário amar de verdade o que se faz. Caso contrário, levando em conta apenas o lado racional, você simplesmente desiste. É o que acontece com a maioria das pessoas." (Steve Jobs)

RAMMAZZINA FILHO, Walter Anibal. **Uma abordagem histórico-epistemológica para a aprendizagem potencialmente significativa de termodinâmica química no ensino superior**. 2017. 304 p. Tese (Doutorado em Ensino de Ciências e Educação Matemática) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

## RESUMO

Ensinar e aprender Termodinâmica de maneira significativa no Ensino Superior não é tarefa simples. Existem diferentes obstáculos de aprendizagem decorrentes de noções alternativas que os estudantes trazem incorporados de sua formação básica. O objetivo foi de investigar, por meio de uma abordagem de ensino com base na História e na Epistemologia da Ciência e nas Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade (IIR), as noções de Natureza da Ciência e a construção de conceitos e de Leis da Termodinâmica Química de futuros engenheiros mecânicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Cornélio Procópio. O desenvolvimento metodológico ocorreu com a articulação da Teoria da Aprendizagem Significativa, da História e Filosofia da Ciência, da Natureza da Ciência e da interdisciplinaridade. A construção da unidade didática foi baseada nas etapas das Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade. Utilizou-se da análise qualitativa de cunho bibliográfico na busca de interpretar e compreender as noções dos futuros engenheiros a respeito dos conceitos propostos. Os resultados dos questionários prévios e posterior à abordagem didática desenvolvida, além dos registros das entrevistas estruturadas realizadas após um período de tempo, foram analisados à luz da análise de conteúdo para unitarizar o conhecimento dos futuros engenheiros. Os diagramas Vê de Gowin foram utilizados como instrumentos de organização do conhecimento (a partir da leitura de textos históricos produzidos) e de obtenção de dados, sendo investigados indícios de aprendizagem pela análise qualitativa e interpretativa. A partir da triangulação dos diferentes instrumentos utilizados (questionários prévio e posterior, diagramas Vê e entrevista estruturada), pode-se inferir que houve indícios de adequação de noções alternativas relacionadas tanto à Natureza da Ciência quanto à Termodinâmica. Além disso, é possível inferir que houve indícios de aprendizagem significativa, contempladas em três etapas: a ancoragem seletiva do material às ideias relevantes na estrutura cognitiva, a interação entre as ideias recém-introduzidas e as ideias ancoradas, e a ligação dos novos conhecimentos com as ideias ancoradas no intervalo de memória. Outros indícios de aprendizagem puderam ser inferidos a partir da diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. Com base nos resultados obtidos, é possível concluir que a abordagem interdisciplinar construída, com elementos da História e Filosofia da Ciência e da Natureza da Ciência, é potencial para promover a aprendizagem significativa de conceitos e de Leis da Termodinâmica.

**Palavras-chave:** Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade. Vê de Gowin. Termodinâmica. Ensino de Engenharia. Epistemologia.

RAMMAZZINA FILHO, Walter Anibal. **A Historical-Epistemological Approach to Potentially Meaningful Learning of Chemical Thermodynamics in Higher Education** 2017. 304 p. Thesis (Doctoral Degree in Sciences and Mathematics Teaching Practices) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2017.

## ABSTRACT

Teaching and learning thermodynamics in meaningful way in Higher Education is not a simple task. There are different learning obstacles stemming from alternative notions that students bring incorporated from their basic education background. The objective was to investigate, with a teaching approach based on History and Epistemology of Science and the Interdisciplinary Rationality Islands (IIR), the notions of Nature of Science and the construction of concepts and Laws of Chemical Thermodynamics of future mechanical engineers of the Federal Technological University of Paraná - Câmpus Cornélio Procópio. The construction of the didactic unit was based on the stages of the Interdisciplinary Islands of Rationality. It was used the qualitative analysis of bibliographical natureza in the search to interpret and to understand notions of the future engineers with respect to the proposed concepts. The results of the previous questionnaires and after the didactic approach developed, besides the records of the structured interviews carried out after a period of time, were analyzed under the perspective of the content analysis to unitarize the knowledge of the future engineers. The Gowin Vee diagrams were used as instruments of knowledge organization (based on the reading of historical texts produced) and data acquisition, and qualitative and interpretative analysis of learning was investigated. From the triangulation of the different instruments used (previous and posterior questionnaires, diagrams Vê and structured interview), it can be inferred that there were indications of adequacy of alternative notions related to both the Nature of Science and Thermodynamics. In addition, it is possible to infer that there were significant evidence of learning, contemplated in three stages: selective anchoring of material to relevant ideas in the cognitive structure, interaction between newly introduced ideas and anchored ideas, and the linking of foreground with ideas anchored in the memory range. Other evidence of learning could be inferred from progressive differentiation and integrative reconciliation. Based on the results obtained, it is possible to conclude that the interdisciplinary approach constructed, with elements of the History and Philosophy of Science and Nature of Science, is potential to promote the meaningful learning of concepts and Laws of Thermodynamics.

**Keywords:** Interdisciplinary Islands of Rationality. Gowin Vee. Thermodynamics. Engineering Teaching. Epistemology.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação esquemática genérica do diagrama “Vê” de Gowin.....	25
Figura 2 - “Vê” de uma pesquisa em Ensino .....	31
Figura 3 - Esquema relacionando aos componentes curriculares referentes à Físico-Química do curso de Engenharia Mecânica da UTFPR-CP.....	79
Figura 4 - Representação da ideia de Stevinus, figura extraída de Lindsay (1971), da reimpressão do trabalho The impossibility of perpetual motion and the problem of the inclined plane. Fonte: New York: F. Magie; McGraw-Hill book Company, 1935;.....	90
Figura 5 - Corpos em queda livre. Segundo Leibniz uma massa de “4m” a uma altura “x” é equivalente a uma massa “m” a uma altura de “4x”.....	92
Figura 6 - Balança em diferentes posições conforme construção de Descartes.....	93
Figura 7 - Modelo de aeolípia (ou máquina de Heron).....	100
Figura 8 - Canhão utilizado por Thompson para as suas experiências e inferências (1798). .....	113
Figura 9 - Esquema do Calorímetro de Lavoisier e Laplace. ....	122
Figura 10 - Esquema do Calorímetro utilizado por Joule (1963). Diâmetro: 0,84 m; altura: 0,34 m. ....	133
Figura 11 - Aparato auxiliar para a determinação dos calores específicos do latão e do cobre, Joule (1844). ....	134
Figura 12 - Esquema para a demonstração da invariabilidade de (Q + W) em um processo. ....	136
Figura 13 - Representação do experimento de Carnot .....	159
Figura 14 - Representação gráfica do ciclo de Carnot, apresentada por Clapeyron.....	161
Figura 15 - Diagrama Vê construído pelos participantes P2 e P1 durante a atividade 1.....	241
Figura 16 - Diagrama Vê construído pelos participantes P3 e P6 durante a atividade 1.....	242

Figura 17-Diagrama Vê construído pelos participantes P5 e P4 durante a atividade 1.....	243
Figura 18-Diagrama Vê construído pelo participante P2 durante a atividade 2.....	244
Figura 19-Diagrama Vê construído pelo participante P3 durante a atividade 2.....	245
Figura 20-Diagrama Vê construído pelo participante P5 durante a atividade 2.....	246
Figura 21 -Diagrama Vê construído pelo participante P2 durante a atividade 3.....	247
Figura 22- Diagrama Vê construído pelo participante P3 durante a atividade 3.....	248
Figura 23-Diagrama Vê construído pelo participante P5 durante a atividade 3.....	250
Figura 24-Diagrama Vê construído pelo participante P2 durante a atividade 4.....	251
Figura 25-Diagrama Vê construído pelo participante P3 durante a atividade 4.....	252
Figura 26-Diagrama Vê construído pelo participante P5 durante a atividade 4.....	253
Figura 27-Diagrama Vê construído pelo participante P2 durante a atividade 5.....	254
Figura 28-Diagrama Vê construído pelo participante P3 durante a atividade 5.....	255
Figura 29-Diagrama Vê construído pelo participante P5 durante a atividade 5.....	256
Figura 30-Diagrama Vê confeccionado pelos participantes P2 e P1 durante a atividade 1.....	296
Figura 31 -Diagrama Vê confeccionado pelos participantes P3 e P6 durante a atividade 1.....	296
Figura 32-Diagrama Vê confeccionado pelos participantes P5 e P4 durante a atividade 1.....	297
Figura 33-Diagrama Vê confeccionado pelo participante P2 durante a atividade 2.....	297

Figura 34 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P3 durante a atividade 2.....	298
Figura 35 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P5 durante a atividade 2.....	298
Figura 36 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P2 durante a atividade 3.....	299
Figura 37 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P3 durante a atividade 3.....	299
Figura 38 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P5 durante a atividade 3.....	300
Figura 39 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P2 durante a atividade 4.....	300
Figura 40 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P3 durante a atividade 4.....	301
Figura 41 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P5 durante a atividade 4.....	301
Figura 42 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P2 durante a atividade 5.....	302
Figura 43 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P3 durante a atividade 5.....	302
Figura 44 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P5 durante a atividade 5.....	303

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Guia para orientação de trabalho após contato inicial com a situação problema (Confeccionada antes do experimento) .....	30
Quadro 2 - Guia para orientação de trabalho da atividade prática (Confeccionada durante e após o experimento) .....	30
Quadro 3 - Noções de estudantes em relação a características da Energia. ....	43
Quadro 4 - Noções de estudantes em relação a características do Calor. ....	43
Quadro 5 - Noções alternativas de alunos em relação a conceitos químicos e a relação com dificuldades de aprendizagem. ....	45
Quadro 6 - Aspectos da NdC segundo a visão consensual (LEDERMAN, 2007).....	61
Quadro 7 - Dados a respeito da determinação do equivalente mecânico do calor. ....	129
Quadro 8 - Etapas do ciclo ideal apresentado por Carnot. ....	160
Quadro 9 - Etapas das IIR de Fourez e descrição das atividades desenvolvidas na investigação. ....	174
Quadro 10 - Síntese das atividades desenvolvidas. ....	186
Quadro 11 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 1.....	189
Quadro 12 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 2.....	189
Quadro 13 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 3a.....	190
Quadro 14 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 3b.....	191
Quadro 15 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 4.....	192
Quadro 16 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 5.....	193
Quadro 17 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 6.....	193
Quadro 18 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 7.....	194
Quadro 19 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 8.....	195
Quadro 20 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 9.....	196
Quadro 21 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 10.....	197
Quadro 22 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 11.....	197
Quadro 23 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 12.....	198
Quadro 24 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 1.....	200

Quadro 25 -Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 2.....	202
Quadro 26 -Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 3a.....	203
Quadro 27 -Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 3b.....	205
Quadro 28 -Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 4.....	206
Quadro 29 -Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 5.....	208
Quadro 30 -Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 6.....	209
Quadro 31 -Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 7.....	211
Quadro 32 -Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 8.....	212
Quadro 33 -Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 9.....	213
Quadro 34 -Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 10.....	215
Quadro 35 -Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 11.....	217
Quadro 36 -Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 12.....	218
Quadro 37 -Comparação das respostas unitarizadas para os três diferentes momentos de investigação junto ao participante P3.....	258
Quadro 38 -Comparação das respostas unitarizadas para os três diferentes momentos de investigação junto ao participante P4.....	261
Quadro 39 -Comparação das respostas unitarizadas para os três diferentes momentos de investigação junto ao participante P9.....	264

## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA</b> .....	14
<b>1 APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E A TERMODINÂMICA QUÍMICA</b> .....	14
1.1 A Aprendizagem Significativa e seu papel na construção do conhecimento .....	14
1.1.1 O Vê Epistemológico e seu papel na construção e organização do conhecimento .....	23
1.2 O papel da humanização na Aprendizagem Significativa em Ciências em um contexto caracterizado pela complexidade .....	32
<b>1.3 Os conceitos de Energia: um obstáculo de aprendizagem de Termodinâmica</b> .....	40
<b>2 EPISTEMOLOGIA DO ENSINO DE TERMODINÂMICA QUÍMICA</b> .....	49
<b>2.1 A História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química</b> .....	49
<b>2.2 Aspectos da Natureza da Ciência e o Ensino de Química</b> .....	54
2.2.1 Aspectos da Natureza da Ciência conforme a visão consensual. ....	56
2.2.2 A Natureza da Ciência e o Ensino de Ciências .....	60
<b>2.3 A Interdisciplinaridade no conceito de Termodinâmica: integração entre Física, Química e Engenharia</b> .....	65
2.3.3 A Interdisciplinaridade na Termodinâmica e as relações entre conteúdos científicos de Física, Química e Engenharia .....	73
<b>3 COMPOSIÇÃO COM BASE EM ELEMENTOS HISTÓRICOS, EPISTEMOLÓGICOS E SOCIAIS ENVOLVIDOS NA TERMODINÂMICA QUÍMICA</b> .....	82
<b>3.1 Construção de uma narrativa para o conceito de Energia</b> .....	83
<b>3.2 A Energia térmica (Calor) associada às ideias de fogo, flogístico e calórico</b> .....	98
3.2.1 O Calor na Antiguidade e a associação ao elemento Fogo .....	98
3.2.2 O Calor como substância e os estudos do flogístico .....	103

3.2.3	As contribuições de Lavoisier e as ideias substancialistas: os estudos do calórico .....	108
3.2.4	Thompson, Joule e Mayer: a visão físico-química do Calor e o direcionamento para a Primeira Lei da Termodinâmica .....	112
<b>3.3</b>	<b>O Princípio da Conservação de Energia e a Primeira Lei da Termodinâmica</b> .....	<b>116</b>
3.3.1	Mayer e a Conservação de Energia inferida no sangue .....	126
3.3.2	Os experimentos de Joule .....	130
3.3.3	Formulações para a Primeira Lei da Termodinâmica .....	136
3.3.4	Entalpia: Grandeza fundamental na análise e na compreensão da Termoquímica.....	139
<b>3.4</b>	<b>O Princípio da Degradação de Energia e a Segunda Lei da Termodinâmica</b> .....	<b>146</b>
3.4.1	A Entropia.....	149
3.4.2	Carnot e a importância de seu trabalho para a construção de conceitos e da Segunda Lei da Termodinâmica.....	153
<b>4</b>	<b>AS ILHAS INTERDISCIPLINARES DE RACIONALIDADE COMO UNIDADE DIDÁTICA</b> .....	<b>164</b>
4.1	Fundamentos para a construção de uma Ilha Interdisciplinar de Racionalidade para abordagem da Termodinâmica Química .....	164
4.2	Abordagem proposta a partir das Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade para a Aprendizagem Significativa de Termodinâmica Química .....	174
<b>5</b>	<b>PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA O ESTUDO EMPÍRICO</b> .....	<b>181</b>
5.1	Participantes da Pesquisa .....	181
5.2	Análise de Conteúdo dos Questionários e da Entrevista Estruturada.....	182
5.2.1	Pré-análise: Instrumentos de obtenção de dados.....	184
<b>5.3</b>	<b>Exploração do material: Construção das Unidades de Contexto (UC) e de Registro (UR)</b> .....	<b>187</b>
5.3.1	Unidades de Contexto e de Registro: questionário prévio e posterior .....	188

<b>6</b>	<b>RESULTADOS, INFERÊNCIAS E DISCUSSÃO DOS DADOS</b> .....	200
<b>6.1</b>	<b>Apresentação dos resultados</b> .....	200
<b>6.2</b>	<b>Metatexto: Inferências e Interpretação dos Resultados</b> .....	219
6.2.1	“O que é Ciência” .....	220
6.2.2	O caráter provisório da Ciência .....	224
6.2.3	Criatividade e imaginação no fazer Ciência.....	227
6.2.4	Valores no desenvolvimento da Ciência .....	228
6.2.5	Noções a respeito de Energia e de Calor .....	231
6.2.6	Noções relacionadas à Primeira Lei da Termodinâmica e à Entalpia .....	235
6.2.7	Construção do conceito de Entropia e da Segunda Lei da Termodinâmica .....	237
6.2.8	Indícios de Aprendizagem a partir dos Vês de Gowin .....	240
6.2.9	Análise da retenção dos conceitos após a abordagem .....	258
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	269
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	273
	<b>APÊNDICES</b> .....	293
	<b>APÊNDICE A – Questões para os Questionários Prévio e Posterior (Questionário NdC e Termodinâmica)</b> .....	293
	<b>APÊNDICE B – Termo de Consentimento</b> .....	295
	<b>APÊNDICE C – Diagramas Vê construídos pelos participantes</b> .....	296
	<b>APÊNDICE D– Unidades de Contexto e de Registro</b> .....	304

## INTRODUÇÃO

A gênese dessa pesquisa pode ser localizada temporalmente há mais de uma década, em um processo que coincide com a trajetória acadêmica como estudante e profissional. Seu princípio ocorreu durante a disciplina de Termodinâmica I do curso de Engenharia Química da Universidade Estadual de Campinas, cursada durante o primeiro semestre de 2005, em que a Termodinâmica se apresentava como um emaranhado de diferentes funções termodinâmicas que se tornaram um obstáculo de aprendizagem naquele momento, fazendo com que houvesse dificuldade em interpretar significativamente este ramo da Físico-Química, fundamental para a formação e atuação do Engenheiro Químico.

Neste percurso, no papel de docente, tais dificuldades foram vivenciadas no processo de ensino, dentro da disciplina de Química para os diversos cursos de Engenharia. A forma como a literatura aborda a diferenciação entre as várias entidades termodinâmicas e sua relação com os fenômenos físicos e químicos tem sido ineficaz para propiciar aos educandos instrumentais necessários para a sua compreensão. Além disso, o modo como a Termodinâmica é ensinada no Ensino Superior é carregada de conteúdos “transmitidos” sem a reflexão a respeito da sua natureza. Adicionalmente, o ensino de Termodinâmica encontra-se predominantemente matematizado, atento à apresentação de fórmulas e leis matemáticas, além de exercícios descontextualizados e de resolução mecânica. A Termodinâmica, sendo uma atividade mental *a priori*, aumenta a complexidade de seu ensino e aprendizagem, principalmente porque seu estudo envolve inúmeras variáveis, com conceitos definidos e complexos.

A fim de desenvolver uma pesquisa que pudesse caracterizar uma proposta de aprimoramento da aprendizagem de Termodinâmica, foi iniciado o estudo em conjunto com o grupo de “Investigações em Filosofia e História da Ciência, e Educação em Ciências e Matemática” (IFHIECEM), da Universidade Estadual de Londrina (UEL), coordenado pela professora e pesquisadora Dra. Irinéa de Lourdes Batista. Alguns dos objetivos do grupo de pesquisa e que estão relacionados diretamente a esta tese são: investigar as noções teórico-metodológicas e ontológicas concernentes à natureza, estrutura e construção do conhecimento científico; alcançar resultados aplicáveis na realidade escolar e universitária por meio

da contribuição da História e Filosofia da Ciência (HFC) para a Educação em Ciências e Matemática; desenvolver pesquisas no âmbito do Programa de Ensino de Ciências e Educação Matemática; inserir pesquisas de formação docente e discente no contexto das discussões da Natureza da Ciência<sup>1</sup>.

Ensinar e aprender Química, de forma que o processo tenha caráter significativo e expressivo aos alunos do Ensino Superior, não é tarefa simples. Com o rápido desenvolvimento de novas tecnologias e meios de comunicação, as informações são transmitidas de maneira rápida e abundante, de tal forma que se dispersam e repercutem no modo como a sociedade se organiza. Os estudantes do Ensino Básico e Ensino Superior correspondem a uma parcela do mercado consumidor desses produtos tecnológicos, como celulares e computadores, que os propiciam conectividade intermitente. Entretanto, mesmo com essa informatização, estudos internacionais indicam que jovens em idade escolar possuem baixos níveis de conhecimento científico.

Lederman (2007) também considera que, em uma sociedade científica e tecnologicamente avançada, o exercício da cidadania e da democracia será possível por meio da compreensão do empreendimento científico e de suas interações com a Tecnologia e a Sociedade, possibilitando que qualquer cidadão participe de discussões, debates e processos decisórios.

Os obstáculos de aprendizagem apresentados pela Termodinâmica e vivenciados pelo pesquisador tanto em sua experiência discente quanto em sua prática docente fizeram com que emergissem as seguintes questões:

- Como trabalhar epistemologicamente as bases científicas da Termodinâmica?
- Como relacionar a Termodinâmica e a Química de maneira contextualizada, interdisciplinar e significativa?
- Como é possível construir uma abordagem que seja potencial para evidenciar indícios de aprendizagem nos educandos?

Refletir a respeito de como aprimorar a compreensão dos educandos em relação aos conceitos e às funções termodinâmicas fez com que surgisse a ideia de propor uma maneira diferenciada de abordagem do assunto. Essa abordagem consiste em uma proposta que possibilite a compreensão do caráter interdisciplinar

---

<sup>1</sup> Demais informações do grupo a respeito dos objetivos, linhas de pesquisas, publicações, integrantes, atividades, projetos estão disponíveis no sítio eletrônico: <<http://www.uel.br/grupo-pesquisa/ifhiecem/index.html>>.

da Termodinâmica pelos futuros engenheiros. Existem dificuldades relacionadas com o conceito de conservação e degradação de energia, e no contexto do ensino se tem reduzido os problemas termodinâmicos a simples resoluções de exercício de maneira mecânica; essas dificuldades frequentemente se originam nas noções dos estudantes, e a maneira algorítmica e procedimental que se utiliza para seu ensino também representa um obstáculo para a conceituação e a compreensão dos processos energéticos (GALLEGO, 2011).

A partir da problemática (propor uma maneira diferenciada de abordagem de Termodinâmica Química) pensada para a investigação, esta pesquisa teve como objetivo geral:

- Investigar, por meio de uma abordagem de ensino com base na História e na Epistemologia da Ciência e nas Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade (IIR), as noções de Natureza da Ciência e a construção de conceitos e de Leis da Termodinâmica Química de futuros engenheiros mecânicos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Cornélio Procópio.

Além disso, os objetivos específicos que nortearam a pesquisa no caminho de seu objetivo geral foram:

- Elaborar e aplicar uma Ilha Interdisciplinar de Racionalidade com atividades embasadas na História e Epistemologia da Ciência;
- Investigar indícios de aprendizagem por meio de instrumentos da Aprendizagem Significativa

Esta pesquisa visa direcionar os objetivos educacionais relacionados ao ensino de Termodinâmica para uma perspectiva em que o processo de ensino e aprendizagem contemple os conhecimentos científicos, técnicos e sociológicos, e que esses se constituam em um processo de interação, contribuindo para uma formação emancipatória, inclusiva e humanista dentro da disciplina de Química para Engenharias da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Cornélio Procópio.

A Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Cornélio Procópio tem buscado atender às necessidades das pessoas que procuram por educação de qualidade, oferecendo cursos técnicos específicos de nível médio integrado, cursos superiores de Tecnologia em Análise e Desenvolvimento de Sistemas, cursos de Engenharia Elétrica, Engenharia Mecânica, Engenharia Eletrônica, Engenharia de Computação, Bacharelado em Engenharia de Software e o curso de Licenciatura em

Matemática. O Câmpus recebe alunos majoritariamente dos estados de São Paulo e Paraná (dada a proximidade da fronteira entre os estados), e também alunos provenientes de regiões mais distantes, como Norte e Nordeste. A atração de estudantes de localidades mais distantes se deu pela implementação do Sistema Unificado de Seleção – SISU, que utiliza o Exame Nacional do Ensino Médio – ENEM, como instrumento de seleção. Nesse contexto, dada a heterogeneidade dos educandos, as questões de natureza socioculturais, afetivas e cognitivas tornam a aprendizagem um desafio ao trabalho docente.

A disciplina de Química faz parte de currículos de cursos de Engenharia (Mecânica, Elétrica, Computação, Eletrônica e Controle e Automação) do Câmpus. A ementa da disciplina engloba os seguintes assuntos: Cinética Química, Equilíbrio Químico, Termodinâmica Química, Eletroquímica e Corrosão, Ligações Químicas, O estado sólido e Atividades de Laboratório. Os objetivos são de fornecer aos alunos os fundamentos necessários de Química relacionados à estrutura, propriedades e transformações dos materiais e capacitá-los a aplicar os conhecimentos adquiridos na prática profissional da Engenharia. A Termodinâmica Química é um conhecimento necessário recorrente em inúmeras atividades do engenheiro. Pensando em um conhecimento relevante e com significado para o educando, essa necessidade resultou em um levantamento de informações a respeito do conhecimento proposto, presentes em periódicos, dissertações, teses da área de Ensino de Química, Engenharia e Termodinâmica e demais áreas correlatas.

Diante do exposto, estruturou-se a tese em sete capítulos para abordar de maneira lógica e sistemática a problemática anteriormente apresentada. Nesta introdução são apresentados o pesquisador, a problemática de pesquisa, e a relação entre ambos. Nos quatro primeiros capítulos foi estruturada a Fundamentação Teórico-Metodológica para o desenvolvimento de uma unidade de ensino baseada nas Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade desdobrando-se em quatro eixos principais, que correspondem à Aprendizagem Significativa, à Epistemologia do Ensino de Termodinâmica Química, os Elementos Históricos e Epistemológicos envolvidos na Termodinâmica Química (Composição histórico-epistemológica) e as Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade.

No quinto capítulo são apresentados os procedimentos metodológicos que foram seguidos durante a atividade empírica de aplicação da Ilha Interdisciplinar de Racionalidade. As observações e inferências provenientes desta aplicação são

apresentadas no sexto capítulo, por meio da operacionalização dos dados e seus resultados, análises e discussões.

Finalmente, são apresentadas as considerações finais e as proposições para novas investigações envolvendo Termodinâmica e Ensino de Ciências.

Nas referências encontra-se todo acervo bibliográfico utilizado nesta tese. São apresentados, nos Apêndices, os Questionários usados como instrumento de obtenção de dados, o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido e os Diagramas Vêes analisados.

## **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA**

Nestes quatro primeiros capítulos é desenvolvida a revisão de literatura convergindo na construção de uma abordagem didática que seja potencialmente significativa e que também seja articulada interdisciplinarmente, haja vista a característica interdisciplinar da Termodinâmica Química. Para isso, estruturou-se esta fundamentação em quatro eixos principais, iniciando-se a partir da teoria de aprendizagem geral que fundamentou o trabalho (Aprendizagem Significativa), seguindo posteriormente para a fundamentação da importância da História e Filosofia da Ciência e da Interdisciplinaridade, posteriormente para a composição histórica e epistemológica de Leis da Termodinâmica (conservação, direcionalidade, degradação), finalizando com a confluência dos três primeiros eixos na proposta de Ilha de Interdisciplinaridade Racional como unidade de ensino.

### **1 – APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA E A TERMODINÂMICA QUÍMICA**

#### **1.1 - A Aprendizagem Significativa e seu papel na construção do conhecimento**

O objetivo de ensinar, seja em escolas nos ensinos fundamental e médio, ou em faculdades e universidades no ensino superior, é que haja aprendizagem para a sua formação holística, ou seja, nos domínios cognitivos, afetivo e social. Dessa forma, possibilita-se ao aluno perceber a relevância dos conteúdos pedagógicos e científicos e propicia a aprendizagem de significados. Há inúmeros momentos em que o aluno percebe a aprendizagem como uma memorização de fórmulas e

conceitos, com a finalidade de reprodução em avaliações, sendo estes esquecidos em um breve período de tempo. Este procedimento consiste na narrativa do professor e na aprendizagem mecânica do aluno, modelo aceito e difundido em escolas e universidades, mesmo sabendo-se de suas deficiências e limitações. Conforme Moreira (2006) a aprendizagem mecânica é a que mais ocorre nas escolas, quando a nova informação é aplicada de maneira arbitrária na estrutura cognitiva do estudante, ou, conforme Moreira e Masini (2001), com pouca ou nenhuma interação com conceitos já presentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

Assim, é necessário que a aprendizagem se efetive de forma simbólica e não-litera, ou seja, não ao pé-da-letra, não-arbitrária, que significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. A essa aprendizagem denomina-se significativa, em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Conhecimento é concebido como um fenômeno substantivo (ideacional) e não apenas como capacidade de resolver problemas (NOVAK, 1981, p. 87).

As teorias de aprendizagem e as pesquisas em Ensino têm como objetivo apresentar propostas ao ensino pautado na aprendizagem conteudista e mecânica. Ausubel, em 1963, procedeu a primeira tentativa de apresentar uma teoria cognitiva de Aprendizagem Significativa (AS) em oposição à aprendizagem somente verbal por memorização.

Segundo Ausubel, a estrutura cognitiva é constituída pelos conteúdos das ideias e sua organização (AUSUBEL, NOVAK, HANESIAN, 1980). O autor baseava-se na ideia de que a aquisição e a retenção<sup>2</sup> de conhecimentos são produtos de um processo ativo, integrador e interativo entre o material de instrução e as ideias da estrutura cognitiva do aprendiz, às quais as novas ideias estão relacionadas de formas particulares.

---

<sup>2</sup> Segundo Ausubel (2003), os processos de assimilação na fase da aprendizagem significativa incluem: (1) ancoragem seletiva do material de aprendizagem às ideias relevantes existentes na estrutura cognitiva; (2) interação entre as ideias acabadas de introduzir e as ideias relevantes existentes (ancoradas), sendo que o significado das primeiras surge como o produto desta interação; e (3) a ligação dos novos significados emergentes com as ideias ancoradas correspondentes no intervalo de memória (retenção). Por isso, a aprendizagem significativa não é aquela de que o aprendiz nunca esquece, mas é a que proporciona um maior tempo de retenção do que foi aprendido (AUSUBEL, 2003, p. 8).

Dessa forma, é necessário considerar, quando se ensina, o que o estudante já sabe, os chamados conhecimentos prévios. Caracterizando-se como um processo de construção pessoal de significados, a AS, tem um caráter idiossincrático que determinará a maneira como o indivíduo se relacionará com o meio ou, segundo Novak (2012), o seu modo de sentir, de pensar e de agir.

Entre as vantagens da AS sobre a aprendizagem mecânica estão: permitir maior diferenciação e enriquecimento dos conceitos integradores favorecendo assimilações subseqüentes; retenção por mais tempo, redução do risco de impedimento de novas aprendizagens afins; facilitação de novas aprendizagens; favorecimento do pensamento criativo pelo maior nível de transferibilidade do conteúdo aprendido; favorecimento do pensamento crítico e da aprendizagem como construção do conhecimento (PONTES NETO, 2001).

De acordo com Ausubel e colaboradores (1980), Novak e Gowin (1984) e Moreira (2006), o processo da AS basicamente baseia-se, entre outras, nas seguintes premissas: a) existência do conhecimento prévio; b) o aprendiz deve apresentar predisposição para aprender (o professor não exerce controle direto em relação à motivação dos alunos para aprenderem); c) aprende-se de maneira significativa quando os conteúdos respondem a problemas de interesse próprio. Além disso, a avaliação é outra atividade que interfere no processo de AS, uma vez que avaliações objetivas e descontextualizadas privilegiam a aprendizagem mecânica em detrimento à AS.

No cenário da investigação educacional, o debate em relação à avaliação da aprendizagem no Ensino Superior precisa ser ampliado e atrair um número maior de interlocutores. Dias Sobrinho (2004) afirma que esse é um tema complexo, tanto para quem se dedica à teoria, quanto para aqueles envolvidos na prática, porque implica questões de ordem epistemológicas, éticas, políticas e culturais.

A maioria dos/as professores/as desse nível de ensino não têm ou não tiveram a formação pedagógica necessária para a sua atuação. Os/as professores/as oriundos das Licenciaturas possuem disciplinas voltadas para a reflexão e a construção de avaliações condizentes com a adequada prática pedagógica. Dessa forma, as dificuldades de avaliar são mais evidentes para docentes do Ensino Superior. O perfil de alunos desse nível é de pessoas supostamente mais maduras que se preparam para a sua formação profissional. Dessa forma, os/as professores/as se preocupam com o domínio do conteúdo, e

nem sempre valorizam os aspectos pedagógicos de seu ofício. Adequar as questões de aprendizagem à avaliação é tema de urgente reflexão nas investigações em Educação e Ensino.

Com o intuito de propiciar uma aprendizagem significativa, Ausubel propõe que se aja de forma planejada em relação à estrutura cognitiva. Conforme o autor é possível se utilizar de cinco estratégias pedagógicas: o uso de organizadores prévios, a diferenciação progressiva, a reconciliação integrativa, a organização sequencial e a consolidação.

Em relação aos organizadores prévios, estes representam uma estratégia de desenvolvimento baseada em materiais introdutórios trabalhados antes do material de aprendizagem, com maior nível de abstração, generalidade e inclusão. Isso resulta no estabelecimento da relação entre aquilo que o aprendiz já conhece com a nova informação. O papel dos organizadores prévios é o de desenvolver conceitos subsunçores para as informações novas, a partir das noções prévias. Sempre que uma nova informação se ancora em um subsunçor decorrem o crescimento e a modificação no mesmo, podendo os subsunçores serem abrangentes, bem desenvolvidos ou limitados.

Segundo Ausubel (2003), a fundamentação lógica para a utilização dos organizadores prévios baseia-se em:

1. A importância de se possuírem ideias relevantes, ou apropriadas, estabelecidas, *já* disponíveis na estrutura cognitiva, para fazer com que as novas ideias *logicamente* significativas se tornem *potencialmente* significativas e as novas ideias *potencialmente* significativas se tornarem *realmente* significativas (i.e., possuírem novos significados), bem como fornecer-lhes uma ancoragem estável.
2. As vantagens de se utilizarem as ideias mais gerais e inclusivas de uma disciplina na estrutura cognitiva como ideias ancoradas ou subsunçores, alteradas de forma adequada para uma maior particularidade de relevância para o material de instrução. Devido à maior aptidão e especificidade da relevância das mesmas, também usufruem de uma maior estabilidade, poder de explicação e capacidade integradora inerentes.
3. O fato de os próprios organizadores tentarem identificar um conteúdo relevante já existente na estrutura cognitiva (e estarem explicitamente relacionados com esta) e indicar, de modo explícito, a relevância quer do conteúdo existente, quer deles próprios para o novo material de aprendizagem (AUSUBEL, 2003, p. 12).

Na AS, o aprendiz vai diferenciando de maneira progressiva e reconciliando integrativamente os novos conhecimentos quando aprende. Em relação à diferenciação progressiva, pode-se dizer que esta consiste da hierarquização dos conceitos mais gerais e inclusivos em direção aos intermediários até atingir os mais específicos, pois segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980), o ser humano

compreende de maneira mais fácil os aspectos diferenciados a partir de um todo previamente aprendido do que formular o todo a partir dos aspectos diferenciados.

Conforme Ausubel (2003, p. 60 e 166), em relação à diferenciação progressiva “(...) a maioria da aprendizagem e toda a retenção e a organização das matérias é hierárquica por natureza, procedendo de cima para baixo em termos de abstração, generalidade e inclusão”, de “(...) regiões de maior inclusão para as de menor, cada uma delas ligada ao degrau mais acima na hierarquia, através de um processo de subsunção (...) de conceitos e de proposições menos inclusivos, bem como características de dados informativos específicos”,

O princípio de reconciliação integradora na aprendizagem pode ocorrer indicando-se, de forma clara e explícita, a maneira em que as ideias relacionadas e anteriormente apreendidas na estrutura cognitiva se assemelham ou diferem das novas ideias e informações incorporadas, num movimento “de baixo para cima”. (ALEGRO, 2008).

A AS envolve a interação do aprendiz com o material de instrução. No entanto, segundo Ausubel (2003), aprender de maneira significativa não é consequência direta da utilização de um material significativo. Em primeiro lugar, o material de aprendizagem apenas é potencialmente significativo. Além disso, é necessário que exista um mecanismo de AS. O material de aprendizagem pode consistir em componentes já significativos, mas os componentes individuais da tarefa significativa, bem como o todo desta atividade, podem não ser “logicamente” significativo<sup>3</sup>.

Até mesmo o material logicamente significativo pode ser apreendido por memorização, caso o mecanismo de aprendizagem do aprendiz não seja significativo.

Segundo Ausubel (2003), é possível distinguir-se três tipos de aprendizagem por recepção significativa: a aprendizagem representacional, a aprendizagem conceitual e a aprendizagem proposicional.

A aprendizagem representacional é semelhante à aprendizagem por memorização. Ocorre sempre que o significado dos símbolos arbitrários se equipara aos referentes (objetos, acontecimentos, conceitos) e o aprendiz atribui a eles um

---

<sup>3</sup> Um material pode ser chamado de logicamente significativo quando é estruturado conforme as cinco estratégias pedagógicas propostas por Ausubel: o uso de organizadores prévios permita a diferenciação progressiva, a reconciliação integrativa, apresente a organização sequencial e a consolidação.

significado. Por exemplo, ocorre quando palavras isoladas passam a representar objetos, e as palavras passam a significar a mesma coisa que o próprio objeto. Dessa forma, pode-se considerar que a aprendizagem representacional é significativa, pois as proposições de equivalência representacional podem se relacionar de forma não arbitrária, a uma generalização existente na estrutura cognitiva de quase todas as pessoas, desde o primeiro ano de vida – isto é, de que tudo tem um nome e que este significa aquilo que o próprio referente significa para determinado aprendiz.

No entanto, segundo Ausubel (2003), enquanto as tarefas de aprendizagem por memorização podem se relacionar com a estrutura cognitiva de forma arbitrária e literal que não resulta na aquisição de novos significados,

[...] a aprendizagem representacional continua a satisfazer os critérios mínimos de capacidade de relação não-arbitrária e não-litera da tarefa de aprendizagem para com a estrutura cognitiva, necessária para a Aprendizagem Significativa. Isto acontece porque (1) qualquer proposição particular ou equivalência representativa se relaciona, de forma não arbitrária, com uma proposição mais geral da mesma natureza que se estabelece, geralmente, na estrutura cognitiva numa fase bastante precoce da infância e (2) até mesmo crianças bastante jovens, que crescem numa ambiente bilingue, parecem considerar implicitamente que os símbolos da segunda língua manifestam a mesma relação representativa que os da primeira língua em relação quer aos referentes em questão, quer ao que estes significam (AUSUBEL, 2003, p. 91).

A aprendizagem representacional inicia o processo de AS, seguida pelas aprendizagens conceitual e proposicional, uma vez que é necessário conhecer o significado para entender uma determinada sentença verbal.

Em relação à aprendizagem conceitual, é necessário, inicialmente, definir o que são os *conceitos*. Ausubel (2003, p. 2) os define como “objetos, acontecimentos, situações, ou propriedades que possuem atributos específicos comuns e são designados pelo mesmo signo ou símbolo”. Existem dois métodos gerais de aprendizagem conceitual: a primeira envolve a *formação conceitual*, que ocorre principalmente em crianças jovens (adquire-se por meio de experiências diretas, fases sucessivas de formulação de hipóteses, testes e generalização), e a segunda consiste da *assimilação conceitual*<sup>4</sup>, que é a forma predominante em crianças em

---

<sup>4</sup> É necessário esclarecer que assimilação para Ausubel não tem o mesmo significado que a assimilação para Piaget. A assimilação ausubeliana refere-se à conceitualização, a uma crescente diferenciação e integração dos conceitos na estrutura cognitiva (MASINI; MOREIRA, 2008, p. 22). Já para Piaget, a assimilação refere-se à construção e uso de esquemas para resolver situações conhecidas e com a acomodação no caso de situações novas.

idade escolar e em adultos (os atributos específicos dos novos conceitos podem se definir com a utilização em novas combinações de conceitos já conhecidos).

Como os conceitos possuem denominações, como no caso de objetos ou fenômenos particulares, é possível manipular, compreender e transferir de maneira mais rápida os conceitos já conhecidos. As denominações dos conceitos são adquiridas por meio da aprendizagem representacional significativa depois de se adquirir os significados dos próprios conceitos.

A aprendizagem proposicional, embora mais complexa que a aprendizagem dos significados das palavras, assemelha-se à aprendizagem representacional, na medida em que surgem novos significados depois de uma tarefa de aprendizagem potencialmente significativa se relacionar e interagir com conhecimentos pré-existentes na estrutura cognitiva, chamados de conhecimentos prévios. Segundo Ausubel (2003, p. 85):

[...] na medida em que a própria proposição se cria a partir da combinação ou relação de múltiplas palavras individuais (conceitos), representando cada uma delas um referente unitário; e, as palavras individuais se combinam de tal forma (geralmente na forma de frase) que a nova ideia resultante é mais do que a soma dos significados das palavras individuais componentes (AUSUBEL, 2003, p. 85).

Dessa forma, os processos cognitivos relativos à aprendizagem proposicional dependem da relação de inclusão do conhecimento novo com os conhecimentos prévios, relação esta que pode ser caracterizada como subordinada (de subsunção), superordenada ou combinatória. Na aprendizagem subordinada, as novas informações potencialmente significativas ancoram-se, mais frequentemente, a ideias relevantes mais gerais e inclusivas na estrutura cognitiva do aprendiz. Esse processo de relacionamento de novas informações com segmentos subordinantes e previamente existentes da estrutura cognitiva é conhecido como aprendizagem de subsunção. Uma vez que a própria estrutura cognitiva tem tendência a ser organizada, em termos hierárquicos, em relação ao nível de abstração, generalidade e inclusão de ideias, o surgimento de novos significados proposicionais reflete, de um modo geral, uma relação subordinada da nova informação a ideias mais subordinantes existentes na estrutura cognitiva.

A relação superordenada da aprendizagem em relação à estrutura cognitiva ocorre quando um indivíduo apreende uma nova proposição inclusiva, à qual podem se subordinar várias ideias preexistentes menos inclusivas. Esta aprendizagem ocorre no desenvolvimento do raciocínio indutivo, quando se organiza o material

apresentado de forma indutiva e se dá a síntese de ideias componentes, e na aprendizagem de abstrações de ordem superior. Na aprendizagem superordenada, o que se aprende é a ideia mais inclusiva que permite o agrupamento de conceitos já conhecidos pelo aluno e o estabelecimento de novas relações entre eles (reconciliação integradora).

A relação da aprendizagem combinatória não provém nem de uma relação de superordenação nem de subordinação, mas de ideias relevantes particulares na estrutura cognitiva, dando origem a significados combinatórios. Inúmeras das novas generalizações inclusivas e explicativas que os estudantes apreendem em Ciências Humanas, da Natureza e Matemática, são combinatórias, por exemplo, relações entre massa e energia, temperatura e volume, pressão e volume. Nesse contexto, a aprendizagem de Termodinâmica compreende também relações do tipo combinatórias. Embora adquiridas com maiores dificuldades que as regidas por relações subordinadas ou superordenadas, as relações combinatórias apresentam a mesma estabilidade inerente que qualquer ideia inclusiva ou de subsunção na estrutura cognitiva (AUSUBEL, 2003). Segundo Ausubel (2003, p. 170) “[...] capacidade de discriminação das diferenças entre os novos materiais de aprendizagem e ideias aparentemente análogas, mas frequentemente conflituosas, na estrutura cognitiva do aprendiz”.

Em relação aos instrumentos facilitadores da AS, os mapas conceituais e diagramas “Vê” são capazes de abarcar o dinamismo do processo, e estão constantemente mudando no curso da AS. Se a aprendizagem é significativa, a estrutura cognitiva está constantemente se reorganizando por diferenciação progressiva e reconciliação integrativa e, em consequência, mapas traçados e diagramas construídos hoje serão diferentes amanhã.

A consolidação relaciona-se com o domínio de conhecimentos prévios antes da introdução de novos conhecimentos. Segundo Ausubel, Novak e Hanesian (1980) e Ausubel (2003), a insistência na consolidação antes de se introduzir novo material de aprendizagem, assegura uma prontidão contínua de matérias e um êxito na aprendizagem sequencialmente organizada. Este tipo de aprendizagem pressupõe que os passos precedentes sejam sempre claros, estáveis e bem organizados. Caso não o sejam, compromete-se a aprendizagem de todos os passos subsequentes. Assim, nunca se deve introduzir novo material na sequência até se dominarem bem todos os passos anteriores. Este princípio também se aplica aos tipos de

aprendizagem intratarefas, nos quais cada tarefa componente (bem como conjuntos integrais de matérias) tem tendência a ser composta por conteúdo e a manifestar uma organização interna própria. A consolidação é alcançada por meio da confirmação, correção e clarificação, no decurso do retorno (*feedback*), e por meio da prática diferencial e da revisão, no decurso da exposição repetida, com retorno, ao material de aprendizagem.

Com base nas variáveis importantes da teoria da AS, como o conhecimento prévio do aluno, a diferenciação progressiva, a reconciliação integrativa, a organização sequencial do conteúdo, a consolidação e o uso de organizadores prévios que mostrem a relacionabilidade e a discriminabilidade entre conhecimentos prévios e novos conhecimentos, é plausível considerar estratégias e instrumentos (didáticos) também facilitadores da aprendizagem.

Dessa forma, são muito úteis na diferenciação progressiva e na reconciliação integrativa de conceitos e na própria conceitualização. Os Diagramas “Vê” (NOVAK E GOWIN, 1984; GOWIN E ALVAREZ, 2005; MOREIRA, 2006) são instrumentos heurísticos que enfatizam a interação do pensar (domínio conceitual) com o fazer (domínio metodológico) na produção de conhecimentos a partir de questões-foco, podem ser utilizados na busca de evidências de AS, ao invés de querer determinar se ocorreu ou não, como diversos instrumentos de aprendizagem mecânica costumam fazer.

É importante permitir a recursividade no processo de aprendizagem, ou seja, permitir que o aprendiz faça, mais de uma vez se for o caso, as tarefas propostas. É importante que ele ou ela externalize os significados que está captando, que descreva, explique e justifique suas respostas.

A AS se caracteriza, então, como aprendizagem com atribuição de significado com compreensão (ainda que de modo pessoal), com a incorporação não-arbitrária e não-literal de novos conhecimentos à estrutura cognitiva por meio de um processo interativo e progressivo e, as condições para isso (entre outros elementos da teoria) são a existência de conhecimento prévio e a pré-disposição para aprender. Para o desenvolvimento dessa investigação, esses elementos foram incorporados com uma composição histórico-epistemológica e em princípios da interdisciplinaridade, articulados em uma IIR. Para a construção e o desenvolvimento da IIR, as atividades foram baseadas na obtenção dos conhecimentos prévios, na organização sequencial, com propostas de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa,

a fim de promover a recursividade e a assimilação dos conceitos referentes à Termodinâmica Química.

### 1.1.1 – O Vê Epistemológico e seu papel na construção e organização do conhecimento

Ao se adotar a AS como teoria de aprendizagem de uma atividade de ensino ou de um trabalho de pesquisa, é necessário se pensar em instrumentos que atuem como “facilitadores da AS”. Um dos instrumentos que permite observar a organização e o processo individual de construção do conhecimento do aprendiz é o chamado “Vê” de Gowin.

O “Vê” de Gowin, também conhecido como Diagrama “Vê”, “Vê” epistemológico ou “Vê” heurístico, foi desenvolvido, a princípio, para orientar os alunos de pós-graduação de Gowin na leitura e interpretação de artigos científicos, além de ajudar as/os estudantes e as/os docentes a tornar mais claros a natureza e os objetivos do trabalho experimental em Ciências. O “Vê” foi o resultado de vinte anos de pesquisa por parte de Gowin, por meio de um método para ajudar as/os estudantes a compreender a estrutura do conhecimento e as formas como os seres humanos produzem esse conhecimento. O “Vê” é derivado do método das “cinco perguntas”, um esquema desenvolvido por Gowin para “desempacotar” o conhecimento numa área determinada. Embora não desenvolvido diretamente a partir da teoria da AS, o Vê de Gowin (GOWIN, 1981; NOVAK; GOWIN, 1984), é atualmente considerado também como uma estratégia facilitadora da AS.

Cada estudante, quando entra em uma sala de aula para aprender um assunto, é um ser único, que viveu, até aquele momento, uma sequência de experiências únicas; isso faz com que sua estrutura cognitiva seja única, muito própria. Diante disso, sua aprendizagem será também um ato pessoal e idiossincrático (GOWIN, 1981, p. 48). Portanto, a relevância do “Vê” de Gowin no contexto da AS caracteriza-se pela representação do processo individual de conhecimento.

As cinco questões que embasaram as ideias de Gowin (1981, p.37), quanto à construção do Vê epistemológico foram as seguintes:

a) Qual a questão-foco? Essa questão diz respeito àquilo que a pesquisa pretende resolver.

b) Quais são os conceitos-chave? Quais os conceitos disciplinares que são necessários para se entender a pesquisa?

c) Qual(is) é(são) o(s) método(s) usado(s) para responder à(s) questão(ões)-foco? Esses são métodos utilizados para obtenção e interpretação?

d) Quais são as asserções de conhecimentos? Essas são as respostas dadas pelo pesquisador como respostas válidas às questões-foco?

e) Quais são as asserções de valor? Essas são afirmativas explícitas ou implícitas em relação à qualidade ou valor do questionamento e às respostas encontradas no questionamento?

O instrumento recebeu o nome de “Vê” de Gowin (ou Diagrama “Vê”) devido à sua estrutura em forma de **V**. O vértice da figura direciona para os eventos e objetos que estão na base do conhecimento. Como anteriormente mencionado, o “Vê” de Gowin, além de ser um instrumento pedagógico, tem importante aplicação na organização de uma pesquisa proposta: abrange o eixo teórico que baseia determinado trabalho investigativo bem como os aspectos metodológicos que o nortearão.

O processo de produção do conhecimento por meio de investigação é iniciado com uma questão-foco que é respondida por meio da permanente interação do domínio conceitual (região esquerda do “Vê”) com o domínio metodológico (região direita do “Vê”). No “Vê”, a necessidade de registros é inerente: sem registros satisfatórios, o instrumento fica prejudicado, e, por conseguinte, a investigação como um todo fica comprometida. A questão-foco da pesquisa é apresentada no centro do diagrama.

O “Vê” caracteriza-se pela inerente interação do pensar e do fazer, não esquecendo a relação que existe entre um e outro domínio. Na Figura 1, é apresentado o diagrama referente ao “Vê” de Gowin. O diagrama não deve ser respondido como se fosse um questionário, mas deve ser construído e analisado com idas e vindas por todos os elementos que o constituem, conferindo coerência e suas inter-relações esclarecedoras da estrutura do conhecimento.

A construção do conhecimento científico é coerente com as ideias de Gowin subjacentes ao seu “Vê”, isto é, os importantes problemas a serem investigados são determinantes da escolha de acontecimentos em estudo, simultaneamente construídos; as grandes crenças em relação ao mundo, as filosofias, as teorias e os conceitos tiveram um papel importante para deles extraírem registros e, por meio

desses, analisam-se os fatos observados de modo a formular juízos cognitivos (GOWIN, 1981, p. 34).

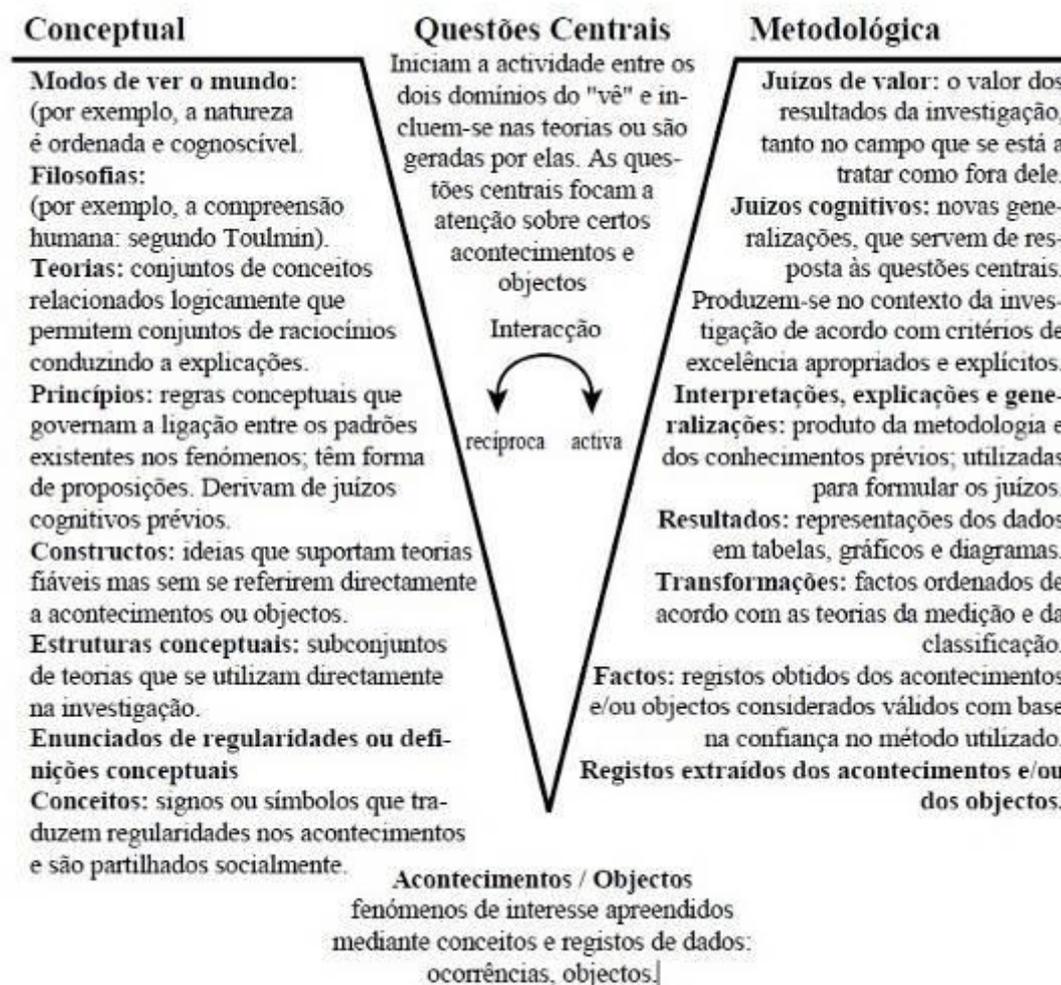


Figura 1 - Representação esquemática genérica do diagrama "Vê" de Gowin.

Fonte: Novak e Gowin, 1984.

A região esquerda do "Vê" (domínio conceitual) corresponde aos elementos conceituais da pesquisa e aos aspectos epistemológicos que se tem desenvolvido ao longo do tempo (conceitos, princípios, teorias).

A região direita do "Vê" (domínio metodológico) caracteriza-se pela construção metodológica da atividade investigativa. Nesse lado, são registradas as observações e as transformações que vão acontecendo durante determinado fenômeno; como maneira de observar o comportamento dos dados registrados, podem-se, por exemplo, construir gráficos, tabelas, quadros. A Metodologia constitui a explicação detalhada e exata de toda ação desenvolvida no percurso do trabalho de pesquisa. É a explicação da natureza da pesquisa, dos instrumentos utilizados (questionários, entrevistas etc.), do tempo previsto, da equipe de pesquisadores e da

divisão do trabalho, das formas de tabulação e tratamento dos dados. Esses dados são reconstruções da experiência. Os registros, convertidos mentalmente em fatos, são transformados de modo a propor juízos cognitivos em resposta aos problemas investigados, mantendo caminhos abertos para a proposição de novos problemas e novas investigações.

Os “juízos cognitivos” são respostas às questões postas inicialmente. Cada juízo cognitivo deve ser claramente explicado e fundamentado nas razões que sustentam as interpretações realizadas durante o processo investigativo. Durante esta fase, as questões de pesquisa, os eventos, os conceitos, os registros e as transformações precisam ser revisitados e as ideias e os fatos devem ser reconciliados com base nos instrumentos e resultados. Um aspecto importante que pode surgir dos juízos cognitivos é a formulação de novas questões-foco que induzem a novas direções de pesquisa a partir daquilo que foi construído e em direção ao que ainda pode ser conhecido e entendido (GOWIN; ALVAREZ, 2005, p.60).

Os “juízos de valor” são sentenças baseadas nos juízos de conhecimento que declaram o valor ou o mérito do estudo. Este importante aspecto de qualquer investigação é derivado tanto das intenções iniciais quanto da avaliação final dos resultados. Segundo Gowin, os juízos de valor são respostas às questões de valor, e o campo das questões de valor pode ser suficientemente sintetizado em cinco tipos (GOWIN, 1981; GOWIN; ALVAREZ, 2005, p.61):

1. Questão de valor instrumental: X é bom para Y? Por exemplo, “Os mapas conceituais são bons para representar o conhecimento?”;
2. Questão de valor intrínseco: X é bom em si mesmo? Por exemplo, “A Ciência é suficientemente boa em si mesma?”;
3. Questão de valor comparativo: X é melhor que Y? Por exemplo, “A Ciência é melhor que a Filosofia?”;
4. Questão de valor de decisão: X está correto? Devemos escolher X? Por exemplo, “Devemos escolher o Diagrama V?”. “A análise do V para todos os produtos de pesquisa é correta?”;
5. Questão de valor ideal: X é tão bom quanto pode ser, ou poderia ser idealmente melhor? Por exemplo, “O V de Gowin é tão bom quanto poderia ser? Podemos fazê-lo melhor?” (tradução do autor).

Conforme Moretto (2010) a avaliação no modelo dito “tradicional”<sup>5</sup>, quantificada e classificatória é isolada do processo de ensino e surge como um recorte da aprendizagem. Neste tipo, a avaliação é caracterizada como instrumento de controle das condutas, atua de forma excludente, de forma que os que não sabem são colocados para fora. O erro neste caso é associado a fracasso, e o instrumento prova é utilizado pelo professor como um evento mnemônico mecânico para “acerto de contas”. A avaliação se baseia de maneira intrínseca em um juízo de valor; os professores deveriam possuir uma noção de clara de valor para avaliar. Os métodos estandardizados dizem muito pouco acerca do que vale a pena saber ou em relação ao modo como o valor do conhecimento deve ser julgado (AUSUBEL, 2003).

Em contraposição à avaliação quantificada, Moreira (2006) admite que o “Vê” de Gowin pode ser usado como recurso útil no ensino, na aprendizagem e na avaliação. Uma estratégia construída com base no “Vê” de Gowin possui caráter investigativo que leva o educando, de maneira individual ou em grupo de trabalho colaborativo, à busca por respostas para problemas científicos traduzidos pelas questões foco. A estruturação do conhecimento do aluno resulta desta interação do pensamento do aluno (com inúmeras crenças, sentimentos) com os objetos, num processo dialógico, envolvendo componentes conceituais de um lado e metodológicos de outro (VALADARES, 2005, p. 5).

De acordo com os dados de um levantamento, realizado por Mendonça (2014), envolvendo o “Vê de Gowin”, dentre as aplicações propostas para o uso do diagrama destacaram-se as seguintes:

- 1) análise e planejamento de currículo e de materiais instrucionais;
- 2) instrumento auxiliar no ensino e na aprendizagem;
- 3) instrumento de avaliação da aprendizagem.

Em relação à primeira aplicação, Rocha e Paranhos (2011) abordaram a utilização do “Vê” de Gowin como recurso metodológico e educacional no planejamento e avaliação do processo de ensino e aprendizagem em Ciências e Biologia. Ao invés da utilização dos diagramas “Vê” isolados, propuseram que os

---

<sup>5</sup> Quando há a referência a um modelo tradicional neste presente trabalho, pretende-se adjetivar o ensino com base do processo didático linearizante, baseado na transmissão de informações e passividade dos/as estudantes. Quanto aos materiais didáticos, estes são resumidos apenas a livros-texto, com excesso de conteúdos e informações conceituais, e no qual a avaliação tem a função de controlar a aprendizagem, e o único instrumento utilizado são os exames escritos.

diagramas “Vê” fossem interligados no tempo, de modo a propiciar sequências ou redes de diagramas. Essa interligação poderia se dar principalmente pela relação das asserções de valores e os eventos dos diagramas.

Guidetti e Batista (2011) realizaram a investigação de uma proposta de formação inicial de professores no curso de licenciatura em Pedagogia para atuarem em disciplinas e com conteúdos de Ciências em séries iniciais do ensino fundamental. Foi investigada a construção de uma abordagem didático-metodológica a partir do uso da História da Ciência, associada a atividades experimentais e que apresentou como hipótese de estruturação metodológica (execução, registro e análise), o “Vê” Epistemológico de Gowin. Os resultados indicaram que esta abordagem, quando utilizada de maneira adequada, pode tornar-se um instrumento relevante na formação dos professores das séries iniciais.

Damáσιο, Allain e Pacheco (2011) desenvolveram uma proposta baseada nas teorias da AS de David Ausubel e da aprendizagem significativa de Carl Rogers. Nesse estudo os autores fizeram uso dos mapas conceituais, de questões de Gowin e de diagramas V. Para a construção dos “Vês”, foi utilizado um livro da coleção Imortais da Ciência, referente aos filósofos pré-socráticos. Esta abordagem buscou propiciar condições aos alunos do curso de Licenciatura em Ciências da Natureza do Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) de promover a autoavaliação durante sua formação como professores, de forma que pudessem implementá-la também em sua prática docente. Os resultados indicaram que a abordagem e os instrumentos foram bem sucedidos de acordo com a própria avaliação dos alunos.

Para utilizar o “Vê” de Gowin como instrumento na AS, é necessário, inicialmente, uma situação problema. A partir do problema, o aluno é incentivado a formular uma questão que traduza seu problema, caracterizando a questão-foco. Posteriormente, o educando deve ser incentivado a esquematizar um evento (que pode ser uma leitura de texto, uma atividade experimental, a análise de um determinado problema, a observação de um fenômeno, dentre outros) que possa realizar e deve, ainda, registrar suas concepções prévias, em especial, aquelas que ele considera apresentar as condições necessárias para a resolução significativa de problema (componente conceitual). Ao desenvolver a experimentação, o educando obtém os dados e realiza o tratamento destes na forma de gráficos, tabelas, esboços. Ao final, formulará as respostas à questão-foco, na forma de juízos cognitivos. Para mostrar que conhece os significados das conclusões a que chegou,

discute a resolução e as soluções, assumindo um ou mais juízos de valor (componente metodológico) (VALADARES, 2005).

Um aspecto importante de qualquer investigação é o valor que é decorrente da intenção inicial e da avaliação final. Nesse contexto, os juízos ou asserções de valor são declarações baseadas nos juízos de conhecimento que exprimem o valor da investigação. A sua pesquisa tem implicações práticas na área que você estuda? Seus resultados de pesquisa auxiliam no aprimoramento de um determinado assunto? Seus relatórios ou monografias de pesquisa permitem que as pessoas aprendam a respeito de seu trabalho? Sua pesquisa poderia ser realizada com um custo bastante menor? As asserções de valor são respostas a essas questões (GOWIN e GREEN, 1980; GOWIN, 1981).

Gowin e Alvarez (2005) admitem cinco questões (descritas na p. 20 desta Tese) que podem ser utilizadas na construção de asserções de valor. É importante que não se simplifiquem as asserções de valor. A maior parte dos eventos de interesse humano é rodeada de juízos de valor que são relevantes, assim como conflitos de valor são comuns. A clarificação de sentidos de valor é também algo a ser considerado. A utilização de Vês é mais interessante que a utilização do “método” científico, uma vez que os diagramas contemplam uma variedade de valores mais inclusiva – uma asserção de valor comparativa.

De fato, vários cientistas acreditam que fatos são diferentes de valores, e que juízos de valor não têm o seu lugar na Ciência. Dizer que juízos de valor não possuem seu lugar na Ciência já constitui um juízo de valor, portanto é impossível dizer que a Ciência seja isenta dessas declarações (GOWIN e ALVAREZ, 2005).

Felizmente, o famoso argumento fato/valor não configura mais um questionamento na construção do conhecimento. A fim de uma compreensão mais adequada de como se dá essa construção, é importante visualizar as asserções de valor como elemento crucial no desenvolvimento de qualquer área (GOWIN e ALVAREZ, 2005).

Segundo Guidetti (2008), para a aprendizagem do planejamento de investigações, um recurso de que o aluno dispõe é um plano-guia para o desenvolvimento de sua atividade (no caso específico do trabalho de Guidetti (2008) o plano-guia direcionou atividades experimentais), assim como, uma explicitação simples da forma como pode transformar essa planificação no formato de “Vê” de Gowin.

A fim de guiar a atividade, Guidetti (2008) sugere que o aluno construa uma tabela ou um quadro (conforme exemplificado no Quadro 1) que oriente seu trabalho até o início do evento a ser desenvolvido. A seguir, ocorre a execução da atividade proposta como evento e ocorre a construção da segunda tabela ou quadro (conforme Quadro 2). Os dados registrados servirão de direcionamento para o preenchimento do relatório final, na forma do Vê de Gowin.

Quadro 1 - Guia para orientação de trabalho após contato inicial com a situação problema (Confeccionada antes do experimento)

<b>Zona do Vê de Gowin</b>	<b>Plano guia para a investigação. Aspectos que devem estar presentes nas investigações</b>	
<b>Questão-foco</b>	O problema	Qual o problema ou a questão que será investigada?
<b>Conhecimentos prévios (teorias, princípios, conceitos)</b>	Conhecimentos anteriores (teorias, previsões)	Que conhecimentos você possui que podem ser úteis para resolver esse problema.
<b>Acontecimentos e Objetos da pesquisa</b>	Material e procedimento Básico	Que material será usado? Que procedimentos básicos serão seguidos?
<b>Acontecimentos e Objetos da pesquisa</b>	Procedimento detalhado e controle de variáveis	Que aspectos podem influenciar a investigação? Quais serão as variáveis?

Fonte: Guidetti (2008, p. 49)

Após a realização da atividade (experimento, trabalho de campo, leitura) que pode ser previamente organizada com um diagrama Vê de Gowin, o educando construirá uma segunda tabela (caso haja dados numéricos e codificações) ou quadro com as informações referentes à experimentação, de maneira concomitante.

Quadro 2 - Guia para orientação de trabalho da atividade prática (Confeccionada durante e após o experimento)

<b>Dados/registros/fatos</b>	<b>Observações e dados recolhidos</b>	<b>Dados sem terem sido trabalhados</b>
<b>Transformação dos dados</b>	Explicitação dos dados	Explicitação dos dados na forma de tabelas, gráficos, cálculos, desenhos
<b>Conclusões/ asserção de conhecimento e de valor</b>	Conclusão e discussão da investigação	Qual a resposta da questão-foco? De que maneira foi desenvolvida? O que pode ser deduzido?

Fonte: Guidetti (2008, p. 50)

Após a construção dos dois quadros ou tabelas, é necessário que ocorra a transposição das informações para o diagrama “Vê”, refletindo a interação dos componentes metodológicos com os teóricos da atividade, que permitirá a resposta para a questão-foco. Um exemplo de diagrama “Vê” é apresentado na Figura 3, como resultado de uma pesquisa em Ensino. Cabe ressaltar que a partir do momento em que o educando esteja familiarizado com a construção do diagrama, a etapa de construção de tabelas e quadros pode ser desconsiderada.

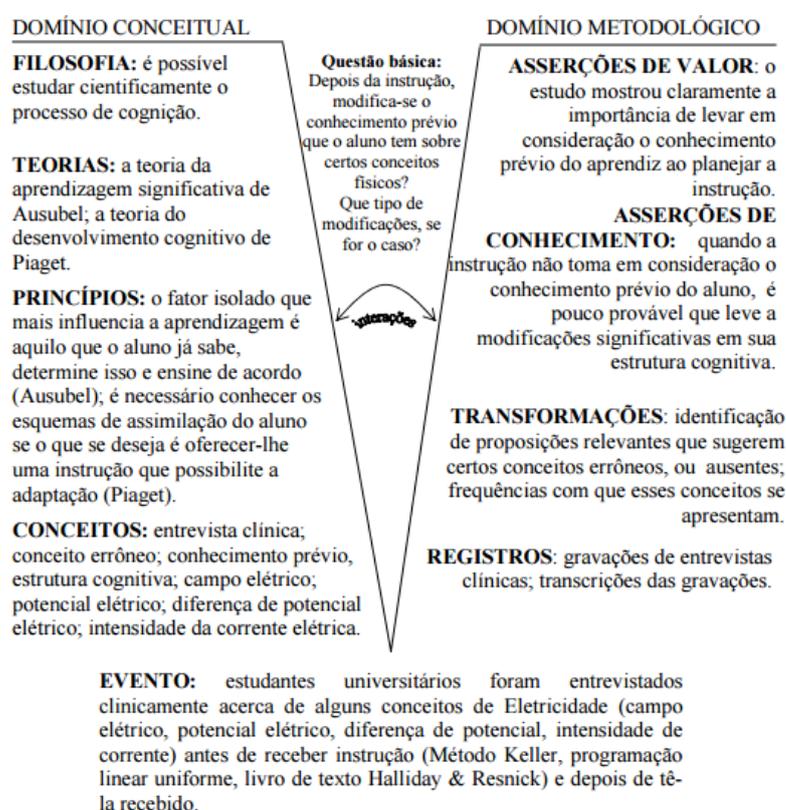


Figura 2 - “Vê” de uma pesquisa em Ensino

Fonte: Moreira e Domínguez, 1987.

O “Vê” de Gowin, dessa forma, é um instrumento que faz com que o indivíduo expresse seus conhecimentos prévios com os dados obtidos na atividade desenvolvida, fazendo com que os conhecimentos prévios atuem como subsunçores no processo de construção de um novo conhecimento.

O diagrama “Vê” apresentará importante função nesta pesquisa, pois será utilizado como instrumento metodológico de preparação, organização e avaliação

das atividades realizadas, permitindo a recursividade e atuando como importante articulador no desenvolvimento da AS.

## **1.2 - O papel da humanização na Aprendizagem Significativa em Ciências em um contexto caracterizado pela complexidade**

Quando se reflete a respeito das demandas de Educação, em uma sociedade cada vez mais conectada e plural, os efeitos não podem ser encarados somente como uma função de causas restritas. Para o pensamento linear, pequenas causas (condições iniciais mínimas) produzem efeitos pequenos (mínimos e previsíveis) e grandes causas (condições iniciais múltiplas) produzem múltiplos efeitos. Além disso, a visão de mundo linear tem como características a previsibilidade, a casualidade, a padronização, a universalidade e teorias gerais, a continuidade, a estabilidade, a objetividade e o sistema determinista.

A partir da década de 1960, as tentativas de explicar o mundo por teorias caracterizadas pela linearidade passaram a se tornar frustradas. Emergiram, então, teorizações a respeito do pensamento complexo para lidar com demandas sociais, tecnológicas e naturais de caráter complexo. Dentre as principais características desta nova maneira de refletir a respeito dos problemas, destacam-se (GLEICK, 1987; MORRISON, 2003):

- Modificações em pequena escala em condições iniciais podem produzir mudanças imprevisíveis na saída;
- Condições bastante similares podem produzir resultados diferentes;
- Regularidade e conformidade são substituídas por irregularidade e diversidade;
- O comportamento de sistemas modelados por equações diferenciais (muito) simples podem ser complexos;
- Efeitos não são funções contínuas diretas de causas;
- O universo é altamente imprevisível;
- Se algo funciona satisfatoriamente em um primeiro momento, não há garantias de que funcionará em outras ocasiões;
- Determinismo é substituído por indeterminismo, sistemas lineares, deterministas e estáveis são substituídos por sistemas mutáveis, evolutivos e “dinâmicos”, com explicações não-lineares para um fenômeno;

- Continuidade é substituída por descontinuidade, turbulência e transformações irreversíveis, em um raciocínio análogo à Segunda Lei da Termodinâmica;
- Teorias gerais, abrangentes e universais e explicações de larga escala representam descrições inadequadas de problemas localizados e específicos;
- Previsões em longo prazo são impossíveis;
- A ordem não é predeterminada e fixa; o comportamento social e o ensino e a aprendizagem são emergentes, caracterizados pela recursividade, *feedback*, evolução, autocatálise, abertura, conectividade e auto-organização;
- A vida social, a educação e a aprendizagem ocorrem por meio de interações dos participantes de seu ambiente (inter e intrapessoal, social, físico, intelectual, emocional), de maneira que é impossível controlá-las em um experimento;

A conectividade, um elemento chave da teorização da complexidade, existe em todos os lugares. Consiste em um requisito para um determinado sistema sobreviver; um elemento perturbador nas conexões pode fazer com que as espécies interligadas se adaptem ou parem de funcionar (ou viver); o processo é inexorável. Porém, a conectividade exige comunicação, além do “conhecimento distribuído”, em que o conhecimento não é localizado em um centro de comando e controle ou em um determinado grupo de agentes; pelo contrário, o conhecimento deve ser espalhado, compartilhado e circulado pela organização e seus membros. Nas escolas, as crianças são ligadas às famílias, aos professores, aos colegas, às sociedades e aos grupos; os professores são ligados aos outros professores, a outros educadores, a outros departamentos, como o psicológico e o de serviços sociais, às entidades reguladoras da política, às entidades financiadoras, entre outros.

Outro elemento importante na teorização da complexidade é a emergência, que está relacionada com a auto-organização. Os sistemas possuem a capacidade de auto-organização, o que não é explicado pela presença *a priori* de um grande projeto - um argumento cosmológico - nem por trajetória deliberadamente escolhida ou por um conjunto de propósitos - um argumento teleológico. Em vez disso, a auto-organização emerge de si mesma como resultado da interação do organismo com seu ambiente (CASTI, 1997) e emergem novas estruturas que não poderiam ter sido inicialmente previstas (MERRY, 1998).

A teorização da complexidade promove uma crítica robusta às abordagens positivistas para a pesquisa em Educação, por exemplo, no enfoque empírico pregado pela Metodologia de Pesquisa arcaica. Os objetivos desses experimentos positivistas são claros – estabelecer uma relação de causa e efeito por meio do controle e manipulação. O impacto da complexidade sugere que a previsibilidade é uma quimera. Em ambientes educacionais, Tymms (1996) admite que diferentes resultados podem ser esperados, em aulas com o mesmo professor, público e currículo; se algo funciona em uma determinada ocasião, não necessariamente funcionará em um outro momento.

Além disso, a teorização da complexidade admite que um fenômeno deva ser observado de maneira holística, e que atomizar o fenômeno restringindo-o a um número limitado de variáveis, com foco em certos fatores, implica em desprezar a interação dinâmica necessária de algumas partes. A unidade de análise em uma pesquisa educacional deve ser caracterizada por uma rede ou um ecossistema, focado em um determinado centro de interesse. Indivíduos, famílias, estudantes, aulas, escolas, comunidades e sociedade existem em simbiose, e a teorização afirma que as inter-relações são necessárias, não contingentes nem sintéticas, mas sim, analíticas.

Este é um desafio potencial para a pesquisa e implementação em sala de aula, e uma abordagem baseada na complexidade oferece influência na compreensão de mudança social, individual e comunitária, promovendo uma ligação entre a pesquisa micro e macro no entendimento e promoção de mudanças. Um fator e elo que permeia o pensamento baseado na teorização da complexidade (e que inúmeras vezes é negligenciado no contexto do ensino e aprendizagem) é a abordagem humanista.

A sociedade brasileira atual se encontra em um modelo de vida empresarial que vê a tecnologia e a informação como valores máximos, em um mundo acadêmico que fala do ser humano como vítima passiva de forças – impulsos inconscientes, pressões sociais, determinismo como destino – que escapam a seu controle, e é raro que profissionais adotem um ponto de vista centrado na pessoa. Ou seja, é raro que defendam o profundo direito do indivíduo de ser humano, e que dediquem seus esforços a restituir a pessoa a seu poder. A educação, importante área dentro da sociedade, reflete e é influenciada pelas estruturas vigentes. O ensino compartimentalizado, burocrático e informativo é característico de instituições

de Ensino Básico e Superior. Além disso, em diversas ocasiões, o caráter afetivo do processo de ensino e aprendizagem é negligenciado. A injusta cisão entre o intelecto e o afetivo-vivencial, tema recorrente em autores da psicologia e pedagogia humanista, como Carl Rogers, aparece constantemente em boa parte da literatura produzida até há décadas atrás: ou se trata de assunto “sério”, a ser manipulado com rigor metodológico por meio da participação exclusiva do acervo acadêmico individual, ou se trata do terreno do “superficial”, no qual a participação se baseia em pendores pessoais (ROGERS e ROSENBERG, 1977).

A dimensão socioeconômica, a dominação tecnológica, e irrelevância da vida humana e da participação pessoal nos acontecimentos são marcas registradas da sociedade industrial e da informação. Segundo a psicologia humanista, há algo em todo ser humano que pode ser preservado, desenvolvido, liberado para além dos elos que se empenham em reduzi-lo a um ser condicionado, conformista, rendido, humilhado e diversas vezes subserviente ou explorado. A liberação mais autêntica dos indivíduos, seja nas escolas, nas empresas ou nas famílias poderá ser uma maneira mais humanizada e mais propícia à aprendizagem e à produtividade, podendo constituir uma chave propulsora para uma sobrevivência mais harmônica do ser humano em sociedade. (ROGERS e ROSENBERG, 1977).

Os aspectos não cognitivos da atividade humana, encapsulados na palavra "afeto", têm sido difíceis de serem definidos pela comunidade psicológica, e não há muito consenso em relação a como descrevê-los. Alguns psicólogos afirmam que o conceito de afeto, possivelmente o mais complexo, está enraizado na vida emocional do aluno (NEUMAN e FRIEDMAN, 2010).

Krathwohl, Bloom e Masia (1964) descrevem o uso mais conhecido do termo “afetivo” no manual *Taxonomy of Educational Objectives: The Affective Domain*. Consideram "afetivo" um termo genérico que descreve tais fenômenos como emoções, atitudes, crenças, estados de espírito, valores, autoconceito e moral.

Um dos estudiosos mais reconhecidos em relação a uma teorização com caráter humanista é Carl Ransom Rogers (1902-1987). O psicólogo americano trabalhou por mais de 30 décadas como psicoterapeuta, e foi um dos pioneiros em teorizar contribuições significativas que uma abordagem centrada na pessoa (no aluno) pode apresentar em contexto escolar, e não restrito à psicologia clínica. O relacionamento entre aluno e professor dentro de uma sala de aula em que o

professor não é mais visto como “detentor e transmissor de conhecimento”, e sim um mediador da construção desse, pode apresentar possibilidade de mudanças.

Segundo Rogers (1973, 1987 e 1997), o ensino tradicional pode ser caracterizado pelos seguintes princípios: 1) o professor é possuidor do conhecimento, e o aluno é um suposto recipiente; 2) a aula, ou algum meio de instrução verbal, é a forma principal de “colocar conhecimento” no recipiente; o exame escrito avalia até onde o estudante o recebeu; 3) o professor é possuidor do poder, o estudante aquele que obedece; 4) reger pela autoridade é a prática adotada nas salas de aula; 5) o grau de confiança é mínimo, portanto o aluno deve ser constantemente vigiado e supervisionado; 6) os estudantes são bem mais governados se mantidos em um estado intermitente ou constante de medo; 7) a democracia e seus valores são tratados na prática com descaso e escárnio; 8) no sistema educacional, há lugar apenas para o intelecto, e não para a pessoa como um todo, incluindo as suas vivências.

Apesar de terem sido publicados há quatro décadas, observa-se que as práticas tradicionais pouco mudaram nos anos finais da segunda década do século XXI. A participação discente ainda é pouco incentivada, ou oprimida em diversas ocasiões, resultado da ausência de gestão democrática dentro das instituições de ensino. Além disso, professores tendem a reproduzir a repressão que sofreram durante seu processo de formação, pois acreditam que a construção coletiva leva às práticas anárquicas. Dessa maneira, a gestão escolar ainda é caracterizada pela verticalidade nas decisões, e é refletida na sala de aula. E a verticalização de decisões também se baseia no estado intermitente de medo dos alunos (ROSENBERG E ROGERS, 1977).

Ainda segundo os autores, o medo é característico do modelo tradicional de educação, em que há um temor constante pelo fracasso, pela crítica pública e pelo ridículo. Na escola primária, o estudante pode ser alvo de zombaria caso deseje expor algo que fuja do padrão preestabelecido. Na escola secundária, existe o temor de não se formar e, conseqüentemente, sofrer desvantagens econômicas, profissionais e acadêmicas. Na universidade tais experiências são amplificadas e intensificadas. Na pós-graduação, a tutela reservada a um único professor, que pode definir os rumos profissionais de determinado estudante, pode desenvolver relações de extremo autoritarismo e que culminam no fracasso do aluno quando da elaboração e da conclusão de seu trabalho monográfico.

Em relação à oitava observação supracitada feita por Rogers, a perspectiva sociocultural da Educação em Ciências mostra que a visão estritamente cognitivista em relação às vivências e aos elementos afetivos é insuficiente para subsidiar o entendimento da aprendizagem (LEMKE, 2000). Essa perspectiva valoriza um olhar diferenciado em relação às particularidades e às individualidades, como classe social, gênero, linguagens, práticas, faixa etária, religião, procurando não negligenciar o indivíduo como integrante de uma sociedade. Observando especificamente o exemplo de questões de gênero no Ensino de Ciências, é possível desenvolver análises e comparações.

A visão biologicista e determinista, que leva em consideração apenas aspectos cognitivos na aprendizagem, buscou estudar e entender como esses fatores influenciavam em diferenças relacionadas ao rendimento escolar entre garotos e garotas. Por sua vez, estudos que observaram interações em sala de aula indicam que professores focalizam sua atenção mais frequentemente nos jovens do que nas jovens, colocando-lhes mais questões desafiadoras e permitindo a eles assumir papéis de liderança em atividades de grupo (KAHLE, apud FERREIRA, 2003).

Nesses estudos, os/as pesquisadores/as observaram que as meninas têm, de fato, menos oportunidade que os meninos de participação nas aulas de Ciências, apesar de expressarem interesse de maneira semelhante a participar das atividades propostas. Esse desencorajamento a desenvolver estudos relacionados às Ciências faz com que a participação e o interesse de mulheres por carreiras científicas sejam baixos, uma vez que desde cedo desenvolvem imagens negativas em relação a essas áreas.

Segundo Rosenberg e Rogers (1977) e Rogers (1973, 1987 e 1997), o fundamento essencial para aprendizagem centrada na pessoa é a precondição, ou seja, a pessoa percebida como figura de autoridade e de liderança na situação tem segurança suficiente para confiar na capacidade das pessoas em pensarem e aprenderem com autonomia. Segundo os autores, os outros fundamentos que serão apresentados a seguir se tornam possíveis e tendem a ser implementados com a existência da precondição.

Os outros fundamentos que caracterizam a abordagem centrada na pessoa são: o profissional facilitador partilha com os outros – estudantes, pais e comunidade – a responsabilidade pelo processo de aprendizagem; o facilitador provê recursos de

aprendizagem – livros, material didático, experiências individuais e da comunidade; o estudante desenvolve seu próprio programa de aprendizagem, seja sozinho ou em cooperação; um clima facilitador de aprendizagem é oferecido, sendo o processo contínuo de aprendizagem o foco principal; a autodisciplina e a autoavaliação são incentivadas e, segundo os autores, a aprendizagem neste clima que promove crescimento, comparada à que se observa na sala tradicional, tende a ser mais profunda, a se proceder num ritmo mais rápido e a ser mais abrangente na vida e no comportamento do estudante.

Apesar de se apropriar de princípios baseados na autonomia do educando, dando-lhe oportunidade de controlar suas atividades, seu desenvolvimento e sua aprendizagem, o que se observa é que na prática da sala de aula brasileira isso dificilmente ocorreria. Uma abordagem em que os alunos seriam separados por nível de aprendizagem, e não por idade, e que lhes fosse dada autonomia para decidir a respeito de quê e de que forma aprender é viável para salas pequenas, de até uma dezena de alunos. Além disso, a sociedade corporativa e empresarial baseia-se em hierarquias e em atribuição de funções por lideranças muitas vezes não-empáticas, e a vivência completamente autônoma durante o período escolar poderia formar profissionais com dificuldades de inserção no mercado de trabalho.

Ainda é possível observar que, com o advento das novas tecnologias de conexão, como internet ilimitada, *smartphones* conectados o tempo inteiro, os educandos têm se mostrado cada vez menos autônomos e dependentes de suporte e informações rápidas, o que dificultaria na implementação do modelo escolar proposto por Rogers.

Ausubel (2003) enunciou que algumas das condições que influenciam no processo de aprendizagem são o material potencialmente significativo, a disponibilidade de conceito subsunçor adequado na estrutura cognitiva, e a predisposição para aprender. Das três condições para ocorrer a AS, duas partem, principalmente, da ação do professor, e a última parte do estudante. No entanto, não é possível demarcar rigorosamente os limites, pois na atuação do professor estão presentes elementos do currículo e da sua formação, influenciando-a. Além disso, para a ação de intencionalidade do estudante em aprender, existem elementos psicológicos e afetivos, material didático e também o professor o influenciando.

Uma das limitações da teoria original da AS de Ausubel é que essa não previa a influência dos fatores afetivos, valorativos e sociais, restringindo-se ao processo de ensino e aprendizagem a partir das condições supracitadas.

Novak e Gowin (1984) propõem, para que ocorra AS, considerar não apenas os aspectos cognitivos envolvidos no processo de aprendizagem, mas também os aspectos afetivos. Com esta ideia, há a inclusão de elementos de teorias humanistas articulados com a teoria cognitivista da AS de Ausubel. Novak (1980) justifica o que convencionou chamar de teoria educacional, pelo longo período de trabalho de investigações, no campo da Educação e no Ensino de Ciências. Para os autores, educar é além de uma ciência, é uma arte que envolve julgamentos, sentimentos e valores.

Joseph D. Novak, cujas obras destacam-se Teoria da Educação (1977), Aprender a Aprender (1984) e Aprender, Criar e Usar o Conhecimento (2012), corroborou as visões humanistas que vinham sendo desenvolvidas, porém aprimorou princípios que outrora se apresentaram arcaicos, Novak (2012) pressupõe que o objetivo central da educação escolar é empoderar os alunos a comandarem sua própria vontade de aprender. A palavra empoderamento deriva do inglês *empowerment*, que significa fazer com que o indivíduo perceba que é capaz de aprender. Esse direcionamento envolve o pensar, o sentir e o agir, e esses três aspectos devem ser articulados a um novo aprendizado cognitivo com características significativas, e, especialmente, à construção de um novo conhecimento. A construção cognitiva de um conhecimento, as mudanças nas emoções e os aprimoramentos físicos (considerando a aprendizagem motora), combinados, auxiliam o ser humano a dar sentido à sua existência. A tríade pensar, sentir e agir confere à aprendizagem um caráter humanista, e não apenas cognitivista.

Segundo Novak (2012), a educação é constituída de cinco elementos fundamentais: o aluno, o professor, o conhecimento, o contexto e a avaliação que, quando integrados, direcionam para resultados educacionais honestos, autênticos e produtivos. Alunos e professores possuem suas perspectivas idiossincráticas a respeito de cada um dos elementos, e um evento educativo corresponde à ação compartilhada de troca de significados e sentimentos entre eles. Essa troca será emocionalmente positiva e intelectualmente construtiva a partir do momento em que os alunos entendem um determinado conhecimento.

Pesquisas recentes trouxeram mais atenção a essa relação interdependente entre conhecimento de conteúdo de estudantes de Química, processamento cognitivo, características afetivas e motivação (XU, VILLAFANE e LEWIS, 2013; CHAN e BAUER, 2014). Um aluno que inicia um evento de aprendizagem com atitudes positivas, autoconceitos fortes e profundo conhecimento prévio, tende a perceber o aprendizado como sendo mais fácil, mais rápido e esse o leva a uma realização pessoal. No processo de aprendizagem, o comportamento metacognitivo (autorregulação) e o estado motivacional imediato (crenças de autoeficácia, orientações de objetivos, crenças de valor de tarefas) também influenciam os resultados da aprendizagem (ZUSHO, PINTRICH E COPPOLA, 2003; BRANDRIET, WARD, BRETZ, 2013).

No trabalho de Chan e Bauer (2016), estudantes de Química Geral foram divididos em três grupos por meio de instrumentos de análise de seis características afetivas (satisfação emocional, acessibilidade intelectual, autoconceito de Química, autoconceito Matemático, autoeficácia e teste de ansiedade). As estratégias de estudo em casa para a preparação de exames e estratégias de aprendizagem em sala de aula diferiram entre os três grupos. Os alunos do grupo com características afetivas fortemente positivas apresentaram-se mais autônomos, relatando que entenderam as anotações que realizaram durante a aula de maneira mais frequente que o grupo com características afetivas mais negativas. O grupo com características mais positivas também dependia menos de tutores e assistentes de ensino para ajudar na preparação para exames.

Assim, as novas demandas da educação incluem o reconhecimento e o desenvolvimento de abordagens que inter-relacionem o processamento cognitivo, as características afetivas e a motivação, com o objetivo principal de uma formação completa, que inicia pela superação de obstáculos didáticos e de aprendizagem, que serão discutidos a seguir.

### **1.3 - Os conceitos de Energia: um obstáculo de aprendizagem de Termodinâmica**

Em situações de ensino, é possível identificar obstáculos que impedem o aprendizado da/o estudante. Em particular, podem-se encontrar obstáculos epistemológicos e didáticos. A noção de obstáculo epistemológico foi descrita

inicialmente por Gaston Bachelard, em 1938. Mais tarde em 1976, Brousseau introduziu o conceito de obstáculo epistemológico na Didática da Matemática, o que pode ser caracterizado como um obstáculo didático ou um obstáculo à aprendizagem e pode ser estendido às dificuldades inerentes ao trabalho docente na área de Ciências e Matemática.

Os obstáculos didáticos são aqueles que “parecem depender apenas de uma escolha ou de um projeto do sistema educativo” (BROUSSEAU, 1983, p. 176), surgem a partir da escolha das estratégias de ensino do professor. O conhecimento torna-se questionável em relação a sua validade, ou, se construído de forma incompleta, configura-se como obstáculos para o desenvolvimento dos conceitos. Por exemplo, em relação aos números decimais, os alunos não têm consciência da densidade dos números reais. Almouloud (2007) cita a dificuldade dos alunos em compreender a existência de infinitos números decimais entre dois quaisquer números.

Em qualquer evento didático há um conjunto de fatores que podem favorecer ou dificultar a aprendizagem pretendida. A relação didática se estabelece em um contexto no qual há um projeto de ensino em que se dá a interação entre a/o docente, a/o estudante(s) e o saber a ensinar. As escolhas didáticas realizadas pela/o docente têm grande influência no sucesso ou no fracasso desse processo, podendo atenuar ou reforçar verdadeiros obstáculos que podem perdurar mesmo após a conclusão de determinado nível de estudo, inclusive o superior.

Existem variáveis no contexto escolar que tornam a relação didática dinâmica e complexa, além da/o docente, da/o estudante e do saber, conforme mostram pesquisas realizadas na área de Didática das Ciências (ASTOLFI, 1993, 1994; JOHSUA, 1996; JONNAERT, 1996). Docente, estudante e saber estabelecem inúmeras relações, por meio de suas relações individuais e como grupo-classe, embora exista um saber único presente no programa, resultado de uma Transposição Didática (CHEVALLARD, 1991). Ignorar essa multiplicidade de variáveis pode contribuir para o desenvolvimento de obstáculos à aprendizagem.

Quando uma relação didática se inicia, docente e estudante possuem expectativas mútuas umas/uns das/os outras/os, mesmo com um saber a ensinar bem definido nos contextos escolares (RICARDO, 2003). Nessa fase inicial, as/os estudantes ainda estão fortemente ligados às suas concepções alternativas (representações) construídas ao longo de suas vidas, e a partir dessas é que as/os

estudantes interpretarão os saberes que a/o docente pretende ensinar (MORTIMER, 2000). Essas concepções não podem ser ignoradas pela/o docente que pretende colocar a/o aluna/o em condições de aprendizagem e de construção do conhecimento, modificando suas relações com os saberes ao fim de um evento didático.

Quando se ignora a presença de múltiplos saberes em uma situação didática e a relação incipiente que as/os educandos/as possuem com os saberes a ensinar no início do curto tempo da relação didática, corre-se o risco de subestimar as representações alternativas dessas/es, ou ainda favorecer a permanência de verdadeiros obstáculos à aprendizagem que poderão, por ventura, manifestar-se em outras situações (RICARDO, 2003).

Além das concepções alternativas das/os estudantes, suas concepções epistemológicas também são obstáculos, segundo Campanaro e Otero (2000). As/os estudantes possuem concepções prévias não só a respeito do conteúdo científico, mas também do conhecimento científico. A partir de então, outras origens para obstáculos de aprendizagem podem ser apontadas, tais como: livros didáticos; concepção de Ciência do professor; estratégias didáticas, como atividades experimentais e uso exagerado de fórmulas Matemáticas, especialmente em Física e Química, para enfrentar problemas isolados. A concepção de Ciência pode ser ensinada de maneira implícita e de forma equivocada, o que torna mais difícil sua identificação e tratamento didático (REZENDE JUNIOR, 2006).

O conflito cognitivo das representações e concepções alternativas com os conhecimentos científicos a serem ensinados e aprendidos tem que ter resultados positivos, conforme Astolfi (1998), para que esses não se caracterizem como aquisições verbais e temporais, pois dessa forma o saber científico é abandonado quando de situações extraclasse (RICARDO, 2003). Em relação às estratégias didáticas utilizadas para o ensino de Termodinâmica, seja na Física ou na Química, as/os estudantes veem um distanciamento, por exemplo, entre conceitos como Energia Interna, Entalpia e Entropia, pois geralmente lhes são ensinados os “produtos acabados” da definição, e não o seu processo epistemológico, de maneira que esses conceitos perdem o caráter problemático original (ASTOLFI, 1993).

Para o mesmo autor, o que falta às/aos estudantes “é poder compreender o que tem sido preciso construir (e, sobretudo, o que é preciso renunciar) para que um determinado conceito estudado adquira sentido” (p. 294) Dessa forma, é necessário

identificar e conhecer obstáculos à aprendizagem para propor alternativas didáticas a fim de superá-los. No Quadro 3 são apresentadas, sinteticamente, algumas noções dos alunos em relação às características da Energia, e no Quadro 4 são apresentadas algumas noções dos alunos em relação ao Calor.

Quadro 3 - Noções de estudantes em relação a características da Energia.

Descrição da noção	Autor(es)
É algo presente em todos os fenômenos que ocorrem na natureza e com o homem.	Filho (1987)
É algo em potencial nos objetos (energia potencial) e está ligada ao movimento dos objetos (energia cinética).	
É como uma substância.	
É algo que se perde e se adquire.	
Pode se apresentar de diferentes maneiras (como energia gravitacional, elétrica, magnética, luminoso, sonora, eólica, nuclear, térmica, química etc.).	
Energia como causa para que ocorra um processo (por exemplo, energia produz calor e fogo).	Higa (1988), Trumper (1991), Pérez-Landazábal <i>et al.</i> (1995) e Henrique (1996)
Energia como produto de um processo (por exemplo, óleo consome oxigênio e produz energia na forma de calor).	
Transformação de energia (por exemplo, energia elétrica é transformada em calor, que aquece o filamento da lâmpada e acende a luz).	
Energia como propriedade da matéria (capacidade de produzir trabalho por meio da força).	
Energia associada a calor (sinônimo de aquecimento).	
Energia é materializada, ou seja, armazenada em determinados corpos e transferida em certos processos (ideia de energia como ingrediente ou depósito).	
Energia é algo que se conserva.	
Energia é algo que não se conserva (por exemplo: “produzir energia/consumir energia”).	
Energia associada ao homem (ideia antropomórfica).	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2017)

Quadro 4 - Noções de estudantes em relação a características do Calor.

Descrição da noção	Autor(es)
Calor é entendido como uma substância, uma espécie de fluido, como às vezes o frio ganha uma conotação semelhante e contrária (o frio que entra no ambiente ou o calor que sai da garrafa térmica, por exemplo).	Silva, Neto e Carvalho (1998)
Calor é um processo interno resultante do atrito entre as partículas.	
Calor está associado a temperaturas altas.	
Temperatura é a medida do calor de um corpo.	

Temperatura é uma propriedade dos corpos quentes e frio é uma propriedade contrária.	
Os conceitos de calor e de temperatura são sinônimos, assim como o conceito de temperatura é sinônimo do de energia.	
Uma propriedade animista (um objeto quer dar ou receber) é usada para explicar o aquecimento ou o resfriamento, sem se constituir em uma figura de linguagem.	
Propriedades macroscópicas (fusão, dilatação, mudança de cor, entre outras) são atribuídas às partículas.	

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2017)

Farias, Simões e Trindade (2013) propuseram uma sequência didática, elaborada por um professor-pesquisador, buscando superar obstáculos de aprendizagem de estudantes do Ensino Médio envolvendo os conceitos de Calor e Temperatura. O referencial teórico foi o trabalho de Jean-Pierre Astolfi. Os autores concluíram que boa parte do desafio de elaborar uma sequência didática com base na tentativa de superar obstáculos de aprendizagem está no fato de que o pensamento científico precisa passar a ser parte do conteúdo, sendo um dos pontos que mais diferencia esta prática em relação às sequências de conteúdo que normalmente são encontradas nas escolas.

Para Astolfi (1993; 1994), isso começa, de imediato, na elaboração da sequência didática, pelo processo de identificação do obstáculo. Os autores utilizaram, na construção da sequência, elementos empíricos e perceberam que a abordagem por meio de História (e Filosofia) da Ciência pode contribuir com a desestabilização de representações. A abordagem histórica está fundamentada, entre outros, nos trabalhos de Piaget acerca da epistemologia genética, que apontam para o fato de haver similitudes entre a forma como os indivíduos constroem seus conhecimentos e a forma como o conhecimento científico é construído.

A utilização de materiais como vídeos, textos e imagens com representações equivocadas a respeito do fenômeno estudado também pode ser instrumento de aprimoramento de superação de obstáculos de aprendizagem, potencializando conflitos sociocognitivos. Além disso, os autores observaram que o tempo para uma sequência didática, visando à superação de obstáculos, é maior do que costuma ser utilizado para abordar os fenômenos naturais, pois é necessária uma construção mais apurada do conhecimento científico.

Auth e Angotti (2001) afirmam que Energia é um conceito unificador, que incorpora tanto as mudanças entre as formas energéticas manifestadas, como a conservação dessas formas nos sistemas. Além disso, é elemento articulador para interligar tópicos de uma área intradisciplinar e favorece o estabelecimento de relações com temas de outras áreas, em nível interdisciplinar. Para esses autores, os conhecimentos científicos deveriam estar menos fragmentados, necessitando-se buscar conexões entre os diversos conceitos relevantes a fim de favorecer a aprendizagem, além de estruturar os conhecimentos de forma a se priorizar as unificações e sínteses, sem negligenciar o papel fundamental das análises. Entender o processo de transformações de energia é fundamental para o entendimento de inúmeros processos vitais.

Segundo Souza (2007), vários autores (Quadro 5) relatam diversas noções alternativas de alunos do Ensino Médio em relação a conceitos como Calor, temperatura, Energia e transformações químicas. Essas concepções podem, por exemplo, dificultar a aprendizagem do conceito de energia envolvida nas transformações químicas. Tais dificuldades ultrapassam a fronteira do Ensino Médio e permanecem nas disciplinas relacionadas à Física e à Química de cursos de Licenciatura e Bacharelados.

Quadro 5 - Noções alternativas de alunos em relação a conceitos químicos e a relação com dificuldades de aprendizagem.

Descrição da dificuldade	Autor(es)
Dificuldades de estabelecer relações entre conceitos abstratos como calor, temperatura e energia	Cohen e Ben-Zvi, 1992
Noção de transformações químicas como adição, “cola” de reagentes para formar produtos e não como interação	Ben-Zvi, Eylon, e Silberstein, 1987);
Visão estática das partículas, com pouco ou nenhum entendimento sobre como ocorrem, em nível sub-microscópico, as transformações químicas	Boo, 1998
Dificuldades em entender o significado das transformações químicas e dos processos endotérmicos e exotérmicos.	de Vos e Verdonk, 1986
Desconhecimento, total ou parcial, da “origem” do aquecimento ou resfriamento percebido em alguns processos químicos	Boo, 1998

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2017)

Alomá e Malaver (2007) analisaram conceitos relativos à energia como aspectos fundamentais no estudo da Termodinâmica e do teorema de Carnot como uma aplicação dentro da área de Engenharia, em textos universitários dirigidos a estudantes dessa área na Venezuela. Em seu trabalho, observou-se por meio da

análise de livros que: a estrutura do discurso e os diagramas utilizados podem influenciar no surgimento de concepções equivocadas dos estudantes; as interpretações espontâneas e não formais dos fenômenos físicos podem afetar a aprendizagem das ciências; há uma confusão generalizada em expressões e notações dos diversos tipos de velocidade moleculares em sistemas gasosos, além de erros de interpretação dos princípios postulados por Carnot em seus trabalhos.

Silva Junior (2010) investigou livros de Química Geral em relação ao conceito de Energia e as principais concepções dos estudantes de graduação em Química em relação ao conceito de Energia e as transformações químicas; por fim elaborou um ciclo de estudos com a proposição de uma abordagem que inter-relacionasse o conceito de Energia e suas implicações no processo de ensino e aprendizagem de uma transformação química. Durante o ciclo de estudos foram estudadas duas reações químicas, uma que possibilitasse abordar a dimensão macroscópica de quantificação do conceito de energia e outra que demonstrasse a dimensão macro e microscópica do conceito de Energia em meio a uma transformação química. Em todas as reações propostas, os alunos utilizaram apenas observações macroscópicas das reações em estudo e não conseguiram perceber que o conceito de Energia pode ser usado para explicar microscopicamente uma transformação química.

Souza (2007) elaborou uma proposta para o ensino do tema Energia envolvida nas transformações químicas a partir do diagrama Modelo de Modelagem, subsidiada pelo processo histórico das ideias a respeito de Calor e Energia. Os resultados da pesquisa permitiram ao autor concluir que o desenvolvimento do processo integrando História da Ciência e Modelagem foi significativo aos alunos, permitindo que estes construíssem o seu próprio conhecimento, desenvolvendo uma visão crítica e reflexiva em relação ao fazer Ciência.

Amaral e Mortimer (2001) desenvolveram uma proposta de perfil conceitual para a noção de calor, a partir de dados de pesquisas anteriormente acerca do tema. Para a análise das ideias foram usados os trabalhos de Bachelard (1996), que se referem à noção de obstáculo epistemológico ao desenvolvimento do conhecimento, e o trabalho de Chi (1992), no qual são apresentadas algumas dificuldades de aprendizagem dos conceitos em ciências a partir de uma caracterização ontológica do conhecimento. A partir da análise, uma estruturação das ideias foi desenvolvida, considerando a noção de perfil conceitual de Calor, com

a determinação de cinco zonas: realista, animista, substancialista, empírica e racionalista.

Em seu levantamento bibliográfico, Alomá e Malaver (2007) apontam que o conhecimento técnico dos professores não apresenta solidez em assuntos relacionados a fenômenos como evaporação e ebulição dos líquidos, prevalecendo a concepção de senso comum. As dificuldades a respeito de Energia, segundo os autores, são estendidas a noções do conceito de Calor e trabalho.

Ao analisarem os textos didáticos, os autores supracitados expressam que a maioria não apresenta uma conceituação a respeito de Energia. Apenas existem referências a termos como energia cinética, potencial, translacional, e trazem a noção de Energia como uma substância ou entidade capaz de modificar corpos e realizar mudanças de estado; a definição de trabalho é apresentada como forma de transferência de energia e em todos eles este é referido como ação de uma força em um deslocamento, porém, da mesma forma que ocorre com o desenvolvimento do conceito de Calor, apresentam sentenças que se referem ao trabalho como energia.

Simões Neto e Amaral (2014) buscaram identificar as principais concepções a respeito de Energia e de Energia Química nos estudantes na formação inicial de professores de um curso de licenciatura em química da Universidade Federal Rural de Pernambuco. Energia é uma palavra com muitos usos, em diferentes contextos, alguns cotidianos, científicos e até sobrenaturais. Tal variedade de significados pode trazer dificuldades nos processos de ensino e aprendizagem dos conceitos de energia e energia química. Os autores elaboraram um questionário de cinco questões abertas relacionadas à Energia e/ou Energia química, que foi respondido por vinte e dois estudantes. Os licenciandos apresentaram uma definição de energia exata ou muito próxima da clássica, explicitada na maioria dos livros didáticos e trabalhos científicos: energia como capacidade de realizar trabalho. A confusão entre os conceitos de energia e força aparece como uma concepção alternativa constante e resistente. Já quanto à definição de energia química, a associação com quebra/formação de ligações químicas e variações durante reações químicas foram mais citadas, em convergência com as pesquisas descritas na literatura.

Em relação à matematização<sup>6</sup> como um potencial obstáculo de aprendizagem, é consensual a observação que para ensinar Ciências se faz necessário o esforço

---

<sup>6</sup> Entende-se por matematização a [...] atividade matemática que possibilita a organização e a estruturação dos fenômenos naturais pertencentes à realidade complexa, por meio de uma

em equilibrar o conhecimento puramente científico com o cotidiano, ou seja, com problemáticas inseridas no meio social de cada sujeito.

Ao ensinar Ciências/Química, a matematização é priorizada em relação ao ensino contextual, pois a formação de professores com base na perspectiva tecnicista propicia uma intensa algoritmização com pouco significado epistemológico. Nery e Maldaner (2011) pesquisaram elementos da significação ocorrida durante as etapas de produção e validação quanto ao tratamento dado aos conteúdos químicos, no programa Folhas<sup>7</sup> com foco, dentre outros, na elaboração conceitual *versus* matematização.

Em relato, uma professora de Química participante da pesquisa de Nery e Maldaner (2011, p. 117), admitiu que:

[...] Eu não me preocupava em dar o conceito pro aluno aprender, me preocupava que ele soubesse fazer as contas, que ele soubesse chegar no resultado. Mas o conceito, às vezes, ele... eu nem percebia que o aluno não tinha entendido o conceito. Ele sabia fazer as contas... Hoje eu já vejo diferente. Tanto que eu converso com os alunos, e digo "eu não vou dar fórmulas para vocês. Vocês vão ter que entender o que significa isso. Vamos fazer um experimento disso", e... aí, algumas vezes, no final das contas eles fazem as coisas sem precisar de fórmula, entende? É, isso mudou. A maneira de trabalhar assim, contextualizar, trabalhar a questão conceitual, até historicamente. Isso eu deixava meio de lado. Eu priorizava mais a parte de cálculo mesmo.

Segundo análise dos autores, destaca-se, na fala da professora investigada, a questão do tratamento matematizado que dava aos conteúdos químicos de maneira inconsciente. Ao fazer isso, a professora negligenciava o processo de aprendizagem dos alunos, em palavras próprias. Nessa análise, os autores admitem não pretenderem desqualificar a importância das relações matemáticas representativas dos fenômenos químicos para a elaboração conceitual. Consideram que essas relações são relevantes na construção de conceitos pelos alunos, direcionando-os no pensamento teórico descolado do contexto. Segundo Davidov (1988), os conceitos são o meio pelo qual se realiza o pensamento teórico, foco principal do ensino escolar (NERY E MALDANER, 2011). É por meio da aquisição do ensino que o pensamento teórico é estruturado, é formado e se realiza o consequente desenvolvimento psíquico do educando (DAVIDOV, 1998). No entanto, o privilégio

---

identificação de regularidades, padrões, relações e, posteriormente, estruturas matemáticas (LUCCAS e BATISTA, 2011, p. 456)

<sup>7</sup> O Folhas foi um programa de formação continuada, da Secretaria de Estado da Educação do Paraná, que se caracterizou basicamente na produção de textos didáticos dos componentes disciplinares da Educação Básica produzidos pelos professores desse nível de ensino e validados entre pares.

que comumente se dá ao ensino matematizado acaba descaracterizando a Ciência Química, aproximando-a de uma matemática aplicada.

Com base no que foi exposto, uma abordagem que propicie AS ao educando deve priorizar o reconhecimento das concepções alternativas, a fim de propiciar o conflito e a construção do conhecimento científico; para isso, as relações matemáticas devem estar em equilíbrio com a elaboração conceitual, para, a partir desta, construir o pensamento epistemológico adequado. Uma perspectiva para superação dos obstáculos de aprendizagem é a introdução da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Termodinâmica, que será explicada e justificada a seguir.

## **2 – EPISTEMOLOGIA DO ENSINO DE TERMODINÂMICA QUÍMICA**

### **2.1 – A História e Filosofia da Ciência no Ensino de Química**

O saber científico é um dos conhecimentos considerados mais importantes na chamada sociedade do conhecimento e, segundo a UNESCO (1999), tornou-se uma exigência para a formação de um “cidadão” consciente e crítico a respeito dos acontecimentos do mundo. É também uma condição imprescindível para se entender a nova configuração da sociedade e o desenvolvimento científico, e, ainda, para a inovação e o crescimento local e nacional do país.

Martins (1990) defende que o ensino de História da Ciência deve estar presente em todos os cursos universitários, sendo acessível a qualquer estudante devido à sua importância na formação cultural; isso não deve ocorrer de maneira obrigatória dentro da matriz curricular, mas por meio de disciplinas optativas oferecidas aos graduandos. Em relação aos aspectos didáticos, a História da Ciência pode equilibrar aspectos técnicos da aula com valores humanos, sociais e culturais. Ela pode ser também, utilizada para facilitar a compreensão de um determinado tema, pois, geralmente, resultados científicos atualmente aceitos são pouco intuitivos e óbvios, sendo resultado de um longo desenvolvimento e discussão.

Os estudos a respeito da realidade do Ensino de Química, cujas observações podem ser estendidas ao Ensino de Ciências, têm mostrado que este é descontextualizado, a-histórico, dogmático, desinteressante, verdadeiro, tal como

foi o contexto da formação do professor de Química (CHASSOT, 1993; LOPES, KRUGER e DEL PINO, 2000).

Batista (2004) afirma que existem, no ensino e aprendizagem da Física, dificuldades de compreensão e estabilização dos conceitos que exigem abstração, interpretação e reflexão, observação que pode ser estendida à realidade do ensino de Química, que apresenta tais exigências dos aprendizes. Segundo Araman (2006), as pesquisas em Ensino de Ciências ressaltam a relevância da utilização de novas abordagens metodológicas que atendam à necessidade da Ciência de se tornar cada vez mais próxima e significativa aos alunos. Ainda de acordo com esta autora, inúmeras pesquisas abordam vantagens que a utilização da História da Ciência pode oferecer para o Ensino de Ciências, bem como seu caráter explicativo (ARAMAN, 2006).

Consoante a tais pesquisas, a utilização da abordagem da História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino das Ciências vêm emergindo de várias discussões em congressos e revistas especializadas da área (PÉREZ, 1993; MATTHEWS, 1995; CARVALHO e VANNUCCHI, 1996; BARROS, CARVALHO, 1998; ABD-EL-KHALICK, LEDERMAN, 2000; PÉREZ *et al.*, 2001, BATISTA, 2004; BRASIL, 2006; MARTINS, 2006; HÖTTECKE, SILVA, 2011). Hoje, mesmo diante de algumas críticas, já existe certo consenso dos benefícios e mudanças que o seu uso pode propiciar ao ensino de Ciências.

Tal preocupação com um ensino de Ciências da Natureza, que possibilite o entendimento das questões epistemológicas, históricas e filosóficas que envolvem a ciência e, por outro lado, contribua para o exercício da cidadania, tem sido constante e tem aparecido de maneira contundente, nas últimas décadas, nos documentos (como, por exemplo, diretrizes do MEC e propostas da UNESCO) para a “educação científica”.

Considerando um ensino de Ciências da Natureza com base contextual, a UNESCO propõe em um documento intitulado A Ciência para o Século XXI: uma Nova Visão e uma Base de Ação, que “A educação científica, em todos os níveis e sem discriminação, é requisito fundamental para a democracia. Igualdade no acesso à Ciência não é somente uma exigência social e ética. É uma necessidade para a realização plena do potencial do homem” (UNESCO, 2003, p. 6).

Em relação ao Brasil, as diretrizes de ensino se aproximam das observadas internacionalmente. O Ministério da Educação (MEC), desde a promulgação da Lei

de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB), Lei nº 9.394, de 20/12/1996, afirma que: “A educação básica tem por finalidades desenvolver o educando, assegurar-lhe a formação comum indispensável para o exercício da cidadania e fornecer-lhe meios para progredir no trabalho e em estudos posteriores” (BRASIL, 2011).

A defesa em relação à introdução de História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino sugere uma abordagem interdisciplinar e contextualizada historicamente, trabalhando em diversos contextos como: ético, social, histórico, filosófico e tecnológico. Matthews (1995) defende que se apresente a Ciência para os alunos como um conhecimento em construção, na qual nada é definitivo, ou seja, a qualquer momento uma teoria pode ser substituída por outra que melhor explique um fenômeno em questão. Dessa forma, o aluno é instigado a questionar e investigar, o que pode propiciar uma compreensão mais adequada do processo de construção do conhecimento científico.

No ensino usual da Química a utilização de recursos históricos é restrita e escassa, estando ausentes, em sua maioria, de textos e de materiais didáticos, e quando utilizados se referem a aspectos históricos “internos” da ciência (ênfase na visão internalista da Ciência), como biografias, anedotas (o uso de anedotas também não é útil, pois pode apresentar uma visão distorcida e mistificada da Ciência e dos cientistas, inventos técnicos (enumeração de datas, nomes de pessoas e seus feitos; ou a descrições vagas e superficiais), ou de alguma área conceitual específica como modelos atômicos. Embora exista uma vasta literatura que estimule o uso de abordagens históricas e filosóficas no ensino de Ciências, assim como as orientações curriculares nacionais que defendem o uso das abordagens histórico-filosóficas em defesa de uma formação crítica, o que se percebe é que ainda não se tem um número considerável de trabalhos que tratem da eficácia dessas abordagens, tanto no cenário nacional, quanto internacional (TEIXEIRA, GRECA, FREIRE, 2011).

Além disso, segundo estudos de Niaz (2011) alguns dos cursos especialmente desenhados para introduzir a História da Química não foram bem recebidos pelos alunos, uma vez que consideram que não faz parte do curso de Química, e, portanto, irrelevante. Por outro lado, em sua pesquisa, o autor tentou articular a História e Filosofia da Ciência junto a conteúdos químicos, baseado em vicissitudes pessoais dos cientistas e as controvérsias que cercam o

desenvolvimento de novas ideias e teorias. Em outras palavras, a História da Química já é Química interna. Curiosamente, uma tese semelhante foi apresentada no caso da Física: "Não estamos interessados em adicionar a História da Física para ensinar Física, como disciplina opcional: a História da Física é a Física 'interna'" (BEVILACQUA E BORDONI 1998 p. 451). Esta é uma tese importante, que tem sido geralmente ignorada na literatura da educação científica (NIAZ, 2016). Da mesma forma, Niaz e Rodríguez (2001), baseados em um panorama histórico, mostraram que a HFC já é "interna" à Química, e não há a necessidade de cursos separados para a sua introdução.

Teo *et al.* (2014) realizaram uma análise de conteúdo nas seis revistas internacionais melhor conceituadas no estrato superior das áreas de a) pesquisa em Educação Química (*Chemistry Education Research and Practice* (CERP) e *Journal of Chemical Education* (JCE) e b) pesquisa em Educação Científica (*International Journal of Science Education* (IJSE), *Journal of Research in Science Teaching* (JRST), *Research in Science Education* (RISE), e *Science Education* (SE). Os artigos que foram considerados na análise de Teo *et al.* (2014) foram baseados em estudos empíricos com foco no ensino, aprendizagem ou avaliação em Química. De um total de 2642 artigos publicados nos periódicos IJSE, JRST, RISE, e SE, 204 estavam relacionados com a educação em Química (7,7%). Além disso, dos 204 artigos, quatro deles (2,0%) estavam relacionados com a História, Filosofia e Natureza da Química. Em relação ao bloco de periódicos relacionados à Educação Química especificamente, dos 406 artigos produzidos a partir de estudos empíricos, nenhum continha relação com História, Filosofia e Natureza da Química. Embora tivessem sido analisados somente artigos com aplicação empírica da História e Filosofia da Química, existe uma evidência da necessidade de desenvolvimento de pesquisas baseadas na perspectiva de História e Filosofia da Ciência, em especial na Química.

A maior parte dos cursos de Química dá ênfase à perspectiva empirista tradicional de acordo com a qual "descobertas" científicas levam à formulação de leis e teorias científicas inequívocas. A real prática científica, no entanto, é muito mais complexa e envolve vários processos interativos, como as pré-suposições do cientista, interpretações alternativas de dados, controvérsias entre cientistas em relação a conjuntos de dados similares, inconsistências envolvendo a construção de uma teoria, e a natureza do conhecimento científico de uma teoria.

Reinmuth (1932), editor do *Journal of Chemical Education*, reconheceu a importância da abordagem histórica para o Ensino de Química em um editorial afirmando que

[...] é muito mais importante que seja mostrado como conclusões são alcançadas com base em evidências experimentais de que o aluno memorize as conclusões. Muitos alunos adquirem a ideia de que as leis científicas, teorias e hipóteses emergem dos cérebros de gênios como resultado de algum fenômeno oculto que o homem comum nunca experienciaria (p. 1140, tradução nossa).

Um estudante de Química ou um pesquisador na área de Ensino de Ciências pode indagar então: se a História da Química e Filosofia da Ciência para a Educação em Química foram reconhecidas no início das primeiras décadas do século XX, por que ainda há debates a respeito da sua discussão em livros-texto e no currículo? O que é ainda mais difícil de explicar é: por que, nos dias atuais, os livros textos negligenciam a abordagem histórica?

Brush (1978, p. 289) apresentou uma argumentação similar e recomenda que

[...] o novo estilo da história da Ciência, que enfatiza a dinâmica da mudança científica e sua relação com o contexto filosófico, tecnológico e social é muito mais adequado para os intuítos educacionais que a tradição antiquada que destaca a acumulação de créditos das descobertas (p. 289, tradução nossa).

Em uma vertente similar, o historiador de química Trevor Levere (2006, p. 115-116) expressou a mesma ideia em termos convincentes:

[...] muitos autores dos livros-texto científicos ainda escrevem como se houvesse algo parecido com O método científico, usando rótulos como indução, empiricismo, e falsificação de uma maneira tão simplória que pouca relação apresentam com a Ciência como é praticada. De fato, “Ciência como é praticada” pode ser uma importante tendência para livros-textos de química e para o ensino de química em sala de aula (p. 115-116, tradução nossa).

Holton (1969, p. 974) respondeu à questão referindo-se ao mito do experimentalismo:

[...] quase todo livro-texto de ciências coloca um alto valor em razões infalíveis e indutivas. A norma do racionalismo na sala de aula deveria parecer ameaçada se o texto tivesse a intenção de permitir que uma generalização indutiva correta possa ser feita sem evidências experimentais inequívocas. Adicionalmente, a probabilidade é *a priori* grande o suficiente para que qualquer apresentação pedagógica acerca de um assunto sugira uma “ligação genética”<sup>8</sup> clara do experimento à teoria (HOLTON, p. 974, tradução nossa).

---

<sup>8</sup> A “ligação genética” (metáfora utilizada para a intrínseca relação entre experimento e teoria) que Holton se refere é verdadeiramente o fio condutor da maior parte dos livros de Química Geral.

A ideia da Ciência como um conhecimento neutro, racional, construído indutivamente a partir de experimentos objetivos vem sendo criticada desde as primeiras décadas do século XX. O entendimento da construção do conhecimento humano, propiciado pela análise histórica, colabora para a superação das visões ingênuas, distorcidas e estereotipadas da Ciência e efetivamente tem o potencial de “contribuir para o desenvolvimento do pensamento crítico [dos] alunos e discutir com os mesmos que as teorias científicas não são definitivas e incontestáveis” (BATISTA *et al.*, 2008, s/n).

Não obstante, essa História da Ciência (HC), para alcançar esses objetivos, deve ter como cerne as atuais concepções historiográficas, que consideram toda a complexidade que está envolvida na construção do conhecimento científico e também os contemporâneos “aspectos da natureza da Ciência considerados consensuais” pelos pesquisadores para educação científica (OKI, 2006, p. 113). Reconstruções históricas de diferentes episódios constituem importantes meios para entender como a Ciência se desenvolve e progride (GIERE, 1999, 2006; KITCHER, 2007). O conceito de Ciência e o seu progresso são uma parte importante do entendimento da Natureza da Ciência (NdC), que será discutido a seguir.

## **2.2 – Aspectos da Natureza da Ciência e o Ensino de Química**

A Ciência não é um empreendimento simples e linear. A natureza complexa e multifacetada da dinâmica do empreendimento científico faz com que não exista uma definição única para a Natureza da Ciência (NdC), entretanto, para filósofos, historiadores, sociólogos e educadores de Ciências, essa falta de consenso não é um problema (OSBORNE *et al.*, 2003). Alters (1997), em sua análise a respeito do tema, deixa claro que não é possível pensar em uma única definição da natureza da Ciência.

No contexto atual, é possível se observar duas visões distintas a respeito do que significa Natureza da Ciência, que vêm sendo debatidas entre os pesquisadores da área. Em uma vertente, tem-se a ideia de que é necessário discutir junto a/aos estudantes e docentes um conjunto de aspectos ditos “consensuais” a respeito da Natureza da Ciência. Esses aspectos seriam constituídos por uma lista de princípios claros e objetivos do que está envolvido na construção do conhecimento científico.

Em outra vertente, há aqueles que criticam esta ideia, preferindo abordar o conceito de “semelhança familiar” (*Family resemblance*). Defendida por autores como Irzik e Nola (2011), nesta perspectiva acredita-se que a Ciência é tão rica e dinâmica que dificilmente poder-se-ia descrevê-la por meio de um conjunto estático de regras ou aspectos provenientes de um consenso. Os autores trabalham com quatro categorias de semelhanças familiares para a Natureza da Ciência: atividades, objetivos e valores, metodologias e regras metodológicas, e produtos. Isto significa, por exemplo, que as áreas da Ciência partilham de semelhanças em seus objetivos ou em seus produtos, como se fossem traços característicos de uma mesma família.

Em relação à primeira vertente, anteriormente citada - cujos principais autores são William F. McComas e colaboradores (1998), Stephen Pumfrey (1991), Daniel Gil-Pérez e colaboradores (2001) e Lederman (2002, 2007) - existe um consenso de que a Ciência pode ser subdividida em: processos científicos, que estão relacionados às atividades de obtenção e interpretação de dados e à derivação de conclusões, e *natureza do conhecimento científico* que abrangem vários campos, especialmente o da epistemologia, que abarca a maneira pela qual o conhecimento científico é construído e o caráter da Ciência (LEDERMAN, 1992). McComas *et al.* (1998) forneceram uma boa descrição geral referente à NdC:

A Natureza da Ciência é uma fértil arena híbrida, que mescla aspectos de vários estudos sociais da Ciência incluindo a história, a sociologia e a Filosofia da Ciência combinada com pesquisa das Ciências cognitivas, tal como a psicologia, em uma descrição rica de como a Ciência se constitui, de como funciona, da maneira como cientistas se operacionalizam como um grupo social e de como a própria sociedade tanto dirige quanto reage aos esforços científicos (McComas *et al.*, 1998, p.4).

Há aspectos da NdC que são corroborados entre muitos especialistas da área (que compartilham da visão consensual da NdC), dentre os quais podem ser citados: a Ciência como conhecimento provisório e empírico, com observações carregadas de teorias, a presença de elementos imaginativos e criativos, socialmente e culturalmente incorporados, que envolvem valores, conhecimentos e experiências anteriores dos cientistas, entre outros (ABD-EL-KHALICK, 1998; OSBORNE *et al.*, 2003).

A seguir, serão discutidos os aspectos inerentes à visão consensual da Natureza do Conhecimento Científico ou Natureza da Ciência.

### 2.2.1 – Aspectos da Natureza da Ciência conforme a visão consensual.

A Natureza da Ciência é entendida como um conjunto de elementos que tratam da construção, estabelecimento e organização do conhecimento científico. Isto pode abranger desde questões internas, tais como método científico e relação entre experimento e teoria, até outras externas, como a influência de elementos sociais, culturais, religiosos e políticos na aceitação ou rejeição de ideias científicas (MOURA, 2014).

A compreensão da NdC é reconhecida como:

[...] uma das características desejáveis de uma pessoa cientificamente alfabetizada, que, em geral, "deve desenvolver uma compreensão dos conceitos, princípios, teorias e processos da Ciência, e uma consciência das complexas relações entre Ciência, tecnologia e sociedade (e) mais importante ... uma compreensão da natureza da Ciência." (Abd-El-Khalick e BouJaoude, 1997, p. 673).

Além do argumento a respeito da alfabetização científica, a compreensão da NdC é considerada um dos preceitos fundamentais para a formação de alunos e professores mais críticos e integrados com o mundo e a realidade em que vivem.

A partir de uma análise de documentos científicos internacionais, McComas *et al.* (1998) resumiram a visão consensual da NdC. Dentre os aspectos da NdC incluem-se:

(1) O conhecimento científico é provisório; (2) O conhecimento científico depende muito, mas não de maneira integral, de observação, de evidências experimentais, de argumentos racionais e de ceticismo; (3) Não há nenhum método científico universal a seguir passo-a-passo; (4) As leis e as teorias desempenham diferentes papéis na Ciência; (5) As observações são carregadas de teoria; (6) Os cientistas são profissionais criativos; (7) A Ciência e Tecnologia têm influência mútua entre si; e (8) ideias científicas são afetadas por seu ambiente social e histórico (McComas *et al.*, 1998, pp. 6-7).

A partir da lista de aspectos consensuais descritos por William F. McComas e colaboradores (1998), Stephen Pumfrey (1991), Daniel Gil-Pérez e colaboradores (2001), é possível reunir tais aspectos em cinco grandes grupos:

- *A Ciência é dinâmica, reversível e mutável, com o objetivo contínuo de explicar os fenômenos naturais.* Os trabalhos desenvolvidos pelos autores supracitados colaboram para corroborar a ideia de que a Ciência e o seu conhecimento não são produtos acabados e que as explicações não são atemporais, além de não se caracterizar como um conjunto de verdades absolutas

que não devem ser questionadas. Pelo contrário, o conhecimento científico não é dogmático e não deve ser acreditado de maneira cega, estando em contínuas mudanças, com reformas internas e revisão de fatos, modelos, teorias e leis.

Essas mudanças são possíveis por meio de desenvolvimentos conceituais e tecnológicos em que as evidências são reinterpretadas com base em ideias teóricas novas ou revistas. A dinâmica e reversibilidade do conhecimento científico influenciam na maneira como as pessoas veem os fenômenos da natureza.

Apesar de mutável, de maneira frequente as novas ideias científicas são recebidas com certo ceticismo, principalmente quando são contrárias a conceitos previamente estabelecidos como explicação para um determinado fenômeno. No entanto, uma vez aceito pela comunidade científica, o novo conceito pode passar a ter bastante durabilidade. Diversas ideias científicas resistiram a desafios, e se mantiveram quase inalteradas por anos e décadas. Dessa forma, crer no conhecimento científico mesmo que este possa ser desenvolvido no futuro é algo a se considerar (LEDERMAN *et al.*, 2002; ABD-EL-KHALIC, 2012).

- *Não existe um método científico universal.* Por meio da História, pode-se observar que a caracterização mais antiga da Ciência moderna se encontrava na relação entre as proposições consideradas científicas e o método utilizado para se atingir estas proposições. O conhecimento científico seria o conhecimento desenvolvido a partir de procedimentos metodológicos únicos e específicos, conjunto este de métodos que ficou conhecido como “método científico”, cuja sistematização inicial é atribuída a Francis Bacon, que viveu entre os séculos XVI e XVII (GALVÃO, 2007). O “método científico” era caracterizado pela observação (experimentação) do objeto a ser estudado e a busca por generalizações indutivistas que explicassem e ou descrevessem os fenômenos observados. (HUME, 2012).

No início do século XX, muitos filósofos começaram a questionar e contrariar a perspectiva positivista de Ciência. Com base em mais de três séculos de História da Ciência, autores como Karl Popper (1993), Thomas Kuhn (2007), Imre Lakatos (1979), Paul Feyerabend (2011), entre outros, evidenciaram incompatibilidades entre a visão positivista da Ciência e a construção histórica do conhecimento científico, e que o método indutivo, usado nas generalizações das proposições científicas, não caracterizava um procedimento confiável (POPPER, 1993). Evidenciaram, ainda, que o conhecimento científico não seria completamente objetivo, visto que os cientistas usariam muitas preferências idiossincráticas em suas escolhas e, portanto,

a Ciência seria construída também com base em muitos fundamentos metafísicos (LAKATOS, 1979). Apontaram também que, historicamente, grandes desenvolvimentos na Ciência aconteceram no momento em que cientistas abandonaram o “método científico” universal e adotaram uma metodologia nova, ou algum procedimento diferente do padronizado e convencional (FEYERABEND, 2011).

Ao contrário das visões de senso comum, os pesquisadores da área de Epistemologia da Ciência são consensuais ao concordarem que não existe um conjunto de regras universais e um método único para atingir proposições de pesquisa. As metodologias utilizadas podem ser diferentes, podendo ter resultados distintos e que permitam a discussão e negociação de explicações ou descrições de um determinado fenômeno. Um mesmo fenômeno pode ser estudado e compreendido de maneiras distintas, sendo todas coerentes dentro dos limites de validade dos métodos e concepções utilizados para estudá-lo (MOURA, 2014).

Matthews (1995, p. 165) acredita que a História e a Filosofia da Ciência (HFC) pode —melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da Ciência mais rica e mais autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das Ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas. Assim, HFC pode auxiliar na compreensão da NdC e das relações CTS.

*- A teoria não é consequência da observação/experimento e vice-versa.* A partir do senso comum, acredita-se que as teorias científicas sejam derivadas de maneira rigorosa da obtenção dos dados da experiência adquiridos por observação e experimento. Dessa forma, os experimentos seriam uma prova da teoria (MOURA, 2014; CHALMERS, 2007). Além disso, segundo o conhecimento de senso comum, a Ciência se baseia no que o observador pode ver, ouvir e tocar; opiniões, preferências e suposições especulativas não têm espaço na Ciência; e o conhecimento científico é confiável por ser provado objetivamente, pois a Ciência é objetiva. Esta visão é bastante influenciada pela ideia de existência de um método universal na Ciência, defendida por Francis Bacon.

No entanto, diversos autores modernos refutam essa concepção de Ciência, uma vez que a relação entre teoria e experimentação é mais complexa. O indutivismo ingênuo admite que a observação deve ser controlada, precisa e sem preconceitos e que os sentidos deste observador não-preconceituoso são suficientes

para justificar, de maneira direta, como verdadeiras, as afirmações a respeito do estado do mundo. Chalmers (2007), por sua vez, argumenta que as observações não são isentas de expectativas, desmistificando o indutivismo ingênuo. A Ciência desenvolve modelos, explicações, conceitos a respeito do mundo natural e tem seu alicerce em saberes, metodologias, pressupostos epistemológicos, sociológicos e filosóficos da Ciência (MOURA, 2014).

- *A Ciência é influenciada pelo contexto social, cultural e político no qual ela é construída.* A Ciência é uma atividade humana e, por isso, provisória, política e não-neutra. Dessa forma, estudos sociológicos são importantes na construção e no desenvolvimento da Ciência. Thomas Kuhn foi um dos responsáveis por romper com a divisão de tarefas entre filosofia e sociologia da Ciência (essa divisão caracterizava a filosofia como preocupada com critérios impessoais e universais de racionalidade e a sociologia como campo que estuda a Ciência como instituição). Kuhn também inter-relacionou, em sua teoria, a Sociologia, a História e a Filosofia. Emergiu, então, o Programa Forte em Sociologia (decorrente da obra de Kuhn), cujos principais nomes são David Bloor e Barry Barnes.

Segundo Neves e Pinto (2013), Bloor argumenta que a sociologia pode ser usada para entender tanto o erro como o conhecimento certificado. Para tanto, o autor admite quatro princípios básicos para a pesquisa sociológica do conhecimento científico. Esses princípios são:

a) a causalidade, quer dizer, a sociologia se deve interessar pelas condições que ocasionam as crenças ou os estados de conhecimento; b) a imparcialidade quanto à verdade e o erro, racionalidade e irracionalidade, isto é, ambos os lados podem e devem ser explicados sociologicamente; c) a simetria, ou seja, tanto a verdade quanto o erro devem ser tratados segundo os mesmos tipos de causa; e d) a reflexividade, afinal, uma disciplina que propõe a explicação do conhecimento, através de suas variáveis sociais, deve entender que essas variáveis influenciam a produção sociológica; desse modo, a sociologia deve aplicar tais princípios a si mesma. (NEVES E PINTO, 2013, p. 347)

Bloor (2009) defende que no processo de produção de conhecimento existe uma relação entre fatores sensoriais e sociais, a crença resultante depende diretamente de ambos. O conhecimento é relativo às concepções e, ainda, à experiência. Esses dois fatores são interdependentes, já que a experiência sensorial não constitui propriamente o conhecimento, e não basta crer para que a crença se transforme em conhecimento sancionado.

- *Os cientistas utilizam imaginação, crenças pessoais, influências externas, entre outros para fazer Ciência.* Há uma noção de que o cientista está alienado e

inerte à influência do mundo ao ser redor, realizando seu ofício de maneira neutra, isenta de crenças e imparcial. No entanto, a partir da análise do desenvolvimento científico, o cientista se apresenta como um ser humano comum, passível de erro, interpretações carregadas de teorias, crenças e expectativas para desenvolver e corroborar suas ideias, não havendo um perfil único e estereotipado do cientista. O cientista é contemporâneo à sua sociedade e por isso sofre influência do seu contexto.

### 2.2.2 – A Natureza da Ciência e o Ensino de Ciências

A educação escolar tradicional e a mídia têm contribuído para a disseminação de uma visão dogmática e preconceituosa da Ciência, que provém do desconhecimento histórico e metodológico do processo de produção do conhecimento científico. A visão do aluno a respeito da NdC é em grande parte influenciada pela maneira como os manuais e livros apresentam a Ciência, desde o ensino básico (fundamental e médio) até a Universidade. Uma abordagem ahistórica e acrítica dos conteúdos tem predominado e a seleção dos conteúdos tem priorizado somente os conceitos, ignorando-se o fato de serem síntese de um processo histórico (OKI, 2006).

Matthews (2015) enfatiza a NdC como multidisciplinar e aponta as dificuldades envolvidas na sua introdução na sala de aula:

A ciência é empreendimento humano e, portanto, historicamente incorporado, de busca da verdade que tem muitas características: cognitivas, sociais, comerciais, culturais, políticas, estruturais, éticas, financeiras, psicológicas etc. Todas estas características são dignas de estudo por parte de estudantes de Ciência, bem como por especialistas disciplinares, e as diferenças tornam-se foco mais claro quando são consideradas diferentes Ciências, e ao se considerar aspectos da história, as realizações e as práticas da diferentes Ciências. (p. 388)

A fim de abandonar imagens distorcidas, o Ensino de Ciências deve proporcionar ao estudante uma atitude reflexiva e crítica, de forma que o aluno conheça, não apenas os conteúdos científicos, mas também seus pressupostos, sua validade e influência contextuais (FORATO, 2009). Esse conhecimento contextualizado da Ciência, a partir de uma discussão a respeito da construção do conhecimento científico e sua relação com a cultura e com a sociedade proporciona um conhecimento mais coerente dos conteúdos e processos que caracterizam o trabalho científico (REIS, 2004).

As pesquisas em Ensino de Ciências vêm discutindo diversas justificativas para a utilização da NdC no ensino: a necessidade de manipulação e de entendimento da tecnologia, a compreensão da Ciência como produto cultural, o sucesso no aprendizado de conteúdos da Ciência, a satisfação em estudar a Ciência, entre outros (FERREIRA, 2009). Talvez a forma mais concisa de explicar a importância do entendimento a respeito da NdC seja remeter aos cinco argumentos fornecidos por Rosalind Driver, John Leach, Robin Millar e Phillip Scott (1996), destacados também por Lederman (2007). De acordo com Driver e colaboradores, o entendimento a respeito da NdC se faz necessário conforme as perspectivas:

- Utilitarista: para a Ciência fazer sentido e para habilitar ao gerenciamento dos objetos e processos tecnológicos na vida cotidiana.
- Democrática: para a tomada de decisões esclarecidas a respeito de questões sócio-científica.
- Cultural: para apreciar o valor da Ciência como parte da cultura contemporânea
- Moral: para desenvolver uma compreensão das normas da comunidade científica que incorporam os compromissos morais que são de interesse geral e valor para a sociedade.
- Econômica: para qualificar os cientistas a fim de manterem e desenvolverem o processo industrial, do qual a prosperidade nacional depende (DRIVER, LEACH, MILLAR E SCOTT, 1996, p. 23).

De acordo com Lederman *et al.* (2002), resultados de pesquisas em relação às concepções de estudantes a respeito da NdC, no que se refere à variação na metodologia demonstram que alunas e alunos geralmente apresentam noções inadequadas em relação a essa natureza (LEDERMAN, 1992; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 1998). Lederman *et al.* (2002) e Lederman (2007) buscaram identificar, por meio do instrumento de obtenção de dados VNOS-C (*The Views of Nature of Science – Form C*), os aspectos de NdC interessantes a serem trabalhados no ensino. Os trabalhos estabeleceram um programa de pesquisa a respeito da NdC que foi bastante influente nas pesquisas relacionadas ao tema nos últimos anos. Segundo Lederman (2007), os aspectos da NdC a serem trabalhados no Ensino de Ciências podem ser classificados conforme as descrições que se seguem no Quadro 6.

Quadro 6 - Aspectos da NdC segundo a visão consensual (LEDERMAN, 2007)

Aspecto da NdC	Descrição
<i>Observação e inferência ou a natureza empírica da Ciência</i>	Os estudantes deveriam entender a distinção crucial entre observação e inferência. Observações são declarações descritivas a respeito de fenômenos que são “diretamente” acessíveis aos sentidos (ou extensões dos

	sentidos) e em relação às quais alguns observadores conseguem atingir certo consenso com relativa facilidade. Inferências, por sua vez, vão além dos sentidos. Em um nível mais elevado, um cientista pode inferir modelos ou mecanismos que expliquem observações de um fenômeno complexo.
<i>Relação entre leis e teorias científicas</i>	<p>Existe uma distinção entre teorias e leis científicas. Geralmente tem-se a visão simplista da relação hierárquica entre teorias e leis pelo fato de teorias poderem se tornar leis, dependendo da disponibilidade de evidências que as suportem. Como consequência, segue-se a noção que as leis científicas possuem uma posição superior em relação às teorias científicas.</p> <p>Ambas as noções, no entanto, são inapropriadas, pois, dentre outras coisas, teorias e leis são entidades de conhecimento diferentes, e uma se transforma ou se desenvolve em outra. Leis são declarações ou descrições de relações entre fenômenos observáveis. Teorias, por sua vez, são explicações inferidas para fenômenos observáveis. Modelos científicos são exemplos comuns de teoria e inferência na Ciência. Além disso, teorias são produtos tão legitimados da Ciência como as leis. Cientistas não formulam teorias com a expectativa que um dia se transformem em leis.</p>
<i>A construção do conhecimento científico envolve criatividade e imaginação</i>	Apesar do conhecimento científico se basear em observações do mundo natural, este também envolve a imaginação e criatividade humanas. A Ciência, ao contrário da crença comum, não é uma atividade sem vida, racional e ordenada. A Ciência envolve a invenção de explicações, e requer grande dose de criatividade por parte de cientistas. Este aspecto da Ciência, aliado à sua natureza inferencial, implica que conceitos científicos, tais como átomos, buracos negros e espécie, são modelos teóricos funcionais ao invés de cópias confiáveis da realidade.
<i>O conhecimento científico é subjetivo e carregado de teoria</i>	Compromissos teóricos, crenças, conhecimentos prévios, formação, experiências e expectativas dos cientistas influenciam o seu trabalho. Todas essas experiências resultam em uma mentalidade que afeta os problemas que cientistas investigam e a maneira na qual conduzem suas investigações, o que observam (e não observam), e como as observações fazem sentido, além da interpretação de suas observações. É esta individualidade (às vezes um pensamento coletivo compartilhado) que explica o papel da subjetividade na produção de conhecimento científico. É de salientar que, ao contrário da crença comum, a Ciência raramente inicia com observações neutras. Observações (e investigações) são motivadas e guiadas por questionamentos e problemas que, por sua vez, são derivados de determinadas perspectivas teóricas. Muitas vezes, hipóteses ou modelos de

	teste servem como guia para investigações científicas.
<i>A Ciência é um empreendimento humano e está inserido na cultura</i>	A Ciência influencia e é influenciada por vários elementos e esferas intelectuais da cultura na qual está inserida. Estes elementos incluem, dentre outros, estruturas sociais, estruturas de poder, política, fatores socioeconômicos, filosofia e religião.
<i>O conhecimento científico é provisório</i>	O conhecimento científico nunca é absoluto ou certo. Esse conhecimento, que inclui fatos, teorias, e leis, é sujeito a mudança. Afirmações científicas mudam conforme novas evidências são confrontadas com teorias ou leis existentes, ou antigas evidências são reinterpretadas à luz de novos desenvolvimentos teóricos ou de mudanças de direção de programas de pesquisa já estabelecidos.
<i>Investigação científica e NdC são aspectos da Ciência distintos entre si</i>	Embora esses aspectos se sobreponham e interajam de diferentes maneiras, é relevante diferenciá-los. Processos científicos são atividades relacionadas à obtenção e à análise de dados, e elaboração de conclusões (por exemplo, observação e inferência são processos científicos). Mais complexa que processos individuais, a investigação científica envolve diversos processos científicos usados de maneira cíclica. Por outro lado, a NdC refere-se a fundamentos epistemológicos de atividades científicas e a características do conhecimento produzido.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2017)

O entendimento da NdC no ensino de Química é uma tarefa complexa e tem sido objeto de controvérsias consideráveis na literatura da educação científica, além de ser um dos objetivos chave da educação em Química (VESTERINEN, 2012; NIAZ, 2016). A Filosofia da Química, que examina a natureza distintiva do conhecimento e da prática química e destaca o domínio de especificidade do conhecimento e cultura da Química (ERDURAN e SCERRI 2002; DALGETY *et al.*, 2003), pode ser utilizada para caracterizar descrições específicas de contexto de natureza da Química.

Ainda há falta de evidências em relação ao quanto é influente a compreensão epistemológica de docentes na aprendizagem de Ciências por estudantes, mas a necessidade da Filosofia da Química na formação destes/as tem sido justificada pelo fato dela possibilitar o entendimento da epistemologia da Química que auxilia na coordenação do conteúdo a ensinar:

Schwab (1962) argumenta que a especialidade em ensinar requer tanto o conhecimento do conteúdo de domínio quanto o conhecimento da epistemologia desse domínio. Professores desenvolvem a capacidade

necessária de transformar o assunto em um conteúdo ensinável quando conhecem como o conhecimento disciplinar é estruturado. O desafio enfrentado pela formação de professores é a pequena exposição a questões do conhecimento químico por trás do conhecimento do conteúdo (ENDURAN *et al*, 2003, p. 986)

Bektas *et al.* (2013) desenvolveram um estudo para aprimorar o entendimento de NdC de sete professores de química em formação na Turquia. O objetivo do estudo foi o de facilitar a compreensão dos professores de dois elementos da NdC (relação entre leis e teorias e natureza experimental da Ciência), no contexto da natureza particulada da matéria.

Na Turquia, o currículo não inclui o estudo específico de NdC, e, por isso, os autores decidiram incorporar elementos de NdC no curso de Química. Três semanas de curso (12 horas de sala de aula) foram dedicadas ao ensino de NdC. Durante esse período, as/os estudantes conduziram atividades relacionadas com aspectos da NdC, tais como "Nova Sociedade" (CAVALLO, 2008) e "A Atividade dos Cubos" (LEDERMAN E ABD-EL-KHALICK, 1998). Após as atividades os alunos participaram de discussões e responderam perguntas abertas, seguidas de entrevistas. Os resultados obtidos mostraram um aprimoramento no entendimento de NdC por parte dos alunos. Por exemplo, um estudante afirmou que a lei de proporções fixas foi primeiramente declarada por Proust, em seguida, Dalton propôs seu modelo atômico usando resultados desta lei, que foi considerado um aspecto da NdC que diz respeito às leis e às teorias.

Outro estudante sugeriu uma abordagem de ensino baseada na ênfase nas diferenças entre os processos de pensamento de Aristóteles, Demócrito e Dalton, Thompson, Rutherford e Bohr, que mostra como as teorias não são necessariamente "verdadeiras" e podem mudar continuamente.

Quando se trabalha uma temática interdisciplinar como a Termodinâmica Química proposta neste trabalho, os/as educandos/as precisam conhecer a natureza desse conhecimento para criar instrumentos mentais de organização das informações conforme os princípios da AS. Para que se permita uma visão global dos conceitos e significados termodinâmicos, é necessário desenvolvê-los e entendê-los de uma maneira interdisciplinar, e dessa forma as questões interdisciplinares são de relevância na construção de uma abordagem significativa à estrutura cognitiva dos estudantes, o que caracteriza o cerne desta Tese.

### **2.3 - A Interdisciplinaridade no conceito de Termodinâmica: integração entre Física, Química e Engenharia**

O ensino disciplinar tem sido desenvolvido desde o século XIX, como resultado da expansão da sociedade urbana e reflexo da Revolução Industrial. Já na década de 1950, o ensino técnico passou a ser fortalecido na Europa e principalmente nos Estados Unidos, no contexto de desafios técnico-científicos da Guerra Fria e da incorporação de sistemas de produção industriais aos sistemas político-econômicos. A disciplinaridade pode ser caracterizada como reflexo do modo de produção capitalista. A compartimentalização do conhecimento em disciplinas no currículo está relacionada à especialização e à divisão do trabalho impulsionada pelo processo de industrialização.

A fragmentação do conhecimento em disciplinas teve como objetivo atender às demandas da sociedade em determinado contexto. Dessa forma, para atender as exigências da sociedade contemporânea, o conhecimento precisa passar por um processo de reconstrução, processo este que está relacionado a uma modalidade interdisciplinar. No entanto, o conhecimento disciplinar não deve ser abandonado em função do mundo contemporâneo (MOREIRA e MACEDO, 2006). A estrutura disciplinar foi decorrente de um modelo de Educação em Ciências com foco na profissionalização especializada (BATISTA E SALVI, 2006).

Ainda segundo as autoras Batista e Salvi (2006) uma das justificativas para o fato de as Ciências disciplinares serem priorizadas nessa época recai na formação de especialistas para exercerem as funções de ensino, pois antes da década de 1950 era rotineiro que o mesmo docente ministrasse diversas disciplinas em níveis diferenciados. O ensino se tornou cada vez mais reservado às especialidades compartimentadas.

Nesse sentido, Fourez (1997) define que, no paradigma disciplinar:

Uma disciplina científica é um ramo do conhecimento que estuda uma série de situações desde uma perspectiva particular, sustentada por teorias, pressuposições, rede de cientistas, instituições, controles sociais, aparatos de medição, tecnologias, publicações, diplomas universitários, etc. Pode ser especialmente analisada por um lado pelo caminho das pressuposições (de seu paradigma) e, por outro lado, pelo exame da estrutura social e institucional que veicula e que a tem criado. Uma disciplina científica opera modelizações de um tipo específico. Por exemplo, a biologia modelizará situações de amor de maneira diferente que a psicologia ou a sociologia. (p.46)

Veríssimo (2001) analisou a emergência da mudança paradigmática no âmbito social, pedagógico e epistemológico do modelo moderno de disciplinarização para um interdisciplinar pós-moderno. Em sua análise, a perspectiva histórica tem apresentado o anacronismo da educação e das atividades universitárias frente às atuais conformações socioculturais, a despeito da vertente do neoliberalismo. Para a autora, interdisciplinaridade resume-se a uma postura política e epistemológica na medida em que essa se refere à inserção de saberes plurais, não apenas na forma de folclore e expressões artístico-culturais ou como objeto de ensino e pesquisa, ou, ainda, como receptores de atividades de extensão e prestação de serviços.

Na década de 60, a Europa passava por um período de crise política e social, os movimentos estudantis questionavam a alienação do Ensino Superior em relação às questões sociais da época e a América do Sul buscava caminhos para a implantação da democracia, por meio de protestos contrários aos regimes ditatoriais instalados no continente. Segundo afirma Fazenda (1994), foi nesse contexto que surgiu a interdisciplinaridade na França e Itália:

O movimento da interdisciplinaridade surge na Europa, principalmente na França e na Itália, em meados da década de 1960 [...], época em que se insurgem os movimentos estudantis, reivindicando um novo estatuto de universidade e de escola (FAZENDA, 1994, p. 18).

Segundo Fazenda (1994), a interdisciplinaridade foi concebida como opositora a todo o conhecimento que privilegiava o capitalismo epistemológico de certas Ciências, como oposição à alienação da Academia às problemáticas externas cotidianas, às organizações curriculares que expressavam a demasiada especialização e a toda e qualquer proposta de conhecimento que incitava o olhar do aluno numa única, restrita e limitada direção, a uma patologia do saber.

A Interdisciplinaridade foi introduzida na Educação por meio de proposta de lei em 1971 (Lei de Diretrizes e Bases Nº 5672/71), a fim de promover a qualidade da área. No entanto, a interdisciplinaridade encontrava obstáculos e dilemas a serem superados para a sua introdução nas ações pedagógicas (FAZENDA E GODOY, 2014). O conceito influenciou a legislação educacional brasileira, e assim como acontece com várias “tendências importadas” que são assimiladas de maneira rápida pelo sistema educacional, não houve um trabalho minucioso a respeito das peculiaridades do sistema de ensino brasileiro, por meio da reflexão. Fazenda (1994) critica a conotação ideológica da interdisciplinaridade a serviço dos propósitos

governistas no período da ditadura militar brasileira, assim como ocorreu com propósitos ideológicos franceses.

Em nome da interdisciplinaridade, todo o projeto de uma educação para a cidadania foi alterado, os direitos do aluno/cidadão foram cassados, através da cassação aos ideais educacionais mais nobremente construídos. Em nome de uma integração, esvaziaram-se os cérebros das universidades, as bibliotecas, as pesquisas, enfim toda a educação. Foi tempo de silêncio, iniciado no final dos anos 50 que percorreu toda a década de 1960 e a de 1970. Somente a partir de 1980 as vozes dos educadores voltaram a ser pronunciadas. A interdisciplinaridade encontrou na ideologia manipuladora do Estado seu promotor maior. Entorpecido pelo perfume desse modismo estrangeiro, o educador se omitiu e nessa omissão perdeu aspectos de sua identidade pessoal. (FAZENDA, 2004, p. 30)

No final dos anos 1970 o ensino multidisciplinar passou a ser valorizado devido à necessidade de uma aproximação com a realidade social mais global e com as origens dos/as educandos/as. Essa mudança deparou-se com dois desafios: o primeiro é referente à formação docente que promovia a construção da identidade profissional com base na disciplinarização, o que causava resistência na construção do caráter interdisciplinar do ensino; o segundo é referente à falta de bases epistemológicas para desenvolver práticas interdisciplinares. Com o desenvolvimento de investigações teóricas e empíricas incorporou-se a interdisciplinaridade ao ensino (década de 1980). No entanto, desde essa época a temática interdisciplinar não deve atuar somente no papel social de aprimoramento da alfabetização, por exemplo; existe a eminente necessidade de conhecer a importância e função da interdisciplinaridade na construção do conhecimento quando do processo de ensino e aprendizagem (BATISTA E SALVI, 2006).

Atualmente, o Ensino Médio tem sido foco de debates porque a presença de recursos científicos e tecnológicos fez surgir necessidades adicionais e diferentes em relação ao ensino tradicionalmente desenvolvido. A complexidade dessas questões vem incentivando discussões a respeito da Educação Científica que prepare o educando para a cidadania, preparação na qual a interdisciplinaridade pode ser identificada como importante recurso. A participação de disciplinas de Ciências da Natureza, matemática e até outras disciplinas não relacionadas às anteriores pode contribuir para a abrangência e profundidade de ações de ensino interdisciplinares (LAVAQUI E BATISTA, 2007).

Já o Ensino Superior, por sua vez, apresenta resistências<sup>9</sup> maiores para o desenvolvimento de ações pedagógicas que sejam interdisciplinares de maneira integral. O Ensino Superior é caracterizado, atualmente, pela relação submissa com a Ciência e a técnica, mascarando a formação produtivista com elementos técnicos. A abordagem interdisciplinar acaba sendo inimiga à produtividade, impedindo a comunicação formal e hermética instituída nas publicações acadêmicas (PONDÉ, 2013). De acordo com Caggy e Fischer (2014) a trajetória desenvolvida pelo educando no período universitário é atualmente caracterizada por vivência compartimentalizada de conhecimentos, representada pelo aprendizado disciplinarizado de diversos campos do saber ao longo de sua formação.

As tentativas em busca de um consenso em relação às terminologias relacionadas com a interdisciplinaridade possuem marcos históricos definidos. Em dezembro de 1969, especialistas da Alemanha, França e Grã-Bretanha reuniram-se a fim de elaborar um relatório relacionado a essa perspectiva consensual. Esse estudo inicial, segundo Fazenda (1992, p. 26) apresentou

[...] a falta de uma precisão terminológica pelo preconceito no trato de questões referentes à integração e pelo desconhecimento mesmo da necessidade de certos pressupostos básicos para a interdisciplinaridade (FAZENDA, 1992, p. 26).

Um novo encontro foi realizado posteriormente, em fevereiro de 1970, com o intuito de esclarecer questões que ainda eram pendentes em relação ao primeiro consenso desenvolvido. Esse encontro resultou no estabelecimento de um marco de referência para a busca dos significados de disciplina, multidisciplinaridade, interdisciplinaridade e transdisciplinaridade, apresentando as seguintes definições:

Disciplina – conjunto específico de conhecimentos com suas próprias características sobre o plano do ensino, da formação dos mecanismos, dos métodos, das matérias.

Multidisciplinaridade – justaposição de disciplinas diversas, desprovidas de relação aparente entre elas. Ex.: música + matemática + história.

Pluridisciplinaridade – justaposição de disciplinas mais ou menos vizinhas nos domínios do conhecimento. Ex: domínio científico: matemática + física.

Interdisciplinaridade – interação existente entre duas ou mais disciplinas. Essa interação pode ir da simples comunicação de ideias à integração mútua dos conceitos diretores da epistemologia, da terminologia, da metodologia, dos

---

<sup>9</sup> Embora a teoria da reprodução cultural e social tenha avançado em muitos sentidos à análise social da educação e da escola, ela não conseguiu dar conta dos aspectos contraditórios inerentes a toda e qualquer prática social. Todo o processo de dominação é antes de mais nada um processo caracterizado por conflitos, por tensões, por tentativas de resistência (GIROUX. 1981, a e b). Segundo Giroux, (1981 a e b, 1983), a teoria da resistência é entendida a partir de três conceitos básicos: ideologia, hegemonia e cultura. Um dos principais pressupostos subjacentes à teoria da resistência é a existência concreta de contradições na realidade social.

procedimentos, dos dados e da organização referentes ao ensino e à pesquisa. Um grupo interdisciplinar compõe-se de pessoas que receberam sua formação em diferentes domínios do conhecimento (disciplinas), com seus métodos, conceitos, dados e termos próprios.

Transdisciplina – resultado de uma axiomática comum a um conjunto de disciplinas (ex. Antropologia considerada como a “ciência do homem e de suas obras”, segundo a definição de Linton) (MICHAUD, 1972 apud FAZENDA, 1992, p. 27).

Apesar das concepções de interdisciplinaridade sofrerem pequenas alterações conforme o autor ou autora, é possível observar que todas elas se fundamentam na relação entre as disciplinas ou áreas do conhecimento. Nesse caso, as diferenças se caracterizam no grau dessa relação ou da finalidade do empreendimento interdisciplinar. Santomé (1998) apresenta em sua obra algumas das principais classificações de interdisciplinaridade aceitas. Dentre elas, uma proposta que contribuiu para a sistematização da terminologia e dos níveis de hierarquização da interdisciplinaridade foi desenvolvida por Jean Piaget, que apresentou uma distinção de três graus de organização e integração entre as disciplinas:

1. Multidisciplinaridade. O nível inferior de integração. Ocorre quando, para solucionar um problema, busca-se informação e ajuda em várias disciplinas, sem que tal interação contribua para modificá-las ou enriquecê-las. Esta costuma ser a primeira fase de constituição de equipes de trabalho interdisciplinar, porém não implica que, necessariamente, seja preciso passar a instâncias de maior cooperação.

2. Interdisciplinaridade. Segundo nível de associação entre disciplinas, em que a cooperação entre várias disciplinas provoca intercâmbios reais, isto é, exige verdadeira reciprocidade nos intercâmbios e, conseqüentemente, enriquecimentos mútuos.

3. Transdisciplinaridade. É a etapa superior de integração. Trata-se da construção de um sistema total, sem fronteiras sólidas entre as disciplinas, ou seja, de uma teoria geral de sistema e estruturas, que inclua estruturas operacionais, estruturas de regulamentação e sistemas probabilísticos, e que una estas diversas probabilidades por meio de transformações reguladas e definidas (PIAGET, 1972 apud SANTOMÉ, 1998, p. 70).

Japiassú (1976), por sua vez, apresenta classificações dos sucessivos graus de relação entre as disciplinas que conduzem à interdisciplinaridade na pesquisa. A classificação mais aceita, no entanto, foi proposta por Erich Jantsch (apud. Japiassú, 1976), e é caracterizada por três níveis, conforme descrição a seguir:

1. Multidisciplinaridade: Descrição geral: gama de disciplinas que propomos simultaneamente, mas sem fazer aparecer as relações que podem existir entre elas.

Tipo de sistemas: sistema de um só nível e de objetivos múltiplos; nenhuma cooperação.

2. Pluridisciplinaridade: Descrição geral: justaposição de diversas disciplinas situadas geralmente no mesmo nível hierárquico e agrupadas de modo a fazer aparecer as relações existentes entre elas.

Tipo de sistema: sistema de um só nível e de objetivos múltiplos; cooperação, mas sem coordenação.

3. Interdisciplinaridade: Descrição geral: axiomática comum a um grupo de disciplinas conexas e definida no nível hierárquico imediatamente superior, o que introduz a noção de finalidade.

Tipo de sistema: sistema de dois níveis e de objetivos múltiplos; coordenação procedendo do nível superior.

4. Transdisciplinaridade: Coordenação de todas as disciplinas e interdisciplinas do sistema de ensino inovado, sobre a base de uma axiomática geral [destina-se a um] sistema de níveis e objetivos múltiplos; [há] coordenação com vistas a uma finalidade comum dos sistemas (JANTSCH, 1972 apud JAPIASSU, 1976, p. 73-74).

Segundo Japiassú (1976), a diferença da interdisciplinaridade das outras duas modalidades supracitadas é a intensidade das trocas entre os especialistas e o grau de integração real das disciplinas, por exemplo, em um determinado projeto de desenvolvimento de pesquisa. Para o autor, a multi e a pluridisciplinaridade são resultados do trabalho de especialistas de duas ou mais disciplinas; ocorre mediante uma justaposição de seus trabalhos, não havendo integração conceitual e metodológica, por exemplo.

Já a proposta interdisciplinar é uma modalidade que se pauta no intercâmbio de instrumentos metodológicos, esquemas conceituais e análise de vários ramos do conhecimento, a fim de fazê-los interagirem e convergirem, depois de terem sido comparados e julgados. Em um processo com caráter de interatividade, duas ou mais disciplinas iniciam, de maneira concomitante, um diálogo em igualdade, não havendo a supremacia de uma em relação às demais. As trocas são, dessa forma, recíprocas, tendo como consequência o enriquecimento mútuo. Os axiomas e métodos são colocados em comum, fazendo emergir uma nova disciplina, como a bioquímica, geopolítica, biomecânica, psicopedagogia, biotecnologia. O processo de construção da interdisciplinaridade não é caracterizado por soma nem por mistura, mas sim uma combinação de disciplinas que está a serviço de novos campos de problemas.

Um outro nível hierárquico, presente na proposta de Erich Jantsch, está relacionado à denominada *disciplinaridade cruzada* que, para Fazenda (1992), coloca-se de forma intermediária entre a pluridisciplinaridade e a interdisciplinaridade, e estaria definida como a axiomática de uma só disciplina, imposta a outras disciplinas do mesmo nível hierárquico.

Outro conceito de interdisciplinaridade, que será adotado nesta investigação é apresentado por Ivani Fazenda. A autora desenvolve a ideia de interdisciplinaridade como uma relação de reciprocidade, de mutualidade, ou melhor, um regime de copropriedade que possibilita o diálogo entre os interessados. Dessa forma, pode-se dizer que a interdisciplinaridade depende de uma atitude, traduzida entre o diálogo dos interessados e co-responsáveis pela construção de um determinado processo interdisciplinar. A colaboração entre as diversas disciplinas conduz a uma “interação”, dependendo basicamente de uma atitude cuja tônica primeira será o estabelecimento de uma intersubjetividade. (FAZENDA, 1992)

As diferentes propostas apresentadas são tentativas de definições conceituais para a interdisciplinaridade por meio de nomenclaturas hierárquicas que se delimitam por ordens de complexidade das relações estabelecidas entre disciplinas científicas e são direcionadas à pesquisa científica. No entanto observa-se que não há consenso em relação à abordagem teórico-metodológica que seria mais adequada, mesmo com a evolução das sistematizações.

### 2.3.2 – As relações entre a Interdisciplinaridade científica e a Interdisciplinaridade educativa

A discussão a respeito da temática da interdisciplinaridade tem sido direcionada por dois grandes enfoques: o epistemológico e o pedagógico, ambos envolvendo ora conceitos diferenciados ora complementares. Em relação à epistemologia, seu estudo é categorizado em função do conhecimento em seus aspectos de produção, reconstrução e socialização; da Ciência e seus paradigmas; e do método como mediação entre o sujeito e a realidade. Pelo enfoque pedagógico, discutem-se questões de natureza curricular, de ensino e de aprendizagem escolar (THIESEN, 2008).

Na literatura de educação em Ciências e Matemática, o entendimento a respeito da interdisciplinaridade é bastante difuso, com diferentes acepções no que diz respeito desde as bases epistemológicas até as implementações pedagógicas factuais (LAVAQUI e BATISTA, 2007). No entanto, segundo a literatura, existe pelo menos uma posição consensual quanto ao sentido e à finalidade da interdisciplinaridade: ela busca responder à necessidade de superação da visão

fragmentada nos processos de produção e socialização do conhecimento (THIESEN, 2008).

A justificativa para a implementação de práticas interdisciplinares se desenvolve quando há o questionamento a respeito do serviço das disciplinas de Ciências e de Matemática em relação ao contato e introdução dos estudantes nas discussões de cunho científico e tecnológico, principalmente em relação à necessidade de ensiná-los a respeito da utilização do conhecimento científico e tecnológico no cotidiano, contemplando questões sociais e políticas, por exemplo (LAVAQUI e BATISTA, 2007).

Apesar da interdisciplinaridade não ser conceituada de maneira consensual na pesquisa científica e no processo educacional, existe uma distinção entre as naturezas de ambas as práticas interdisciplinares na Ciência e na Educação. Dentre outras particularidades, a concepção de disciplina escolar apresenta significados diferenciados em relação à concepção de disciplina científica. Uma maneira de diferenciar práticas interdisciplinares relacionadas à pesquisa científica e à Educação Escolar pode ser encontrada em Lenoir (1998), que identificou dentre os aspectos diferenciadores: as *finalidades* a que se destinam, os *objetos de estudo*, as *modalidades de aplicação*, o *sistema de referência* e as *consequências* que produzem.

De acordo com Lenoir (1998), a *finalidade* da interdisciplinaridade científica é produzir novos conhecimentos científicos e a tentativa de responder às diversas necessidades sociais, e a interdisciplinaridade escolar tem como finalidade a difusão do conhecimento e a formação de atores sociais, a fim de propiciar a integração de conhecimentos escolares e a aprendizagem. Ainda segundo o autor, é necessário desenvolver a interdisciplinaridade escolar por meio da organização dos conteúdos escolares para desenvolver processos integradores e apropriação de conhecimentos.

Em relação ao *objeto de estudo*, a disciplina científica está relacionada a um conjunto de conhecimentos específicos e que apresenta sua lógica de estruturação interna, com métodos próprios de investigação; já a disciplina escolar, mesmo que envolva conhecimentos provenientes das disciplinas científicas, não pode ser caracterizada como cópia, nem como consequência de um processo de transposição didática (LENOIR, 1998).

A distinção entre as *modalidades de aplicação* relaciona-se com os *objetos de estudo* das interdisciplinaridades científica e escolar, visto que a primeira se direciona à pesquisa científica e tem como referência o conhecimento científico, enquanto a interdisciplinaridade escolar tem relação intrínseca com o ensino, com a formação do estudante e seu sistema de referência está centrado no aprendiz e na relação com o conhecimento (LENOIR, 1998).

Já em relação ao *sistema referencial*, a interdisciplinaridade científica visa um retorno à disciplina na qualidade de Ciência, e a interdisciplinaridade escolar, por sua vez, busca um retorno à disciplina como um saber escolar, sem estar restrita às Ciências (LAVAQUI E BATISTA, 2008).

Os resultados *consequentes* do desenvolvimento da interdisciplinaridade científica se apresentam distintos em relação à interdisciplinaridade escolar. Enquanto a interdisciplinaridade científica pode encaminhar o surgimento de novas disciplinas e de novos empreendimentos técnico-científicos, a interdisciplinaridade escolar, por sua vez, conduz ao estabelecimento de complementaridades entre as matérias escolares (LENOIR, 1998).

A distinção entre o desenvolvimento de práticas interdisciplinares nos campos científico e pedagógico permite observar características importantes que são requeridas quando se pretende articular uma proposta pedagógica interdisciplinar. Uma proposta interdisciplinar articulada no ensino de Termodinâmica permite uma interpretação relacional, em detrimento à memorização e à pura matematização.

### 2.3.3 - A Interdisciplinaridade na Termodinâmica e as relações entre conteúdos científicos de Física, Química e Engenharia

Conforme Jantsch (1972 apud JAPIASSU, 1976) e Fazenda (1992), não é possível desenvolver uma proposta interdisciplinar a partir de um problema disciplinar. Diversas práticas escolares baseadas em problemas científicos e consideradas “interdisciplinares” não apresentam elementos que possibilitem tal caracterização, como, por exemplo, as relações de reciprocidade e de mutualidade, em que a interdisciplinaridade se apresente em um nível hierárquico superior às disciplinas e que estas tenham a mesma axiomática.

Em diversas ocasiões, a organização do currículo escolar baseia-se em práticas multidisciplinares, com justaposição das disciplinas escolares que as

originam. Essa perspectiva multidisciplinar pode ser caracterizada pela ausência de relações significativas entre as disciplinas de origem, e somente uma abordagem de complementariedade.

A Termodinâmica é comumente definida como a ciência que estuda a energia e as suas transformações. A Termodinâmica Clássica caracteriza-se pela aplicação de suas Leis. As diferentes conversões estudadas no desenvolvimento do princípio da conservação de energia, como as observadas por volta (de energia química para energia elétrica), Seebeck (de energia elétrica para transferência de energia térmica), entre outros, constituem situações-problemas envolvendo a mecânica, a eletricidade e a química, por exemplo. A Primeira Lei apresenta o aspecto quantitativo da energia ao passo que a Segunda Lei se refere aos aspectos qualitativos das transformações energéticas.

As Leis da Termodinâmica são comumente ensinadas de maneira fragmentada e descontextualizada, abordando as situações-problema com a perspectiva disciplinar na Química, na Física e na Engenharia. Problemas termodinâmicos relacionados à disciplina de Química costumam ser abordados sob a ótica da termoquímica, com cálculos da entalpia de reação por meio da Lei de Hess, enquanto os problemas relacionados à Física costumam ser relacionados ao cálculo de propriedades de um sistema unicomponente, desconsiderando a complexidade de sistemas nos quais ocorrem reações químicas. Já a Engenharia aborda problemas termodinâmicos sob a perspectiva da matematização (diversas vezes reduzida à prática e à sua aplicação) com um equacionamento excessivo em detrimento à observação da natureza do fenômeno.

Dentre os fenômenos cotidianos que podem ser trabalhados como situações interdisciplinares de aprendizagem, podem-se citar as reações de combustão, as consequências ambientais e emergência de utilização de fontes alternativas de geração de energia, as relações entre a Termodinâmica e as reações que ocorrem em pilhas e dispositivos eletrolíticos, e ciclos energéticos que ocorrem em processos bioquímicos, como a fotossíntese. No entanto, costumam-se abordar as situações relacionadas à utilização de combustíveis de maneira reduzida, como introdução ao que seja uma transformação química ou como exemplo de uma transformação química exotérmica (SILVA e PITOMBO, 2006).

Dessa forma, é necessário desenvolver estratégias no ensino de Termodinâmica Química que propiciem um ensino contextualizado, no qual o aluno

possa vivenciar e aprender com a integração de diferentes disciplinas para promover o entendimento tanto dos processos químicos em si, quanto de um conhecimento químico sem fronteiras disciplinares.

Em relação aos cursos de Engenharia (mais especificamente às Engenharias Química e Mecânica), a Termodinâmica é uma das três disciplinas fundamentais da área térmica, ao lado da Mecânica dos Fluidos e da Transmissão de Calor; muito embora existam pontos de tangência entre as mesmas, cada uma delas apresenta arcabouço conceitual distinto e complementar para a adequada compreensão dos fenômenos térmicos (DIAS, MATTOS e BALESTIERI, 2004).

Ainda conforme os autores, como em qualquer disciplina de fundamentação técnico-científica, na estrutura do curso de Termodinâmica o conteúdo de cada tópico deveria ser explorado em um nível de profundidade adequado à formação dos futuros engenheiros, possibilitando com isso lhes garantir a devida compreensão dos conceitos ali existentes e, posteriormente, exercitá-la com base em potenciais aplicações à vida cotidiana ou à prática de sua profissão. No entanto, ainda conforme Dias, Mattos e Balestieri (2004) observa-se em diversas situações que alguns tópicos são relegados a segundo plano ou seu conteúdo é explorado de forma superficial pela dificuldade dos professores em estabelecer seu significado – e não poucas vezes essa limitação é replicada, seja na vida profissional, seja no processo educacional.

A maneira como as disciplinas se inserem em um currículo escolar e sua abordagem indica a opção pedagógica escolhida para o desenvolvimento de determinado curso. Caso o currículo seja construído de forma fragmentada, o ensino e a aprendizagem provavelmente serão reflexos dessa proposta. Quando o currículo é orgânico, significativo em relação à compreensão dos fenômenos naturais, sociais e culturais, os processos serão epistemologicamente privilegiados, permitindo a aprendizagem e inter-relação de conceitos importantes. A interdisciplinaridade deve ser analisada a partir de novos ângulos e perspectivas na construção do currículo, que, segundo Santos (1996), desmistifiquem a homogeneidade de sua apreensão por parte dos educandos, na produção de saberes, práticas e discursos que ao serem incorporados de modo diferenciado revelem a produção de conteúdos didatizados de maneira interdisciplinar.

Ainda segundo o mesmo autor, um currículo escrito com uma concepção interdisciplinar intencionada depende da formação, interpretação e atuação dos

professores e da maneira como ele será colocado em prática (SANTOS, 1996; CARRILHO, 1999). Segundo Castro (2007, p. 7),

[...] a interdisciplinaridade concebida em um currículo oficial, seja em esfera nacional, institucional ou local, considerando a sala de aula como uma cultura específica que se desenvolve dentro de um contexto escolar determinado ou para além deste; seja na interdiálogo entre o conhecimento científico, o conhecimento escolar e o conhecimento prévio dos educandos; só será possível, se se concretizar na prática.

Apesar de o currículo ter objetivos interdisciplinares, em inúmeras ocasiões isso não ocorre na prática. O que é necessário, então, é desenvolver propostas e práticas interdisciplinares dentro das disciplinas, a fim de promover a difusão do conhecimento e a formação de atores sociais, com o objetivo de integrar conhecimentos escolares e a aprendizagem.

Os planejamentos que utilizam eixos temáticos podem ser uma maneira de superar as limitações para a implementação do ensino interdisciplinar e de trazer o ensino para o contexto da realidade vivenciada pelo aluno, especificamente no Ensino de Ciências. Além disso, o ensino por meio de temáticas favorece o processo de ensino e aprendizagem e também proporciona a formação do caráter de cidadão dos alunos (BRAIBANTE E PAZINATO, 2014). É importante ressaltar que existem similaridades e complementariedades entre categorias didáticas na Educação Básica e Superior, portanto as demandas da interdisciplinaridade em ambiente educativo também abarcam cursos de Graduação.

Segundo as Diretrizes Curriculares Nacionais para os cursos de Engenharia (MEC, 2002, p. 3):

O próprio conceito de qualificação profissional vem se alterando, com a presença cada vez maior de componentes associadas às capacidades de coordenar informações, interagir com pessoas, interpretar de maneira dinâmica a realidade. O novo engenheiro deve ser capaz de propor soluções que sejam não apenas tecnicamente corretas, ele deve ter a ambição de considerar os problemas em sua totalidade, em sua inserção numa cadeia de causas e efeitos de múltiplas dimensões. Não se adequar a esse cenário procurando formar profissionais com tal perfil significa atraso no processo de desenvolvimento.

[...] As tendências atuais vêm indicando na direção de cursos de graduação com estruturas flexíveis, permitindo que o futuro profissional a ser formado tenha opções de áreas de conhecimento e atuação, articulação permanente com o campo de atuação do profissional, base filosófica com enfoque na competência, abordagem pedagógica centrada no aluno, ênfase na síntese e na transdisciplinaridade, preocupação com a valorização do ser humano e preservação do meio ambiente, integração social e política do profissional, possibilidade de articulação direta com a pós-graduação e forte vinculação entre teoria e prática (grifo nosso).

A partir do documento oficial, observa-se que há a expectativa de um egresso formado a partir de uma abordagem centrada no aluno e na transdisciplinaridade, com preocupações relacionadas à valorização do ser humano, preservação do meio ambiente e integração social e política. No entanto, pouco esforço se observa em se desenvolver práticas pedagógicas centradas no aluno. Além disso, apesar de inserir a ideia da transdisciplinaridade, o termo se apresenta estéril, sem uma conceituação no documento.

O curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procopio, passou a ser oferecido no primeiro semestre de 2007, ainda sob a denominação de Engenharia Industrial Mecânica. No Projeto Pedagógico de Curso, cuja última versão é de 2011 (UTFPR-CP, 2011), com recente Proposta de Ajuste (UTFPR-CP, 2015), o termo “interdisciplinar” pode ser encontrado em três diferentes momentos. Na versão de 2011, quando da descrição das atribuições do Núcleo Docente Estruturante (NDE) do curso, observa-se que este é responsável por “zelar pela integração curricular interdisciplinar entre as diferentes atividades de ensino constantes no currículo”. Em relação à Metodologia aplicada nas atividades de desenvolvimento do curso, o termo novamente é encontrado, conforme trecho a seguir:

Continuamente procura-se estabelecer a interdisciplinaridade relacionando conteúdos das diversas disciplinas que compõem o curso. As unidades curriculares da mesma subárea são dispostas em linha, com as disciplinas de formação (ciência básica) no início e as disciplinas profissionalizantes (tecnológicas) nos períodos subsequentes, facilitando a *interdisciplinaridade*, e o relacionamento entre teoria e prática (UTFPR-CP, 2011, p. 21).

O termo “interdisciplinaridade” também é encontrado no texto quando esse se refere ao perfil do egresso esperado pelo curso. Segundo o documento, em função da estrutura curricular proposta, pretende-se que o egresso do curso tenha como perfil profissional “uma visão multidisciplinar e interdisciplinar proporcionada pelo Trabalho de Conclusão de Curso” (UTFPR-CP, 2011, p. 27). Esta caracteriza uma concepção ingênua, uma vez que é inconcebível que o engenheiro egresso desenvolva o pensamento interdisciplinar com base em práticas fragmentadas e utilitaristas.

Apesar do documento norteador de atividades direcionar para a estruturação com base na articulação interdisciplinar, não existe diferenciação hierárquica entre multi e interdisciplinaridade, reduzindo o termo a uma utilização sem fundamentação

epistemológica. O que se observa é que a proposição da interdisciplinaridade se resume ao emprego do termo em diretrizes, mas que as práticas dentro das matrizes curriculares e dentro das disciplinas continuam desarticuladas e fragmentadas.

As ideias de *interdisciplinaridade* costumam ser vagas nos documentos acadêmicos (como os Projetos Pedagógicos de Curso), e não trazem indicações de como planejar e atuar de maneira articulada os conhecimentos interdisciplinares. Não há uma relação de reciprocidade, de mutualidade ou de diálogo entre as áreas e os interessados; em detrimento, há indícios de uma ideia de mera justaposição das disciplinas básicas com as profissionalizantes, o que não caracteriza a interdisciplinaridade de fato, pois falta interação.

Para a efetivação da prática interdisciplinar, seja no Ensino Superior, seja na Educação Básica, é requerido um engajamento contínuo em trabalhos coletivos em que os envolvidos tenham os mesmos objetivos para os processos de ensino e aprendizagem dos estudantes.

Apesar do desafio de modificar currículos para que sejam efetivamente interdisciplinares, é possível desenvolver propostas dentro do paradigma disciplinar, possibilitando a gênese de mudanças nas estruturas curriculares vigentes. Considerando a manutenção de uma estrutura disciplinar, Batista e Salvi (2006) apresentam um entendimento diferenciado, indicando que a prática educativa escolar precisa atribuir maior embasamento epistemológico em relação ao caráter pluralístico contemporâneo. As autoras consideram que em momentos específicos do trabalho pedagógico inserem-se os momentos interdisciplinares como uma maneira de relacionar, articular e integrar os conhecimentos disciplinares no processo de ensino e aprendizagem, propiciando ao educando uma Educação Científica que lhe permita adquirir competências para entender a complexidade e não-linearidade do mundo atual.

A proposta de Momentos interdisciplinares configura-se como uma alternativa para a resolução de problemas que teorias, conceitos e modelos do paradigma moderno não são mais capazes de solucionar. Segundo Santos (2002) esta etapa de rápidas e profundas mudanças é denominada de transição paradigmática, na qual há a mudança de um paradigma moderno para um paradigma pós-moderno, caracterizado pelo pensamento complexo na construção e reprodução do conhecimento.

No contexto da presente pesquisa, a construção de uma abordagem interdisciplinar dentro do paradigma disciplinar pode caracterizar o início de discussões mais profunda a respeito de articulações que propiciem significado ao processo de ensino e aprendizagem. Na Figura 3 é apresentado um esquema relacionando os principais componentes físico-químicos do curso de Engenharia Mecânica da UTFPR-CP.

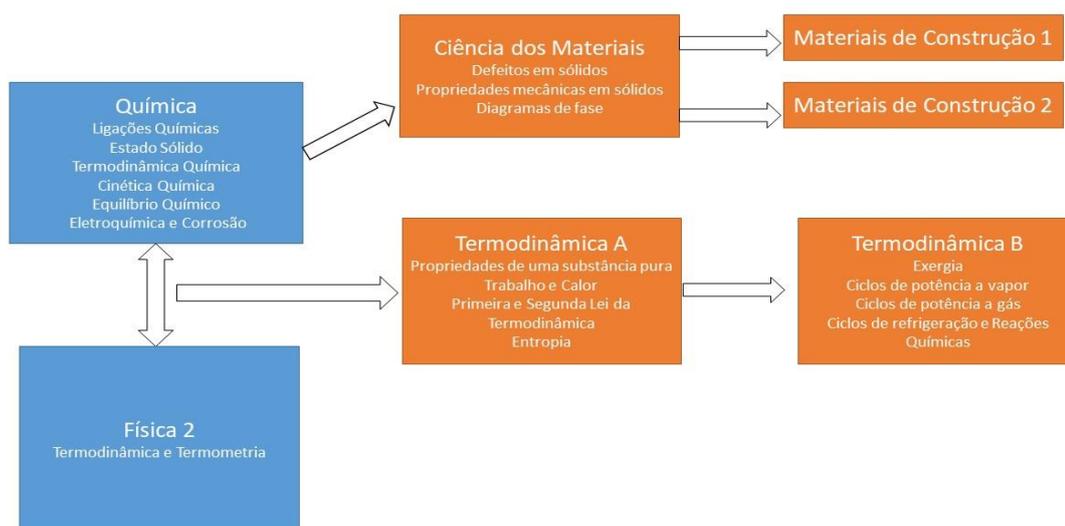


Figura 3 - Esquema relacionando aos componentes curriculares referentes à Físico-Química do curso de Engenharia Mecânica da UTFPR-CP.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A disciplina de Química, no presente currículo do curso de Engenharia Mecânica do Campus Cornélio Procópio da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, é oferecida no primeiro semestre do curso, para alunos ingressantes, com carga horária de 68 horas-aula teóricas e 34 horas-aula práticas. A ementa indica que sejam trabalhados os assuntos: Cinética Química, Equilíbrio Químico, Termodinâmica Química, Eletroquímica e Corrosão, Ligações Químicas e Estado Sólido. Apesar de haver uma disciplina que envolva elementos específicos de Química, outras disciplinas utilizam-se dos conceitos desenvolvidos na disciplina básica, sendo esta importante no desenvolvimento do curso.

A disciplina de Ciência dos Materiais (que tem como pré-requisito oficial a disciplina de Química), prevista para o segundo semestre do curso, envolve os assuntos específicos da constituição e caracterização de materiais, cujos princípios requisitados são os assuntos de Ligações Químicas, Estado Sólido e Termodinâmica

Química, para o desenvolvimento de conceitos relacionados a Defeitos em sólidos, Propriedades mecânicas em sólidos e Diagramas de fase, por exemplo. A disciplina de Ciência dos Materiais, por sua vez, é pré-requisito para a disciplina de Materiais de Construção Mecânica 1, que desenvolve habilidades relacionadas a tratamentos de materiais, dentre eles o tratamento termoquímico. Outros conceitos relacionados à Química e Ciência de Materiais são desenvolvidos na disciplina de Materiais de Construção Mecânica 2, dentre eles: propriedades e aplicações de materiais cerâmicos, poliméricos e compósitos.

O assunto “Eletroquímica e Corrosão” constitui um conhecimento prévio para a disciplina optativa profissionalizante Fundamentos de Corrosão, que envolve inúmeros temas trabalhados no assunto da disciplina de Química, como Reações eletroquímicas, Potencial eletroquímico de eletrodo, Passivação. Depassivação anódica, Mecanismos de corrosão, Formas de corrosão, Meios corrosivos, Ensaio de corrosão, Métodos para o controle da corrosão e Oxidação.

A Termodinâmica Química, juntamente com os conceitos termodinâmicos desenvolvidos na disciplina de Física 2, confluem em disciplina profissionalizante denominada Termodinâmica A, em que são trabalhados de maneira aplicada os assuntos: Propriedades de uma substância pura, Trabalho e Calor, Primeira e Segunda Lei da Termodinâmica e Entropia. Já a disciplina aplicada Termodinâmica B desenvolve assuntos como Exergia, Ciclos de potência a vapor, Ciclos de potência a gás, Ciclos de refrigeração e Reações Químicas. Dessa forma, se o assunto Termodinâmica Química for abordado de maneira interdisciplinar durante a disciplina básica de Química, o futuro engenheiro terá possibilidade de construir instrumental necessário para o desenvolvimento significativo de conceitos relacionados à produção, ao consumo, ao aprimoramento da utilização e à reciclagem de energia.

As disciplinas de Termodinâmica, por sua vez, são iniciais dentro do eixo com tema Energia na matriz do curso, que envolve disciplinas de Transferência de Calor (duas disciplinas de 51 horas-aula) e Sistemas Térmicos (duas disciplinas de 68 horas-aula e uma disciplina de 51 horas-aula).

Conforme a estruturação de requisitos anteriormente exposta, pode-se observar a necessidade de disciplinas básicas de Física e Química propiciarem conhecimentos prévios para educandos em Engenharia Mecânica. Como a interdisciplinaridade em âmbito global do currículo envolve inúmeras discussões para que seja efetivamente implementada com características interdisciplinares, a

proposição neste trabalho é que o primeiro passo seja o de estabelecê-las em um contexto disciplinar.

Para que a compreensão do desenvolvimento da Termodinâmica (e a da Termodinâmica Química) seja promovida, que seus conceitos e suas entidades sejam diferenciados e reconciliados pelo/a educando/a e para que propicie a AS, pode-se incorporar a História e Filosofia à Termodinâmica (tese que nesta investigação é defendida), cuja composição será apresentada no eixo a seguir.

### **3 – COMPOSIÇÃO COM BASE EM ELEMENTOS HISTÓRICOS, EPISTEMOLÓGICOS E SOCIAIS ENVOLVIDOS NA TERMODINÂMICA QUÍMICA**

Neste terceiro capítulo da Fundamentação Teórico-Metodológica são apresentados estudos realizados a respeito do desenvolvimento de conceitos termodinâmicos, sob a perspectiva da História da Ciência e da Epistemologia, além de elementos sociais envolvidos na construção desta área da Ciência.

O processo de construção dos conceitos e das Leis foi desenvolvido a partir dos princípios de uma composição histórico-filosófica, com elementos da Sociologia da Ciência presentes. O resultado do processo de investigação foi uma construção textual (envolvendo atividades e elementos empíricos) que reuniu elementos históricos e historiográficos, epistemológicos, axiológicos e científicos para a inteligibilidade de um tema científico com vistas a um papel pedagógico e à disseminação de conhecimentos histórico-epistemológicos em língua portuguesa<sup>10</sup> (BATISTA, 2016).

O objetivo do processo metodológico de composição é obter uma construção histórico-epistemológica que explicita a epistemologia de um fenômeno ao longo de seu entendimento em episódios (ou controvérsias) históricos, demonstrando os elementos conceituais que vão compondo a explicação encontrada, ao passo que é desenvolvida uma análise comparada problematizadora com a explicação contemporânea e cientificamente corroborada para um determinado problema, fenômeno ou conceito na História da Ciência (BATISTA, 2016).

No entanto, não é simples enfrentar o desafio de se construir uma versão histórica que contemple um amplo período sem incorrer em equívocos historiográficos que ocasionam problemas epistemológicos (MARTINS, 2001). Por isso, procurou-se construir uma narrativa com diferentes interpretações para os conceitos de Energia, Calor e de entidades termodinâmicas, sem cair em um inventário de antecipações, juízos de valores, de precursores de ideias ou de linearidade cronológica. Buscou-se, ainda, preservar a racionalidade e o contexto de cada momento/episódio histórico construído (BATISTA, 2016).

---

<sup>10</sup> Essa versão aqui apresentada se caracteriza como a composição histórico-epistemológica que fundamenta a construção de uma proposta didático-metodológica para o curso de Engenharia Mecânica. Além disso, pretende-se que esta narrativa possa ser útil a todo professor que tenha interesse em utilizar uma abordagem histórica e epistemológica a respeito da construção de Energia, Calor e Leis da Termodinâmica.

Ao se refletir a respeito das máquinas térmicas e o início da Revolução Industrial, observa-se que o padrão de pensamento da Física e da Química não se ajustavam mais ao padrão que existia até então. Desse modo emergiu a necessidade por mudanças que aprimorassem o conhecimento relacionado à eficiência de combustíveis e motores.

Tais mudanças decorrem de observações e formulações de leis relacionadas à Termodinâmica de Equilíbrio, como as de Hess (1840), Rankine (1855), Carnot (1824), e as relacionadas à Termodinâmica de Irreversibilidade, de trabalhos desenvolvidos por Joule (1844), Mayer (1843) e Clausius (1850).

Antes de construir conceitualmente as Leis de Termodinâmica relacionadas à Conservação de Energia e Irreversibilidade, é necessário discutir as origens do conceito de Energia e suas implicações históricas e epistemológicas decorrentes. Para realizar a conceituação de Energia, será utilizado como base o trabalho *The Concept of Energy and its Early Historical Development* de Lindsay (1971), que desenvolve a origem do conceito com base na noção de invariância.

### **3.1 – Construção de uma narrativa para o conceito de Energia**

O conceito de Energia, explorado de maneira intensa na comunidade científica a partir do século XIX, transpassou o domínio da Física em sua aplicação, e foi incorporado em todas as áreas da Ciência como um todo. Este conceito, por sua capacidade unificadora, demonstrou ser um dos mais significativos e bem-sucedidos dentre os conceitos e construtos da Física. Sob a denominação equivocada de "potência", configura-se como a "moeda de troca" do engenheiro e é aquela que faz girar as rodas do mundo. Cada vez mais, é reconhecida pelos economistas como a verdadeira riqueza das nações. A interpretação dos fenômenos em termos de transferência de energia de um lugar para outro e a transformação de energia de uma forma para outra corresponde a um dos mais poderosos instrumentos de compreensão humana (LINDSAY, 1971).

O impacto do conceito de Energia na sociedade tem sido enorme no passado e será cada vez maior no futuro, uma vez que assuntos relacionados à eficiência e à sustentabilidade têm se tornado tópicos de pauta de agendas bastante urgentes em discussões políticas e sociais, dado o consumo exacerbado atual. Por meio dessas

discussões emergentes, observa-se que os aspectos envolvidos são tanto ideológicos quanto tecnológicos.

Segundo Lindsay (1971), a influência ideológica consiste, em grande parte, no fato de que o conceito serve como elemento unificador em todas as descrições científicas experienciadas, permitindo que cientistas pensem mais efetivamente a respeito de seus vários problemas e, assim, promovam a unidade fundamental da Ciência. À medida que o conhecimento da Natureza se torna mais especializado, esse papel da energia torna-se cada vez mais importante.

O aspecto tecnológico do impacto do conceito de Energia na sociedade já se tornou uma discussão recorrente. É necessário apenas lembrar o aumento do número médio de "dependentes" de energia *per capita*, principalmente na sociedade da informação. Isso tem aumentado correspondentemente o bem-estar e o conforto de bilhões de pessoas. Por sua vez, o desenvolvimento nesta linha não foi desprovido de sérios problemas sociológicos. O suprimento de energia disponível para a transformação não foi bem distribuído, e muitos segmentos da população da Terra estão seguindo sem sua parte justa. Além disso, mesmo nas nações em que o suprimento de energia disponível para as necessidades humanas tem aumentado consideravelmente, isso tem sido acompanhado por subprodutos desagradáveis como a poluição da água e do ar.

Um conceito como a Energia, obviamente, é um processo de construção histórica. Não se pode esperar realmente entender seu estado atual ou suas implicações futuras negligenciando a apreciação dessa história. Estreitamente associada ao desenvolvimento histórico há a avaliação do que pode ser chamado de significado filosófico do conceito. Os dois desenvolvimentos (histórico e epistemológico) são, por essência, inseparáveis. O trabalho de Lindsay (1971) corresponde a um exame realizado à luz de determinados pressupostos de natureza essencialmente filosófica, a saber, que a base do conceito de energia que é utilizado atualmente é a ideia de *invariância*, que corresponde à constância em meio à mudança. O autor remete a conexão ao que considera como energia mecânica de um sistema de partículas de massa sujeito apenas a suas interações mútuas: essa quantidade é uma função das velocidades e posições das partículas (em relação a um referencial inercial) que permanece *constante com o tempo*, não importa o que os movimentos das partículas sejam.

Além disso, o autor considera que definir um conceito de maneira desconexa com sua construção é ilusório, uma vez que poderia recair em uma visão linearizada e acrítica. Obviamente, não era consensual a noção de invariância em meio à mudança como ideia-chave para explicar o que é energia. Um dos opositores à essa noção é Ernst Mach, que expressou de maneira veemente a opinião de que a raiz real do conceito de energia pode ser encontrada no princípio da impossibilidade do movimento perpétuo. Mach era um crítico à História e Filosofia da Ciência, e ainda assim às suas visões é creditado bastante respeito.

No entanto, deixando de lado o fato da estreita relação entre o princípio da impossibilidade do movimento perpétuo e a lógica da ideia da invariância, a visão extremista de Mach teria impedido a generalização de energia a todos os fenômenos físicos. Por exemplo, Mach não aceitaria a teoria atômica do Calor. Sua controvérsia em relação a essa quase rivaliza em intensidade com seu ataque à teoria atômica. Dessa forma, parece que suas inclinações positivistas o impediram de ver qualquer vantagem na teorização científica imaginativa, dificilmente podendo ser um físico teórico de sucesso como Maxwell, Boltzmann, Gibbs e seus sucessores do século XX.

A construção do conceito de energia é complexa, como ocorre na maioria dos conceitos científicos; uma provável fonte de ideia se relaciona com o surgimento de máquinas simples, um importante desenvolvimento tecnológico para a vida dos homens das eras iniciais. As populações aprenderam rapidamente o significado social do fato de que a vida humana é impossível sem o trabalho individual e coletivo, mas naturalmente procurou amenizar o fardo desse trabalho. O exercício imaginativo humano fez com que essa amenização se desse com aparatos como a alavanca, o plano inclinado e os diferentes sistemas de polias. Esses diferentes aparelhos, agora chamados de máquinas simples, tornaram mais fáceis a elevação de pesos pesados, ou o aumento da velocidade de uma lança com o uso de um arco.

Os idealizadores e os utilizadores de tais máquinas devem ter observado que a compensação mecânica proporcionada por elas é sempre acompanhada de uma desvantagem: a natureza não fornece nada de graça. Observaram que para elevar um peso aplicando a um sistema de polias uma força muito inferior ao peso, a velocidade com que o cabo da roldana deve ser puxado necessita ser muito maior que a velocidade com que o peso é elevado. Ou, caso seja puxado com velocidade

baixa, o tempo necessário para aumentar o peso é conseqüentemente incrementado. Com o ganho na facilidade de esforço no desempenho de uma determinada quantidade de trabalho fornecido pela máquina, ocorre uma perda inevitável de algo representado, em geral, por um aumento no tempo necessário para realizar o trabalho. Este fato foi reconhecido explicitamente nos escritos a respeito da mecânica de Heron de Alexandria, que floresceu cerca de 60 dC. Este princípio peculiar de compensação, em que um certo ganho de um efeito vital é sempre equilibrado por uma perda correspondente em um fenômeno associado, contém em si a raiz do conceito de energia. O fator compensatório, tão evidente no comportamento das máquinas, implica que alguma entidade permanece constante no meio das mudanças óbvias que ocorrem no funcionamento da máquina. É essa "entidade" constante que mais tarde se tornou quantificada como *energia* (LINDSAY, 1971).

Buscando identificar este "algo", os gregos inferiram e chegaram ao conceito de "constância", muito similar ao conceito de energia na Físico-Química. Observaram que em todos os processos de transformação envolvidos na natureza havia "algo" que se mantinha, antes e depois. Este "algo" seria, ao mesmo tempo, a causa e o efeito daquela transformação. Um aparente paradoxo, a partir do qual muitos filósofos gregos construíram suas teorias. No século VI a. C., dois pensadores, por caminhos distintos, apontaram em direção a esse conceito: Heráclito de Éfeso e Parmênides de Eléia.

Heráclito, impressionado com a mudança constante na experiência de estar vivo, afirmou que tudo flui, ou, em grego, "*Panta rhe!*"! Reconheceu que tudo era efeito de uma essência etérea ferosa. Já Parmênides, considerando as mudanças como uma mera ilusão dos sentidos, manteve-se firme no conceito de constância. Para ele, as múltiplas manifestações observadas no dia-a-dia são apenas efeitos de uma única causa. Para ambos, no meio das mudanças haveria algo que permaneceria constante: aquilo que atualmente é aceito como energia.

Parmênides foi mais próximo da ideia de constância no meio da mudança. Impressionado pela sequência aparentemente caótica de eventos na experiência humana, ele decidiu tratar a mudança como uma mera ilusão. Ele sentiu que isso é o que os homens tentam fazer quando inventam nomes para as coisas e assim identificá-las continuamente em todo o fluxo de sensação. Há um forte impulso humano para extrair da experiência algo que "permanece" o tempo suficiente para

uma observação e um estudo eficaz; e isso foi enfatizado por Parmênides. Apesar de seus escritos serem relativamente fragmentados, a noção de invariância no meio da mudança está presente.

A Aristóteles (384-322 a.C) é atribuído o primeiro tratado relacionado à Física na tradição ocidental. Mas este famoso tratado denominado *Physica*, embora deva bastante atenção ao movimento, não diz nada a respeito das máquinas (MCKEON, 1941). No entanto, Marshall Clagett (1959) e outros especialistas acreditam que aquele esse tratado sido escrito por um de seus sucessores imediatos. A versão latina denominada *Mechanica, Problemata Mechanica*, ou *Quaestiones Mechanicae*, que pode constituir o primeiro tratado existente em relação à mecânica, caracteriza, provavelmente, a primeira tentativa na Ciência ocidental de explicar como funcionam as máquinas. Do ponto de vista do problema da origem do conceito de Energia, a importância deste trabalho é que o seu tratado se baseia em uma abordagem dinâmica, em forte contraste com o método estático defendido mais tarde por Euclides e Arquimedes.

De acordo com Duhem (1905), o autor de *Mechanica* utilizou o axioma básico tirado da *Physica* de Aristóteles: A "força" (*puissant*, em francês) exercida pelo motor que move um corpo era medida pelo peso do corpo e pela velocidade do movimento impresso. Neste ponto de vista, quando a mesma "força" agia, a velocidade impressa seria inversamente proporcional ao peso. Se a velocidade fosse representada por  $V$ , o peso por  $W$  e a "força" por  $F$ , Duhem expressou o conteúdo do axioma acima na forma moderna:

$$F = kVW \quad (1)$$

onde  $k$  é uma constante. É importante ressaltar que os gregos não teriam usado esta forma de expressão, uma vez que preferiam sempre usar números puros na expressão de relações matemáticas. Provavelmente, os gregos teriam expressado o conteúdo do axioma na forma:

$$V_1/V_2 = W_2/W_1 \quad (2)$$

Em qualquer um dos casos, na terminologia física moderna, se  $F$  fosse tomado como o equivalente do que agora se considera ser *força*, a Eq. (1) não faria sentido. No entanto, poderia estar de acordo com a Física moderna se  $F$  fosse interpretado como potência ou como trabalho realizado em função do tempo, com  $k$  sendo definido igual à unidade.

Na aplicação da Eq. (1) ao comportamento de uma alavanca com pesos  $W_1$  e  $W_2$  suspensos a partir das extremidades da barra de uma alavanca sem peso a distâncias  $l_1$  e  $l_2$ , respectivamente, de um ponto de apoio  $C$ , a suposição adicional feita em *Mechanica* é de que quando a mesma "força" atua, o ponto da alavanca mais afastado do ponto de apoio  $C$  se move com maior velocidade. O autor se convenceu disso a partir de propriedades geométricas do círculo. Mas isso é equivalente às relações seguintes:

$$V_1 = kI_1 \qquad V_2 = kI_2 \quad (3)$$

Se essas relações forem combinadas com (1) ou (2), o resultado é dado por:

$$I_1W_1 = I_2W_2 \quad (4)$$

que é conhecida por lei da alavanca. Com  $VW$  tratado como potência, em vez de "força", as considerações acima feitas tornaram-se equivalentes ao princípio atual de velocidades virtuais ou trabalhos virtuais. Certamente esta leitura do tratamento aristotélico vai mais além do que atualmente existe. Isso, segundo historiadores da Ciência, é um procedimento bastante comum (SILVA, 2013). O fato do autor de *Mechanica* ter preferido o método dinâmico de estabelecimento da lei da alavanca é significativo, uma vez que esse ficou impressionado pelo fato de que *algo* permanece o *mesmo* em ambas as extremidades da alavanca, apesar da diferença de pesos.

Essas considerações ganharam importância em relação à origem do conceito de Energia, quando se observa e reflete em relação ao fato que a explicação da lei da alavanca por Arquimedes, grande cientista físico da antiguidade, seguiu linhas bastante diferentes. Ele evitou abordar o movimento em suas investigações teóricas, e baseou-se inteiramente em considerações de equilíbrio estático. Portanto, seu método não esclareceu a ideia de Energia.

Os estudos mais recentes mostraram que durante a Idade Média, na Europa Ocidental, bastante interesse e esforço foram dedicados a explicar o comportamento das máquinas, a maioria desses baseados na tradição aristotélica. Os estudos detalhados a respeito da construção do conceito de energia na Idade Média são associados a Clagett (1959), Hiebert (1962) e Moody e Clagett (1952) (LINDSAY, 1971).

Ao se pesquisar vestígios do conceito de invariância no meio da mudança no final do século XVI e início do século XVII, observa-se o confronto de ideias de dois cientistas que dedicaram bastante atenção ao comportamento das máquinas e procuraram compreendê-lo a partir de diferentes pontos de vista. O primeiro foi o famoso engenheiro flamengo Simon Stevin (1548-1620), mais conhecido como Stevinus, e o segundo foi seu contemporâneo, o físico Galileo Galilei (1564-1642).

Stevinus segue a linha de pensamento de Arquimedes, em detrimento à de Aristóteles. Em suas duas grandes obras, *De Beghinselen der Weeghconst* (1586) e *Hypomnemata Mathematica* (1608), demonstrou total desacordo com o estudo aristotélico de compreender o comportamento de uma máquina. Ele diz: "A razão para o equilíbrio de uma alavanca não reside, de modo algum, nos arcos do círculo que suas extremidades descrevem".

Seu estudo estabeleceu uma conexão com o conceito de Energia, uma vez que supõe que é impossível haver um *moto perpétuo* partindo do repouso. Seu esquema foi baseado em 14 bolas iguais mantidas em um único círculo simples ligadas por corda de massa desprezível e inextensível, envolvendo dois planos inclinados da mesma altura colocados de costas para trás. Um dos planos continha quatro bolas sobre a sua superfície, enquanto o outro, de metade do comprimento, acomodou duas. As outras oito estavam dispostas de maneira simétrica abaixo do plano, conforme exibido na Figura 4:

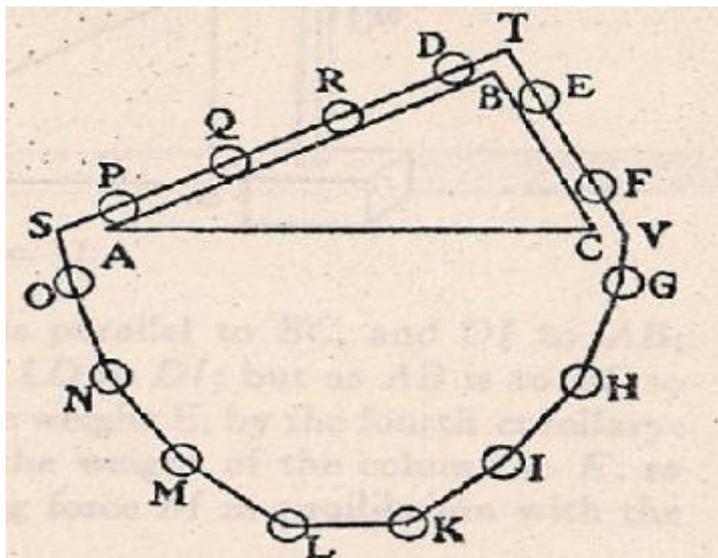


Figura 4 - Representação da ideia de Stevinus, figura extraída de Lindsay (1971), da reimpressão do trabalho *The impossibility of perpetual motion and the problem of the inclined plane*. Fonte: New York: F. Magie; McGraw-Hill book Company, 1935;

Stevinus aplicou o princípio lógico dos “médios excluídos” em seu pensamento para admitir se as bolas começariam ou não a se movimentar. Mas se elas se movessem, isso ocorreria indefinidamente e caracterizaria o movimento perpétuo, o que Stevinus era contrário e afirmava ser impossível. Concluiu, então, após cortar as bolas posicionadas abaixo dos planos e sobre o solo (que em nada influenciavam no problema devido à sua simetria) que as bolas sobre o plano permaneciam em equilíbrio. Dessa forma, o peso que pode ser suportado em qualquer plano é diretamente proporcional ao comprimento do plano. Essa corresponde à lei do plano inclinado considerado como uma máquina.

Stevinus, segundo Lindsay, teve sorte ao elaborar a sua configuração específica. O interesse maior, no entanto, é com a sua forte adesão à ideia da impossibilidade do movimento perpétuo. É provável que ele estivesse familiarizado com as visões anteriores a respeito deste assunto, de Leonardo da Vinci (1452-1519) e Girolamo Cardano (1501-1576). Não há dúvida de que esses cientistas anteriores estivessem convencidos de que não é possível, em fenômenos terrestres, obter algo a partir do nada, o que aconteceria se o movimento começasse por si mesmo e persistisse indefinidamente. Essa consideração é vinculada ao conceito atual de Energia e pode bem servir como uma versão epigramática do princípio geral de Conservação da Energia ou da Primeira Lei da Termodinâmica.

Ao se examinar os trabalhos de Galileu, é possível inferir que ele possa ter compreendido o significado do fator compensatório na operação de máquinas, que

pode ser interpretada à luz da invariância envolvida no conceito de Energia. Na época em que Galileu se concentrou nas máquinas, as leis que regem seu comportamento já eram solidamente conhecidas. Não há indícios ou registros de que Galileu conhecia o trabalho de Stevinus, pelo menos no período em que proferiu palestras reunidas em *On Mechanics* (publicado, a princípio, em 1649, após falecimento do autor) (LINDSAY, 1971). Nessa obra, Galileu apresentou-se mais convincente que seu predecessor em relação ao elemento compensador presente na ação de uma máquina, comentando como os “mecanicistas” se equivocaram ao pensar que as máquinas podem realizar operações que são impossíveis de acontecer.

De acordo com Lindsay, Galileu, ao se referir aos artesãos (“mecanicistas”), evidencia que esses enganos lhe parecem ter como causa principal a crença de que suas máquinas são capazes de erguer grandes pesos por meio da aplicação de pequenas forças, de que elas enganam a natureza e de que não há resistência que possa ser superada por algo mais poderoso que a força. Galileu já havia compreendido a essência do princípio das velocidades virtuais e do trabalho virtual que foi desenvolvido posteriormente por Lagrange, enfatizando que a vantagem mecânica de uma máquina em relação à outra se dá referente ao tempo necessário para que a sua função seja realizada.

Sem se aprofundar nas tentativas de Galileu para explicar o comportamento da alavanca e do plano inclinado, é possível admitir que, em muitos aspectos, ele se aproxima mais de um conceito de invariância em seu famoso experimento do pêndulo, concebido para fornecer uma base experimental para sua suposição fundamental de que quando uma bola cai do repouso a uma dada altura do solo, a velocidade de chegada depende apenas da altura e é independente do caminho de queda. Não é necessário repetir os detalhes aqui, como estão claramente expostos nos *Dialogues Concerning Two New Sciences* (1939). A coisa importante a notar é a compreensão de Galileu de que, apesar dos caminhos diferentes, há algo que permanece constante. Hoje isso pode ser interpretado como energia potencial máxima que independe do caminho e do tempo de queda. A experiência do pêndulo foi estimulada pelo isocronismo de suas pequenas oscilações desse observada por Galileu na catedral de Pisa.

Depois da morte de Galileu e à medida em que o século XVII avançava, a ênfase na ideia de conservação na Física tornou-se mais marcante. Na França,

Rene Descartes (1596-1650) observou que quando dois corpos colidiam também havia um processo de invariância em meio à mudança. Seus estudos em relação a esses fenômenos o levaram ao que hoje é conhecido como *princípio da conservação do momentum*, ou o que ele chamou de *conservação da quantidade de movimento*. Descartes (DUGAS, 1953) teria ficado tão impressionado com esse princípio que afirmou que o *momentum* total do Universo seria constante. Ele também admitiu a força como entidade responsável pela mudança de *momentum* por unidade de tempo. A partir dessa perspectiva, é possível inferir que Descartes possa ter influenciado Newton a sistematizar a mecânica em *Principia*.

Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) discordou do ponto de vista de Descartes. Admitiu que a medida "real" de uma força é o produto da massa e do quadrado da velocidade (em detrimento ao produto da massa pela velocidade), que ele chamou de força "viva" ou "*vis viva*", em oposição à força "*vis mortua*" ou "morta" da estática. Enquanto que os cartesianos defendiam que a grandeza  $mv$  era a que melhor representava a medida da força, Leibniz defendeu a ideia de que tal grandeza seria  $mv^2$ , conhecida como "vis viva", ou "força viva" de um corpo, sob uma perspectiva da dinâmica. Para demonstrar sua ideia, Leibniz propôs (PONCKZEK e RAMOS, 2011, p. 75-76):

Um corpo A de massa 4 (quatro) vezes menor que a de um corpo B, porém caindo de uma altura quatro vezes maior, ambos, ao colidirem com o solo devem ter uma força igual (Figura 5).

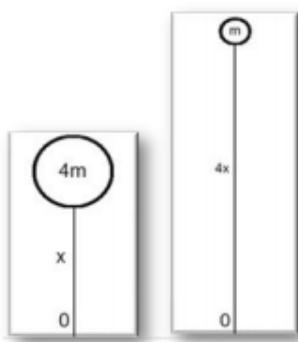


Figura 5 - Corpos em queda livre. Segundo Leibniz uma massa de "4m" a uma altura "x" é equivalente a uma massa "m" a uma altura de "4x".

Fonte: Ponczek e Ramos (2011, p. 75).

Seu argumento, em termos simples, resume-se em: duas massas,  $m$  e  $4m$ , sendo que a primeira é deixada cair do repouso na altura  $4h$  e a segunda de uma

altura  $h$  do chão. Leibniz assumiu que cada massa em queda adquire o que ele denominou de "força" necessária para ser capaz de retornar à mesma altura inicial. Ou seja, a "força" envolvida na queda da massa  $m$  a uma altura de  $4h$  é a mesma para elevá-la ao ponto inicial e deixá-la em repouso, negligenciando qualquer fricção ou outra resistência. Leibniz também assumiu que a "força" necessária para elevar a massa  $m$  de uma altura  $4h$  é a mesma necessária para elevar uma massa  $4m$  para uma altura  $h$ . Dessa forma, o tratamento da palavra "força" aqui equivale ao "trabalho" na concepção da Física moderna.

Se nem o princípio de conservação de energia e nem os conceitos de energia potencial e cinética estavam estabelecidos em sua época, como pôde ele chegar a essa conclusão?

Como a estática já era uma ciência consolidada naquele período, ele utilizou o conceito conhecido na época de equilíbrio estático de uma balança. O princípio da balança estática se enuncia da seguinte forma:

“Objetos com massas inversamente proporcionais às distâncias que as separam do eixo de equilíbrio de uma balança deverão permanecer em equilíbrio estático”, ainda que esta gire (Figura 6).

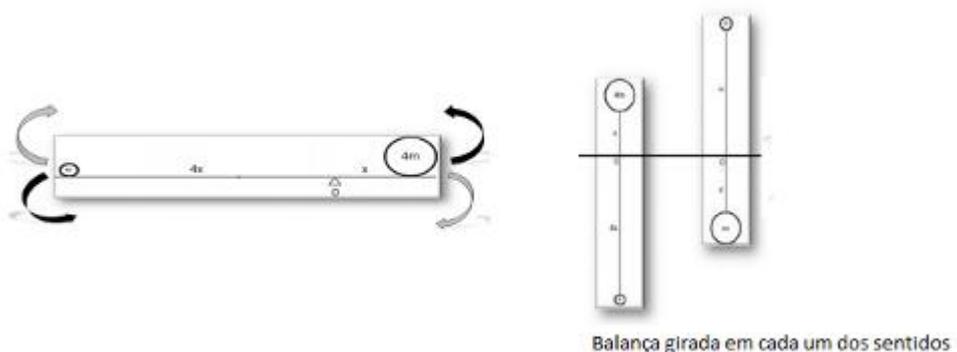


Figura 6 - Balança em diferentes posições conforme construção de Descartes.

Fonte: Ponczek e Ramos (2011, p. 75)

E assim ficou demonstrado, segundo Leibniz, que uma massa de “ $4m$ ” a uma altura “ $x$ ” é equivalente a uma massa “ $m$ ” a uma altura de “ $4x$ ”. A partir desta premissa, para Leibniz, a grandeza  $mv$  proposta por Descartes não seria apropriada para representar a “força” de um corpo, logo, qual seria então a melhor grandeza?

De acordo com a inferência de Galileu: “A velocidade final de seus corpos não depende de suas massas, mas apenas da altura de que caem”.

Esta relação é conhecida como equação de Torricelli:

$$V^2 = Ah \quad (5)$$

onde “V” é a velocidade final do corpo, “h” a altura do corpo em relação ao solo e “A” é uma constante de proporcionalidade.

Desta forma, “A velocidade final de um corpo em queda livre é proporcional à raiz quadrada da altura”.

Para cada corpo da Figura 5, reproduzida anteriormente, obtém-se:

$$V_1^2 = Ax \quad (6)$$

$$V_2^2 = A(4x) \quad (7)$$

Portanto, pode-se concluir a partir desta relação que  $V_2=2V_1$ .

Para Leibniz, os corpos deveriam ter a mesma vis (força) quando chegassem ao solo, propondo que a força seria:

$$F = mV^2 \quad (8)$$

Para o primeiro (1) e segundo (2) corpos temos, respectivamente:

$$F_1 = 4mA(x) \quad (9)$$

$$F_2 = mA(4x) \quad (10)$$

Percebe-se que:  $m_1V_1^2 = m_2V_2^2$ , logo  $F_1 = F_2$ ;

Essa demonstração está relacionada com a ideia leibniziana de que a medida da força seria o  $mv^2$  e não o  $mv$  de Descartes. Eis o porquê:

Para Descartes a força seria dada por:

$$F = mV \quad (11)$$

Então, tem-se que:  $F_1 = (4m)(Ax)^{1/2} \quad (12)$

$$F_2 = (m)(A4x)^{1/2} = 2m(Ax)^{1/2} \quad (13)$$

Portanto, percebe-se que:  $m_1v_1 \neq m_2v_2$ , logo,  $F_1 \neq F_2$ . Desta forma, a grandeza  $mv$  (proposta por Descartes como a medida da força de um corpo), não poderia, para Leibniz, ter este *status*, pois seria diferente para dois corpos que colidem com o solo, e que, segundo ele, seriam equivalentes por se equilibrarem estaticamente numa balança.

Essa diferença nas visões de Descartes e Leibniz deu origem a uma célebre controvérsia, que perdurou nas discussões científicas por cerca de meio século. Enquanto os cartesianos acreditavam que a soma das quantidades de movimento era invariante nas colisões, os leibnizianos admitiam que a conservação ocorria na soma das “forças vivas”. A controvérsia se dava pelas terminologias utilizadas, e que elas podem ser facilmente conciliadas por definições apropriadas, segundo D'Alembert (1717-1783) em sua obra *Traité de Dynamique* (1743).

O conceito de força de Descartes implica em assumir que a eficácia de uma força é medida pelo seu efeito causado em uma partícula ao longo do tempo, como a partir de então foi expressa, pela variação da força em função do tempo.

$$\int_{t_0}^{t_1} F dt = (mv_1) - (mv_0) \quad (14)$$

O lado direito de (14) corresponde à diferença entre os valores do momento nos instantes  $t_1$  e  $t_0$  entre os quais a força atua.

Por outro lado, como D'Alembert sugeriu, é perfeitamente possível medir a eficácia de uma força pelo seu efeito sobre o espaço, e isso é essencialmente o que Leibniz tinha em mente. Na notação moderna (para o caso especial do movimento de uma única partícula ao longo do eixo  $x$ ), chega-se à

$$\int_{x_0}^{x_1} F dx = (mv_1^2) - (mv_0^2) \quad (15)$$

Ou, em palavras, o efeito cumulativo da força em relação à distância (o lado esquerdo, que se denomina, agora, trabalho realizado pela força), é igual à variação na quantidade  $\frac{1}{2}mv^2$  entre as duas posições  $x_1$  e  $x_0$ , provocada pela ação da força. Atualmente  $\frac{1}{2}mv^2$  é denominada energia cinética, e a equação (15) é conhecida como o teorema de energia cinética ou teorema trabalho-energia.

Existem dúvidas em relação a D'Alembert ter solucionado definitivamente a controvérsia *momento versus vis viva*. Laudan (1968) apontou que a evidência histórica mostra que os argumentos em relação à medida "real" da força perduraram além de 1743 e que muitos estudiosos conhecidos do assunto não mencionaram D'Alembert em suas discussões. Parece que os escritores do século XIX que atribuíram a D'Alembert a solução da controvérsia a fizeram porque estavam mais familiarizados com suas numerosas realizações em matemática e mecânica, assim como seu tratado relacionado à dinâmica, do que com as obras de seus

contemporâneos e sucessores. O fato é que D'Alembert estabeleceu o argumento geral que a Física moderna considerou satisfatória.

Uma reivindicação em relação à introdução do conceito de *vis viva* foi feita em nome de Christian Huygens (1629-1695), em detrimento ao pioneirismo de Leibniz. Em sua obra *Horologium Oscillatorium* (1673), Huygens discutiu o pêndulo composto e em seu tratamento usou efetivamente o produto de massa vezes o quadrado da velocidade para as várias partes que compõem o pêndulo. Mas, conforme Lindsay, não houve atenção especial em relação à grandeza ou menção desta como uma medida possível da eficácia de uma força, e nenhuma referência termos de invariância e conservação. Foram estudiosos posteriores que deram a interpretação de *vis viva* na lei do pêndulo composto de Huygens.

Em resumo, Huyghens e Leibniz, no século XVII, assumiram que um corpo ao cair livremente de uma certa altura adquiriria a mesma “*vis motrix*” (força motiva) necessária para subir à mesma altura. Quando parado no ponto mais alto, ao corpo estaria associada uma certa “*vis morta*” (força morta, energia potencial ou de posição). O corpo em movimento possuiria uma “*vis viva*” (força viva), atualmente denominada energia cinética ou do movimento. Durante todo o processo de queda, todavia, à medida que diminuiria a altura e, conseqüentemente, a energia potencial, aumentaria a velocidade e a energia cinética na mesma proporção, de forma que a energia total, dita mecânica, se manteria constante.

D'Alembert ficou impressionado com a importância do conceito de *vis viva* e dedicou ao último capítulo de seu *Traité de Dynamique*. O conceito foi aplicado para as colisões perfeitamente elásticas de partículas, explicitado da seguinte forma: *Quando um número de partículas colide elasticamente, a soma dos produtos de cada massa vezes o quadrado de sua velocidade permanece constante*. Essa corresponde à lei de conservação que, no entanto, não foi deduzida por ele. A dedução moderna relaciona o tratamento das colisões por meio do coeficiente de restituição de Newton, cujo valor é unitário em colisões perfeitamente elásticas. D'Alembert generalizou o princípio da conservação da *vis viva*, sem o demonstrar para um corpo rígido, embora o illustre com um número de casos especiais, baseado no uso de seu princípio bem conhecido que regula o movimento de sistemas de partículas sujeitas a restrições. Correspondia, naturalmente, a situações altamente idealizadas e não muito práticas.

D'Alembert também discutiu o caso em que corpos do sistema não são isolados, então, o total *vis viva* não permanece constante, mas a mudança que acontece corresponde ao trabalho realizado pelas forças externas ao sistema, segundo a terminologia atual. Isso é equivalente ao teorema da energia cinética na mecânica. Não havia intenção de introduzir a noção de energia potencial e, portanto, não houve consideração da conservação em função da soma da energia total.

Uma aproximação mais associada à construção de energia empregada atualmente é encontrada no famoso tratado de Lagrange, *Mécanique Analytique*, publicado pela primeira vez em 1788. Um dos maiores marcos da História da Física, constituiu de uma apresentação sistemática da Mecânica como Ciência do ponto de vista matemático. Nela, o autor apresentou seu célebre método de coordenadas generalizadas e derivou as equações que ainda trazem seu nome. Em um capítulo dedicado à *vis viva* (ou *force vive*, em francês), ele finalmente mostrou de forma explícita que em certos casos é possível configurar uma função das coordenadas de um sistema de partículas que, quando adicionado à *vis viva* do sistema, produz uma quantidade constante no tempo. É claro que ele não a denomina como energia mecânica do sistema, nem usa o termo “energia” no desenvolvimento de seu tratado. De fato, ele se refere ao resultado como um exemplo da *vis viva*, por razões que não são claras, uma vez que no caso ele discute que o *vis viva* vai certamente sofrer alterações com o passar do tempo. De qualquer forma, a equação que ele propôs corresponde ao que agora se considera como equação de energia para um sistema dinâmico. Posteriormente, Lagrange reconheceu esse tipo de equação como uma primeira integral das equações do movimento. Isso certamente marcou uma época na realização da existência e disponibilidade de um conceito unificador no estudo dos sistemas dinâmicos (LINDSAY, 1971).

Na História da Filosofia, o termo energia já foi usado com um sentido equivalente à atividade, ato e força. Na filosofia escolástica, era designado pelos termos ‘*virtus*’ e ‘*vis*’. Não é de se estranhar, portanto, que energia seja comumente utilizada como sinônimo de força ou de potência. Também não é de se estranhar que lhe seja associada à ideia de que é uma virtude ou propriedade do objeto ou ser. Embora se deva a Kepler a introdução, no século XVII, do termo energia na física e a sua distinção dos conceitos próximos de força e trabalho, sua definição moderna que data do século XIX.

A partir de então, a evolução do conceito de Energia se moveu na direção de outros fenômenos físicos, principalmente o Calor.

### **3.2 – A Energia térmica (Calor) associada às ideias de fogo, flogístico e calórico**

As diversas interpretações que o conceito de energia na forma de Calor apresentou ao longo da história foram baseadas no trabalho de Silva, Forato e Gomes (2013), inicialmente discutindo fenômenos quanto à natureza do Calor, dentro das concepções de alguns filósofos da Antiguidade clássica e que são reinterpretados, de certa forma, no arcabouço alquímico de alguns pensadores. Posteriormente, serão explorados alguns aspectos das discordâncias quanto à natureza substancial do Calor ou relativa ao movimento, dando atenção a certos elementos dos estudos do século XVIII, quando surgiu uma compreensão do Calor como energia, diferente do que é considerado atualmente.

#### **3.2.1 – O Calor na Antiguidade e a associação ao elemento Fogo**

Para explicar a ideia de Calor na Antiguidade, é necessário se compreender a concepção do Universo que se tinha na época, devido ao enfoque cosmogênico que era dado para explicar fenômenos da natureza, ainda que também houvesse a preocupação com questões práticas.

Segundo a perspectiva cosmogênica, o Calor era associado ao elemento Fogo para vários pensadores, assumindo diversos significados. Empédocles de Agrigento (493-433 a.C), filósofo pré-socrático, admitia que o Fogo era considerado um dos elementos primordiais, assim como a Terra, Água e Ar, que se unem em diferentes proporções para formar todas as coisas. Haveria ciclos no Universo em que estas coisas estariam sujeitas à união, pela força do amor; ou à separação, pelo ódio. Assim, se formaram a Terra, o Sol, a Lua, etc., e tudo que existe no mundo (MARTINS, 2012). Empédocles não estava preocupado com questões como a temperatura dos corpos, funcionamento de instrumentos, ou qualquer causa de outros fenômenos em que o Fogo estivesse envolvido. Seu foco era explicar a constituição do Universo, ou seja, estava preocupado com a natureza dos seres e de tudo aquilo que estava envolvido na formação do Universo, assim como vários outros filósofos do mesmo período.

Aristóteles (384-322 a.C.), em consonância com Empédocles, aplicou a ideia dos quatro elementos e lhes associou características como úmido e seco, quente e frio, além de adicionar um quinto elemento para explicar o mundo natural, o éter (a quinta essência), elemento constituinte dos corpos celestes, ao qual não é associada qualquer propriedade desse tipo (MARTINS, 2012). Aristóteles observou a necessidade de explicar a causa daquilo que existia, o que ampliava o conhecimento da natureza a partir da busca de explicações para a constituição do Universo. A constituição e as propriedades seriam definidas conforme a proporção de elementos primordiais que determinado material continha.

Assim, a Fumaça, além de ser constituída de Fogo e Ar, poderia ser atribuída a propriedades características destes elementos, como quentura e secura. Aristóteles ainda associava movimentos naturais aos elementos primordiais. Para ele, Fogo e Ar possuem o movimento natural reto para cima, enquanto Terra e Água possuem movimento natural reto para baixo. Ou seja, a fumaça possuía a tendência de subir, por ser constituída de Fogo e Ar, ainda que uma vela fosse colocada com a chama para baixo. A associação feita por Aristóteles, em relação a Empédocles, já mostrava outra tendência do pensamento filosófico, que não se restringia a explicar a criação do Universo, mas também pretendia explicar os fenômenos da natureza (ARISTÓTELES in COHEN e DRABKIN, 1958, p. 201, SILVA, FORATO e GOMES, 2013).

Contemporâneo de Aristóteles, Epicuro (342-270 a.C.) defendia a visão atomista de Demócrito (~46-a.C.), cujo princípio era que o Universo e tudo que houvesse presente seria constituído de partículas ínfimas de diferentes formatos, denominadas de átomos, que se combinavam por interações formando toda a matéria, explicando os fenômenos naturais. Conforme essa perspectiva, o Calor seria produto de átomos esféricos com livre movimento nos interstícios vazios entre os átomos. Ainda que não apresentasse uma explicação mais profunda a respeito do Calor, a perspectiva atomista de Epicuro estava preocupada com a explicação das causas dos fenômenos. A escola atomista ignorou as explicações sobrenaturais para a natureza. Epicuro, particularmente, enfatizava sua utilidade para livrar o homem do temor de algum castigo eterno e da necessidade de atribuir o desconhecido aos deuses (MARTINS, 2012). Aristóteles, por sua vez, criticou o atomismo, especialmente em relação à existência de espaços vazios entre átomos, mas não se pode afirmar nada em relação à sua crítica em relação à concepção de

fogo, uma vez que não está claro nem para os atomistas. O filósofo admitia que não existia o vazio absoluto (ou vácuo).

Heron de Alexandria (130 a.C.), visando demonstrar a inexistência do vácuo absoluto, propôs a *aeolípia*, relacionada como primeiro modelo de máquina térmica. Esse modelo é constituído por um globo oco que gira ao redor de um suporte de madeira, quando dois tubos são preenchidos por vapor d'água que sai de uma caldeira, transformando Calor em trabalho mecânico (Figura 7). No entanto, apesar de considerada a pioneira, essa máquina térmica não foi construída com base nos conceitos de transformação de Calor em trabalho, desenvolvidos nos séculos XVIII e XIX. Se for admitido que o vocabulário próprio da Ciência e da técnica pressupõe ideias, visões de mundo e de conceitos intrínsecos a cada época, usá-los de maneira inadequada acarreta em inconsistências teóricas, uma vez que interpretar o passado a partir de conceitos aceitos pela comunidade científica em outras épocas consiste em uma deformação a respeito da Natureza da Ciência (SILVA, FORATO e GOMES, 2013, GIL-PEREZ *et al.*, 2001).



Figura 7 - Modelo de aeolípia (ou máquina de Heron).  
Fonte: Encyclopædia Britannica, 2016

Além da máquina de Heron, outros instrumentos foram idealizados e construídos sob a luz do pensamento aristotélico, com base em fenômenos de aquecimento e resfriamento. Um deles é o termoscópio, mais especificamente o de Philo. O instrumento era constituído por dois recipientes conectados por um tubo; um deles preenchido com água, e o outro, esférico, permanecia vazio. Ao ser colocado sob a incidência de Sol, eram observadas bolhas de água na esfera, uma vez que o Fogo seria transportado entre os recipientes por meio do ar que havia no tubo. O mesmo princípio de combinação dos quatro elementos e suas propriedades foi

utilizado por Galeno (129-199) na construção de termoscópios. Os primeiros termoscópios, que indicavam “graus” de Calor ao estado do paciente, associavam o aumento do “quente” às propriedades de substâncias especiais, como o ar, a água, etc., pois já se conheciam fenômenos que são denominados de dilatação e de expansão térmicas (BARNETT, 1956). As duas concepções distintas a respeito da natureza da matéria, o atomismo ou os quatro elementos, costumam ser as mais conhecidas do período compreendido entre o século VI a.C. e o século II como fundamentação da explicação a respeito da natureza do Calor.

Em diferentes culturas da Antiguidade, desenvolveu-se também outro modo de interpretar o mundo, a alquimia. Os fenômenos envolvendo o Calor sob a perspectiva alquímica costumam estar associados à ideia de Fogo e de purificação. Registros do século XV relatam uma maneira de compreender a natureza e de explicar as causas dos fenômenos naturais por meio de princípios alquímicos vinculados à transformação da matéria. O contexto social, econômico e de pensamento (Renascimento) da época promoveram novas experimentações. Nessa época, a Europa estava em um processo de observar de maneira diferenciada textos médicos e de filósofos gregos. Com as expedições marítimas, as novas plantas e os animais recém-conhecidos nas Índias e o aparecimento de novas doenças (sífilis e escorbuto, por exemplo), tinham suas propriedades explicadas pela presença de um elemento novo, com característica purificadora (PORTO, 2002).

O termo *alcahest*, que remete à tal substância, teria sido disseminado a partir de Paracelsus (1493-1541), que o admitiu como um medicamento manipulado para o tratamento do fígado, mas sem detalhar sua exata composição (PORTO, 2002); a sua observação foi reinterpretada por seus seguidores, modificando o significado de *alcahest*. Jan Baptist Van Helmont (1579-1644) o associou ao elemento Fogo, definindo *alchest* como um “liquor” com propriedades de dissolução universal, dissolução esta com o significado de purificação de uma substância composta que a levaria para seu *status* de matéria essencial. Seria um quinto elemento associado aos quatro elementos da ideia aristotélica, associando ao Fogo e ao *alcahest* uma propriedade semelhante à de internamente limpar o corpo de doenças (PORTO, 2002). Van Helmont na Bélgica e Herman Boerhaave (1668-1738) na Holanda, por sua vez, desvincilharam os conceitos de elemento e *alcahest*. Ainda que vários pensadores tenham associado explicitamente o Fogo aos fenômenos do Calor, Van Helmont e Boerhaave não manifestaram qualquer relação ao explicar fenômenos

vinculados ao Calor em suas obras analisadas por Porto (2002). Mas, havia, no mesmo período, alquimistas que alegavam que os quatro elementos de Aristóteles não eram suficientes para explicar as transformações que ocorriam nos metais e relacionaram princípios filosóficos à constituição da matéria (que seriam o princípio mercúrio e o princípio enxofre). O primeiro, responsável, entre outras, pela propriedade de maleabilidade dos metais; o segundo pela cor, afinidade, peso e combustibilidade (FORATO, 2006). Um terceiro princípio, sal, era o responsável pela união dos dois outros princípios e não se alterava no tratamento químico (BARNETT, 1946). Havia também a visão de Becher (1635-1682), que admitia que a combustibilidade era uma propriedade da *terra pinguis*, terra presente em todas as substâncias que pudessem queimar.

Existiam ainda os que discordavam das formas de constituição da matéria baseada nos quatro elementos aristotélicos ou na linha de pensamento de Becher. Robert Boyle (1627-1691) baseou-se na construção corpuscularista de pensadores como Francis Bacon (1561-1626) e René Descartes (1596-1650). Ambos pressupunham a existência de corpúsculos como a linha atomista, e também negavam a existência do vácuo absoluto, acreditando que uma espécie de matéria sutil (éter) permeava a matéria e os espaços vazios. Tanto Bacon como Descartes consideravam o movimento ao tratar de Calor, mas de maneiras distintas. Bacon considerava o Calor como o movimento de pequenas partículas do corpo sob a ação do fogo. Descartes considerava que a sensação de Calor estava ligada ao movimento entre as partículas, que era comunicado aos nervos (BARNETT, 1946).

Ainda que correspondessem a interpretações intencionadas ao explicar o Calor, a alquimia está distante da compreensão de Calor que se tem atualmente, mesmo as de Boyle, Bacon e Descartes que mencionavam o movimento. A concepção corpuscular contribuiu para o estudo dos gases, enquanto a perspectiva do Calor como uma entidade substancialista permitiu o desenvolvimento da Calorimetria. Nenhuma delas apresentou evidências para ser refutada nos séculos XVII e XVIII, ao invés disso foram corroboradas com o estudo de outros fenômenos, como os fluidos elétricos, que adotavam uma visão mais contínua da matéria; enquanto que os estudos da luz como corpúsculo reforçavam a visão mais discreta da matéria.

O século XVIII pode ser caracterizado como uma época de mudanças em relação à maneira como a Ciência era realizada. Além da sistematização das

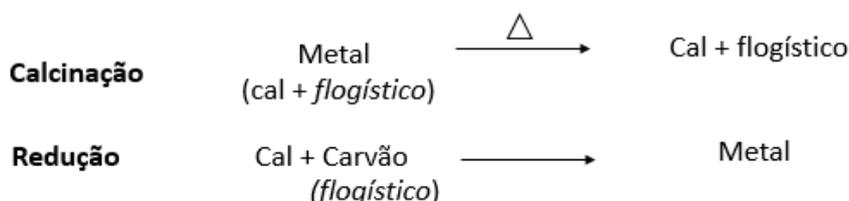
observações, as ideias passaram a ser comunicadas e submetidas a processos de validação por pares. A Revolução Industrial, que será discutida com mais especificidade quando forem abordados as máquinas térmicas e o desenvolvimento do conceito de Entropia, caracterizou um processo de mudança nas observações, nas inferências e nos estudos dos fenômenos da natureza, dada a crescente necessidade de “combustíveis” para manter o funcionamento das fábricas e desenvolver a metalurgia. Além disso, buscavam-se fontes de energia mais limpas a fim de diminuir os efeitos prejudiciais da fumaça e da poluição provenientes da queima de carvão mineral, e que não destruísse florestas, como o carvão vegetal. A qualidade e pureza dos metais necessitava ser mantida para a sua fundição (OLIOSI, 2004).

Para o aprimoramento das técnicas de fontes combustíveis e do manejo de metais eram necessários artesãos e filósofos voltados a fenômenos naturais, principalmente no que tange a questões relacionadas à constituição da matéria. A experimentação, mais próxima de respostas técnicas, passou a se destacar entre filósofos naturais. Esses filósofos estavam ligados às Sociedades, financiadas por grupos com recursos financeiros. Nessas sociedades se desenvolvia uma nova forma de fazer Ciência, com a discussão e reconhecimento entre pares, a experimentação e a observação durante reuniões, funcionando como meio de aprofundamento do conhecimento e sua divulgação. É nesse contexto que emergem duas interpretações distintas para o Calor: o flogístico e o calórico.

### 3.2.2 - O Calor como substância e os estudos do flogístico

George Ernst Stahl (1669-1734), médico alemão, deu continuidade às ideias de Becher (ainda sob a perspectiva do pensamento alquímico), atribuindo ao princípio inflamável que os corpos possuíam o nome de flogístico. Para elaborar sua ideia, Stahl procurou compreender os processos de combustão e de calcinação. O produto da calcinação de um metal é a cal (óxido metálico) e, por sua vez, o metal poderia ser recuperado em um processo inverso, a redução, desde que em presença de um material rico em flogístico, como o carvão, por exemplo. Já a combustão ocorreria por substâncias combustíveis como o carbono e o enxofre, que produzem uma grande quantidade de Calor quando consumidas. Os dois processos que envolviam o aquecimento ou a produção de Calor eram constituídos de um princípio inflamável (flogístico): o poder combustível de uma substância se daria pela

quantidade deste princípio presente. Na calcinação, o metal utilizado como matéria-prima possuiria o flogístico, enquanto a cal inicialmente não possuiria. Após o processo, o produto do metal fundido seria a cal adicionada ao flogístico, que seria liberada no ar. Já substâncias como enxofre e carbono possuiriam bastante flogístico, liberando-o em processos de combustão (WISNIAK, 2004).



Além disso, o médico considerava que o flogístico era conservado e que seria a constituição do fogo. Nos processos de calcinação e de combustão supracitados, o flogístico passaria para a atmosfera e adquiriria formas diferenciadas, como chamas, nuvens, etc. e retornaria à sua forma terrestre original como parte do ar. Dessa forma, o flogístico seria eterno na natureza, sendo transferido em ciclos infinitos e também por meio de reações químicas. O desenvolvimento de novos instrumentos, que possibilitaram realizar medições de massa de maneira mais acurada, além dos experimentos envolvendo “ares” (depois aprimorados para o conceito de gases) e a existência de algo caracterizado como um “peso negativo” como o flogístico. Elementos sociais também influenciavam o desenvolvimento da Ciência na época, como tecnologias de produção de combustíveis.

O teólogo Joseph Priestley (1733-1804) foi inserido no estudo dos gases e construiu um equipamento no qual era possível adicionar diferentes ares na água e em mercúrio para estudar comportamentos. Para ele, o objetivo da experimentação é de conhecer a natureza em geral, ou de maneira mais estrita, das propriedades das substâncias encontradas na natureza e das alterações de propriedades sob determinadas circunstâncias. Segundo o autor, este conhecimento só pode ser construído por meio de experimentos e observação, e comparada com a confecção de tijolos pela interação de argila com o fogo (PRIESTLEY, 1772 APUD OLIOSI, 2010).

Esse pensamento é interessante para a caracterização da metodologia de construção do conhecimento científico por esse pensador. Uma delas, que foi carregada até hoje por uma visão distorcida da Ciência, é que esta é constituída em sua maior parte por experimentos e observações. A outra se relaciona com a

teologia, uma vez que as faculdades sensoriais dos homens o conduziram na observação e posterior explicação da natureza, direcionando-os ao Cristianismo como religião baseada em fatos e evidências empíricas.

Dois diferentes “ares” haviam sido identificados e caracterizados: o “ar inflamável” seria responsável pela combustão e o “ar fixo” poderia matar os seres vivos que o respiravam. Porém, Priestley mudou de opinião a partir de uma observação: observou que a chama de uma vela aumentava de intensidade quando o ambiente (câmara pneumática) estava preenchido pelo “ar” obtido na combustão de uma cal de mercúrio com uma lente. Esse “ar” não possuía propriedade combustível, uma vez que era capaz de sustentar a queima por mais tempo que o ar comum que já estaria saturado de flogístico, não sendo “inflamável” nem “fixo”. Esse “ar” foi denominado por Priestley de “ar flogisticado” (PRIESTLEY, 1790, p. 102-119).

Em 1781, o filósofo natural britânico Henri Cavendish (1731-1810), ao desenvolver experimentos com os ares provocando a explosão do “ar inflamável” misturado ao ar comum, observou a formação de gotículas de água sobre a superfície do equipamento, o que atualmente é conhecido por processo de síntese da água. A observação experimental da água como uma substância composta, e não mais uma substância elementar, levava a questionamentos também a respeito da composição dos “ares”: um dos questionamentos é se o “ar inflamável” seria constituído de um elemento ou um ar composto de outros elementos (por exemplo, de flogístico e de ar deflogisticado). Enquanto Priestley testava seus experimentos baseado nas propriedades físicas, outros cientistas seguiam por caminhos diferentes, como Calorimetria e, posteriormente, decomposição. As experiências de Priestley, Cavendish e outros filósofos naturais eram reflexos do *modus operandi* da Ciência no século XVIII, em que repetidos experimentos com gases na Europa eram repetidos na busca de semelhanças e diferenças. No final do século XVIII, os cientistas estavam envolvidos com a medição de temperatura e com o desenvolvimento de diferentes termômetros, que com o aumento de sua precisão, aliado à definição de escalas padrão, contribuíram com explicações a respeito da natureza do Calor. No entanto, a hipótese da existência do flogístico demorou para chegar à França. Guillaume-François Rouelle (1703-1770), um dos divulgadores da obra de Stahl na França, foi um dos professores de Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794) na universidade e provavelmente deve tê-lo apresentado à ideia de flogístico.

Lavoisier possuía conhecimento do que vinha sendo desenvolvido na Inglaterra, principalmente pelas traduções feitas por sua esposa, Marie-Anne Pierrette Paulze (1758-1836), e em outros países.

Joseph Black (1728-1799) foi o primeiro a conceber o Calor como uma quantidade física mensurável, distinta da quantidade medida por um termômetro (temperatura), embora estivessem relacionadas. Black não publicou suas observações e conclusões, no entanto as ensinou em suas aulas ministradas. Suas aulas também incluíram suas pesquisas em Química, cuja principal contribuição foi a investigação do papel do dióxido de carbono (ou “ar fixo”) nas reações com carbonatos, especificamente o carbonato de magnésio. Até Black desenvolver as suas conclusões, não havia no conhecimento de senso comum a diferenciação de conceitos como “quantidade de Calor” e “grau de queimadura” ou “temperatura”. Black desenvolveu um Calorímetro quando realizou estudos a respeito das propriedades de misturas e propôs os conceitos de Calor específico e de Calor latente.

Lavoisier realizou aperfeiçoamentos neste instrumento e voltou sua atenção aos estudos de ares e de decomposição. Para estudar os ares desprendido e absorvido, Lavoisier realizou experimentos físicos e químicos envolvendo processos de calcinação e combustão com diferentes substâncias, observando e afirmando que fósforo e enxofre aumentavam a massa ao queimar. Também realizou experimentos com o tetróxido triplúmbico ( $Pb_3O_4$ ) e carvão aquecidos, observando que quando esses materiais eram aquecidos não desprendiam nenhum tipo de ar identificável, ou fluido elástico, que os cientistas denominavam de “a matéria do fogo e da luz”. Porém, ao se misturarem, produziam um determinado “fluido” em seu aquecimento, o que levou a questionar o estudo do flogístico de Stahl, pois o flogístico não seria característico da substância.

Lavoisier questionava os estudos do flogístico quando analisava a redução da massa dos resíduos de metais em processos de calcinação. A explicação de levitação ou de massa negativa do flogístico não explicavam algumas propriedades observadas por ele. Uma substância infringiria o princípio gravitacional de atração dos corpos ao se pensar na levitação; dessa forma, o flogístico, pela propriedade de levitação, não poderia ter afinidade por corpo algum. Portanto, nem os corpos combustíveis poderiam apresentar afinidade com esse tipo de entidade. Lavoisier, a quem é atribuído o desenvolvimento da quantificação das proporções fixas de maneira racional, que é considerado elemento de ruptura entre os ideais químico e

alquímico, se utiliza de ideias de Stahl e Boerhaave, cujos princípios são alquímicos. Lavoisier reproduziu experiências de Priestley, Cavendish e outros cientistas até ter as mesmas conclusões a respeito dos fenômenos de calcinação e combustão. A partir da queima de um metal em ambiente fechado e observação da conservação da matéria em seu interior, não haveria possibilidade de entrada e saída de flogístico desse sistema fechado. Ao medir as massas do sistema constituído por recipiente, metal queimado e ar (que deveria conter flogístico), antes e depois do processo de calcinação, não foi observada alteração nas massas. No entanto, quando somente a massa do metal foi comparada, observou-se um aumento após a calcinação. Lavoisier atribuiu esse aumento à quantidade de ar absorvida durante o processo, diferentemente do que ocorreria com a combustão da madeira, em que os resíduos e cinzas são mais leves que a madeira original. A explicação seria que a redução de peso na combustão envolveria a liberação de ar. Realizando a queima da madeira em um recipiente fechado, a massa do sistema permaneceu a mesma antes e depois do processo (LAVOISIER, 1789, in LEICESTER e KLICKSTEIN, 1968, p. 171).

As ideias em contraposição ao flogístico foram apresentadas por Lavoisier entre 1777 e 1785. Uma delas é que o fenômeno da combustão libera fogo e luz e toda calcinação produz a *matéria do fogo*. A outra é que tanto a calcinação quanto a combustão só acontecem na presença de “ar puro”. Uma terceira relaciona-se com a mudança de massa após a calcinação ou combustão. O aumento da massa no material queimado na combustão ocorreria devido à destruição ou à decomposição de “ar puro”; na calcinação, a composição com o “ar puro” formaria a cal metálica (LAVOISIER, 1775, in LEICESTER e KLICKSTEIN, 1968, p. 170).

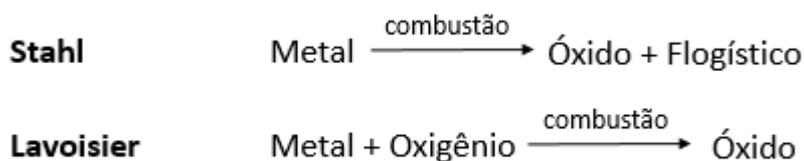
Diferentemente de Priestley, Lavoisier não dava atenção somente a aspectos físicos dos ares, e cogitou a hipótese do ar ser composto de outros elementos. Esse é um fator importante na observação de Lavoisier: a combustibilidade depende de uma “atmosfera” adequada para o fenômeno, e não de uma substância incorporada na estrutura da matéria. Esse elemento presente no ar foi denominado como *calórico*. O “fogo” responsável pela combustão ou calcinação estaria presente no ar, e não na substância queimada, como no *flogístico*.

### 3.2.3 - As contribuições de Lavoisier e as ideias substancialistas: os estudos do calórico

O ar puro que Lavoisier propôs se refere ao princípio oxygen, ou oxigênio, em seus experimentos em 1775. Esse se configurava como um ponto de divergência com Priestley, o que em 1774 havia sido observado no experimento da chama da vela. Priestley utilizava como princípio que o ar seria uma substância elementar, e considerou ter encontrado um “ar deflogisticado”, o “ar” que não sofreria processos de queima, isenta de flogístico; já Lavoisier concebia o ar como uma mistura. Essa discussão entre hipóteses de Lavoisier e experimentação de Priestley foi motivo de divergência entre os cientistas (TOSI, 1989).

Outra observação, a da decomposição da água, trouxe para a discussão estudiosos como Cavendish, Priestley, Watt e Lavoisier, ampliando as perspectivas a respeito do calórico. Lavoisier admitia ser mais coerente a ideia de dois diferentes gases serem consumidos quando aquecidos (ar puro e ar inflamável), resultando na redução da massa do produto final, do que pensar numa água “deflogisticada”; essa perspectiva trazia a água como “elemento primordial”, elementar, eterna, imutável, em que o flogístico se caracterizava como princípio combustível que havia sido retirado (SILVA, FORATO E GOMES, 2013). Lavoisier foi bem-sucedido nas explicações a respeito da formação da água e de vários fenômenos envolvendo a combustão e a calcinação. Com isso sua hipótese do calórico foi reconhecida, sendo aceito por antigos seguidores do flogístico, como Black, que em 1791 escreveu uma carta a Lavoisier reconhecendo sua ideia (TOSI, 1989). Priestley, por sua vez, manteve-se com o flogístico até sua morte em 1804, mas chegou a concordar com Lavoisier em alguns aspectos.

É importante destacar que tanto os estudos do flogístico, proposto por Stahl, como os estudos desenvolvidos por Lavoisier, envolvem concepções a respeito da constituição da matéria. Para Stahl, a matéria era formada por substrato e flogístico; para Lavoisier era constituída por elementos ou princípios, sendo o oxigênio um dos princípios em questão.



Apesar de gradativamente aceito, o calórico ainda apresentava limitações e problemas, uma vez que o oxigênio se configuraria como uma mistura entre o *principe oxygen* e o calórico (elemento do fogo e do Calor). Dessa forma, o argumento de Lavoisier em relação ao calórico seria inconsistente da mesma forma que o flogístico. Porém, a consistência do restante da proposição teórica de Lavoisier era suficiente para que a teoria fosse relevada. O calórico era mensurável nos processos químicos, e o suposto princípio da conservação da matéria em transformações era atendido, apesar de impossível medir a massa do calórico (MARTINS e MARTINS, 1993; FILGUEIRAS, 1995).

Além dos ideais do flogístico e do calórico, havia outras perspectivas teóricas na tentativa de explicar a natureza do Calor no século XVIII. Havia hipóteses propostas e defendidas por cientistas que relacionavam a natureza do Calor (BARNETT, 1946a). Uma das publicações mais relevantes é *Memoire sur la Chaleur*, na qual os autores, Laplace e Lavoisier, apresentam diversos experimentos envolvendo calor e discutem duas visões a respeito da natureza do Calor, uma como movimento e outra como substância. O Calor como movimento estaria relacionado com a adoção da visão corpuscular da matéria, uma vez que esta seria constituída por espaços vazios e por partículas que poderiam se movimentar nos interstícios, permitindo movimentos vibratórios. Da mesma forma, a luz seria constituída de partículas emitidas pelo Sol e por outros corpos luminosos, explicando fenômenos térmicos e visuais.

Segundo Lavoisier e Laplace, no artigo I “Exposição de um novo método para medir o Calor” de *Mémoire sur la chaleur* (1780, p. 285):

Os físicos estão divididos em relação à natureza do Calor. Muitos dentre eles o veem como um fluido difundido em toda a natureza, e os corpos são mais ou menos penetrados por ele, em função de sua temperatura e de sua disposição particular em retê-lo. Ele pode se combinar com estes e, neste estado, deixa de influenciar o termômetro e de se transferir de um corpo a outro, não estando, portanto, livre, o que permite então que se ponha em equilíbrio nos corpos, formando o que chamamos “Calor livre”. Outros físicos pensam que o Calor é senão o resultado de um movimento insensível das moléculas da matéria. Sabe-se que todos os corpos, mesmo os mais densos, estão cheios de um grande número de poros, de pequenos

vazios. Esses espaços vazios deixam às suas partes insensíveis a liberdade de oscilar em todo sentido; é natural pensar, então, que essas partes estão em contínua agitação e que, se esta aumenta até certo ponto, pode chegar a desuni-las e a decompor os corpos. É esse movimento interno o que, segundo os físicos que mencionamos, constitui o Calor (tradução nossa, grifo do nosso).

Os autores ainda ressaltam como esta hipótese poderia fornecer uma resposta para o equilíbrio térmico de misturas, para o aquecimento pela exposição à radiação e outros, baseando-se no princípio de conservação da força viva, grandeza dada pela somatória das massas multiplicadas pelo quadrado das velocidades (representada por  $\sum m_i v_i^2$ ).

Para desenvolver esta hipótese, devemos observar que, dentro de todos os movimentos nos quais não há ponto de mudança brusca, existe uma lei geral que os geômetras designam sob o nome de princípio de conservação das forças vivas; esta lei consiste em que, num sistema de corpos que atuam uns sobre os outros de uma maneira qualquer, a força viva, quer dizer, a soma dos produtos de cada massa pelo quadrado de sua velocidade, é constante. Se os corpos são animados por forças aceleradoras, a força viva é igual àquela que estava na origem do movimento mais a soma das massas multiplicadas pelo quadrado das velocidades devidas à ação das forças aceleradoras. Dentro da hipótese que nós examinamos, o Calor é a força viva que resulta dos movimentos insensíveis das moléculas de um corpo; ela é a soma dos produtos da massa de cada molécula pelo quadrado da velocidade (LAVOISIER; LAPLACE, 1780, p. 285, tradução nossa).

A temperatura de equilíbrio de uma mistura de corpos a temperaturas iniciais diferentes seria estabelecida pela transferência de quantidade de movimento, seguindo a conservação de força viva total do sistema.

Os autores admitem que não existia, até então, uma teorização exclusiva para a explicação do Calor: a maioria dos fenômenos poderia ser explicada pela hipótese do movimento, como no caso do Calor como resultado do atrito da fricção de corpos, enquanto a hipótese do Calor como um fluido poderia explicar alguns fenômenos. Devido à complementaridade das hipóteses, os autores expressaram não optar por uma delas, além de apresentarem princípios comuns que poderiam ser adotados para as hipóteses do movimento e do fluido, dentre os quais se destaca *que a quantidade de Calor livre é sempre a mesma em mistura simples de corpos*. Caso se considerasse o Calor como um fluido ou como resultado do movimento, o Calor livre seria conservado na mistura de corpos em que não houvesse transformações químicas, fluindo de um corpo em direção a outro (fluido) ou variando a força viva dos corpos (movimento) (LAVOISIER; LAPLACE, 1780). Na Calorimetria, a

interpretação do Calor não era influenciada pelas diferenças nas hipóteses, conforme demonstrado pelos mesmos autores.

Já em 1789, Lavoisier se posicionou de maneira mais favorável à hipótese do Calor como um fluido, adotando o calórico como entidade fundamental nas transformações físicas e químicas, conforme a obra *Traité élémentaire de chimie*. Segundo o autor, o aquecimento de um corpo sólido faria com que as partículas constituintes se separassem, e um posterior resfriamento faria com que essas se aproximassem novamente. Dessa forma, haveria um sistema de forças de atração e de repulsão que se manteriam em equilíbrio. A explicação poderia ser estendida para os estados físicos da matéria: a agregação seria resultado de um balanço de forças de atração e de repulsão, e na proporção do grau de Calor a que estão expostas. No entanto, admitiu que só uma substância real e material, ou um fluido muito sutil, localizado no interstício das partículas dos corpos, poderia explicar os fenômenos térmicos, e que seriam indissociáveis os conceitos de Calor e desse fluido hipotético, ou seja, o Calor como consequência do calórico (LAVOISIER, 1789).

Cabe, aqui, fazer um parêntese em relação a Lavoisier. Muitas vezes, Lavoisier se denominava como *físico*, outras vezes como *químico*. Da mesma forma, Laplace ora era denominado como físico, ora como geômetra. As denominações se firmaram com a institucionalização da Ciência e a consequente profissionalização do cientista, termo que só foi introduzido na segunda metade do século XIX por Whewell. Antes, designava-se por *filósofo natural* ou simplesmente *filósofo*. Denominar alguém como “físico” ou “químico” denotava um certo corporativismo.

Assim, o calórico, além de explicar de maneira mais consistente as reações químicas da calcinação e da combustão, também explicava a dilatação dos corpos, mudanças de estado, o Calor específico, entre outros (BROWN, 1951). Conforme será discutido na composição histórico-epistemológica da Segunda Lei da Termodinâmica, Sadi Carnot se baseou na hipótese do calórico para estudo e desenvolvimento de máquinas térmicas e eficiência na obra *Réflexions sur la puissance motrice du feu et sur lês machines propres a développer cette puissance*, de 1824.

### 3.2.4 - Thompson, Joule e Mayer: a visão físico-química do Calor e o direcionamento para a Primeira Lei da Termodinâmica

Em contrapartida ao calórico, Benjamin Thompson (1753-1814) tentou apresentar argumentos consistentes para defender a hipótese do Calor como movimento, em 1778, quando do estudo da pólvora e de armas de fogo. A observação foi de que a temperatura das balas, logo após serem projetadas pelas armas, era bastante elevada, que seria maior do que somente o calor gerado no processo de explosão da pólvora. Concluiu, então, que o atrito da bala no cano também era responsável pela transferência de calor para o projétil, aumentando a sua temperatura. Para aumentar a confiabilidade de seu argumento, utilizou exemplos similares do aumento de temperatura devido ao atrito, e que havia relação com a dureza, com a vibração e com o impacto do movimento de fricção (WATANABE, 1959). O cientista continuou com experimentos de propagação no vácuo, na tentativa de explicitar incoerências nos estudos do calórico, em 1785. Como nessa teoria se acreditava na forte interação entre o calórico e a matéria, não haveria propagação daquele no vácuo, pois não haveria matéria nesse ambiente. A contra-argumentação dos defensores do calórico é que esse se propagaria por meio do fenômeno da autorrepulsão do calórico, já que este fluido ocupa todo o espaço, sem ser necessário existir ar (BROWN, 1949 e 1951; WATANABE, 1962). Seus trabalhos experimentais prosseguiram e, em 1798, em observações realizadas enquanto supervisionava uma fábrica de canhões, pretendia responder à questão de produção infinita de Calor prevista pelos estudos do calórico e considerou ter encontrado uma resposta definitiva favorável à teoria do movimento.

Para responder às suas indagações, Thompson realizou uma série de experimentos envolvendo a análise de quantidade de Calor gerada na perfuração de canhões; o cientista observou que tanto o canhão quanto o metal em seu redor eram aquecidos pelo atrito. No primeiro experimento, Thompson posicionou a região onde estava ocorrendo a perfuração dentro de uma caixa retangular de madeira preenchida completamente com água a uma temperatura de 60°F (cerca de 15,6°C). O processo de perfuração do canhão com a broca aqueceria a água, caso envolvesse Calor. A água ter esquentado levou Thompson a concluir que a origem do Calor não era algo contido na água, pois não seria possível a água ser responsável por fornecer Calor ao canhão e à broca e promover o auto-

aquecimento, pelo contrário, deveria sofrer resfriamento por estaria perdendo a entidade responsável pelo Calor. As lascas de metal e pó metálico produzidos foram utilizados para um ensaio de contato com o gelo. As ínfimas partículas de material produzido na perfuração do canhão foram capazes de derreter cerca de três quilogramas de gelo, concluindo que seria inviável uma massa tão pequena de matéria ser capaz de conter tanto calórico que pudesse fornecer tamanha quantidade de Calor para o gelo. Em um segundo experimento, posteriormente, Thompson isolou o experimento do ar e do ambiente, observando os mesmos resultados, e inferindo que seria impossível algum fluido contido no ar ser responsável pelo fenômeno. A representação do experimento de Thompson é apresentada na Figura 8.

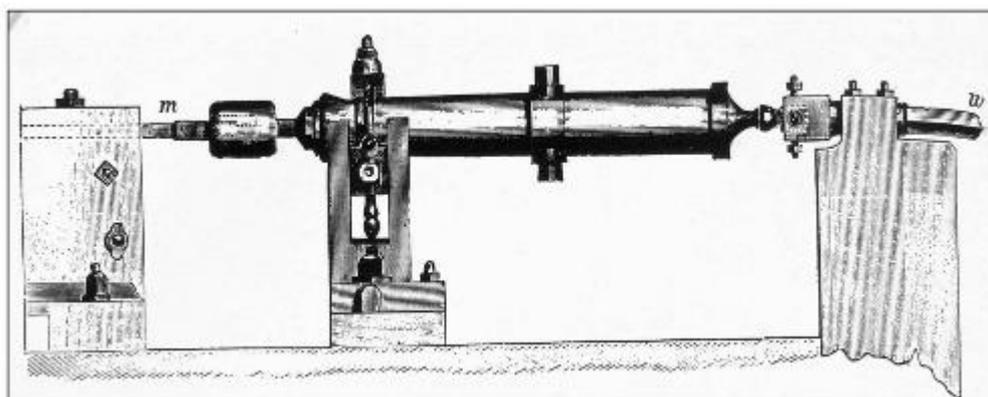


Figura 8 - Canhão utilizado por Thompson para as suas experiências e inferências (1798).  
Fonte: Thompson (1798, p. 102)

Thompson realizou um terceiro experimento que o permitiu fazer conclusões mais acuradas a respeito do fenômeno. Neste experimento, Thompson estudou um cilindro em movimento giratório, a uma taxa de 32 rotações por minuto, e observou que a superfície externa do corpo havia aumentado a temperatura a partir da medição da água que estava em contato. Após uma hora e meia, a temperatura estava em 142°F; passada mais meia hora, a temperatura havia atingido 178°F, após duas horas e vinte minutos passou a 200°F e entrou em ebulição (a temperatura de ebulição da água à pressão ambiente é de 212°F). Apesar de supor que ocorreria tal fenômeno, Thompson se surpreendeu com o fato de um aumento significativo de temperatura.

Apesar de todas as evidências, o experimento de Thompson não foi considerado crucial para contra-argumentar a hipótese do calórico. Um dos

argumentos dos defensores do calórico foi que os experimentos envolveram a modificação do volume do cilindro perfurado e das lascas, e, conseqüentemente, da quantidade de calórico envolvida, pois essa entidade se relacionaria com a distância entre as partículas constituintes da matéria e a forte interação calórico-matéria. Thompson realizou novos experimentos de sublimação e evaporação com o intuito de fortalecer sua hipótese e refutar o calórico.

A fim de tentar medir a força de atração calórico-matéria, Thompson considerou que um corpo no estado de “Calor sensível” deveria ter um peso diferente daquele no estado de “Calor latente”.

Tendo providenciado três garrafas A, B, e C, tão semelhantes quanto possível... na primeira, A, coloquei 4214,28 gramas de água; na segunda garrafa, B, pus o mesmo peso de álcool...; e na garrafa C, pus igual peso de mercúrio. Estas garrafas foram hermeticamente fechadas e colocadas numa sala grande... onde o ar parecia estar completamente quieto, e, permanecendo nesta situação por mais que 24 horas, o Calor na sala (61°F) se manteve constante por quase todo o tempo, com poucas variações. Elas foram todas pesadas, e deixadas em equilíbrio entre si [com o mesmo peso] atando-se no gargalo das mais leves, pequenos fios de prata.

Feito isso, as garrafas foram removidas para uma sala em que o ar estava a 30°F, onde permaneceram perfeitamente em repouso e sem perturbação, por 48 horas. No final das 48 horas observei que as garrafas A e B permaneciam no mais perfeito equilíbrio.

Removi a garrafa B da balança, e pus a garrafa C no lugar, e observei que ela também se encontrava com o mesmo peso aparente do início do experimento, estando em perfeito equilíbrio com a garrafa A como no início. Então removi o aparato todo para uma sala aquecida, fazendo o gelo em A derreter, e mantendo as três garrafas lá até que seus conteúdos tivessem adquirido a exata temperatura do ar,...comparando-as entre si e encontrei que seus pesos permaneceram inalterados.

É certo que a quantidade de Calor perdido pela água deve ter sido consideravelmente maior que aquele perdido pelo mercúrio, as quantidades específicas de Calor na água e no mercúrio sendo determinadas entre si como 1000 para 33; mas esta diferença na quantidade de Calor produzida não causou diferença sensível nos pesos dos fluidos em questão (THOMPSON [1799], 1873, p. 1-9, tradução nossa).

Thompson ainda realizou repetições no experimento, alterou quantidades nas garrafas, aferiu os instrumentos de medição, e concluiu que não havia efeito do Calor em relação ao peso aparente dos corpos. No entanto, ao longo do século XVIII, as hipóteses do calórico e do movimento explicavam vários fenômenos térmicos, assim como havia argumentos que as refutavam. Da mesma forma, não foi o experimento dos canhões desenvolvido por Thompson que refutou de maneira definitiva a hipótese do calórico, conforme a história da Ciência anedótica costuma creditar.

As tentativas de refutar o calórico persistiram no início do século XIX. Humphry Davy (1778-1829) que realizou o experimento da fricção de dois cubos de

gelo (apesar das controvérsias) e propôs uma hipótese que seria um híbrido do calórico com o movimento, por meio de uma perspectiva mais “química” do fenômeno. Thomas Young (1773-1829) relacionou o Calor aos fenômenos luminosos (WATANABE, 1962). Julius Robert Mayer (1814-1878) e James Prescott Joule (1818-1889) associaram o Calor a um tipo de *trabalho* realizado, fazendo emergir uma nova hipótese na primeira metade do século XIX (MARTINS, 1984). Mayer argumentava que trabalho estava relacionado de maneira direta ao esforço, e a equivalência entre esforço e Calor era constante, explicado de maneira física e filosófica. Por sua vez, Joule buscava a relação entre o Calor e a eletricidade por meio de ensaios experimentais, por meio dos quais propôs o equivalente mecânico do Calor, aliado ao experimento da queda de pesos que movimentam pás imersas na água.

Em 1850, foi reconhecido pelo experimento em que a queda de dois pesos proporciona diferença de temperatura em uma determinada quantidade de água. Os estudos de Mayer, Joule, e de outros contemporâneos como Colding e Helmholtz estavam voltados para a perspectiva de equivalência entre forças. A força do movimento produzia Calor, da mesma forma que forças magnéticas e elétricas. Helmholtz propôs que a soma das forças vivas (Helmholtz considerava a força viva como metade de  $\sum mivi^2$ ) e das forças de tensão era uma constante. Como a força viva estava associada a movimento, que produzia Calor, Helmholtz concluiu que o Calor também seria um tipo de movimento (COELHO, 2009 e 2012).

Conforme descrito no item anterior, o termo energia foi desenvolvido paulatinamente ao estabelecimento da ideia de conservação de energia. Em 1851, Thompson introduziu o conceito de energia mecânica de um corpo. A partir da premissa de que a energia de um corpo está associada à sua atividade, e que supostamente o Calor estava vinculado a movimento, assumiu-se que Calor era análogo a uma forma de energia. A ideia de Thompson acerca da energia tinha argumentos não físicos, que foi mudando de significado, apresentando características existenciais, que, assim como a hipótese substancialista, sofreu críticas.

Em uma reinterpretação próxima às “conservações” previstas pela filosofia, a conservação da energia e o Calor como energia em trânsito pareciam explicações coerentes para a natureza da energia. Ou, ainda segundo Callendar (1912):

A aplicação do princípio geral da conservação da energia leva à conclusão indubitável que a energia térmica gerada é o equivalente do trabalho mecânico usado na fricção, mas traz pouca ou quase nenhuma luz sobre os passos do processo, e não dá informação sobre a atual natureza da energia produzida na forma de Calor (CALLENDAR, 1912).

Ainda que a hipótese da energia vinculada ao movimento fosse protagonista no final do século XIX e início do século XX, essa não pode ser definida como um resultado final, uma vez que é necessário analisar as ideias a respeito da conservação e a transformação da energia, conforme proposto pela Primeira Lei da Termodinâmica.

### **3.3 – O Princípio da Conservação de Energia e a Primeira Lei da Termodinâmica**

O conceito de energia na mecânica clássica e o seu princípio geral de conservação emergiram no cenário científico na primeira metade do século XIX. No período de 1842 a 1847, quatro cientistas europeus – Mayer, Joule, Colding e Helmholtz – anunciaram publicamente a hipótese de conservação da energia. O desenvolvimento dessa hipótese tinha uma interessante particularidade: exceto Helmholtz, todos trabalharam em total desconhecimento do trabalho do outro. Esses trabalhos, “aparentemente” isolados, tinham diferentes pressupostos. Entretanto, entre eles havia algo em comum: eles combinavam a “generalidade da formulação com as aplicações quantitativas concretas” (KUHN, 1989, p. 102).

Kuhn, em sua obra “A Tensão Essencial”, identificou doze cientistas que, partindo de diferentes concepções teóricas e pressupostos metodológicos, contribuíram decisivamente para a construção social do princípio da conservação da energia, são eles: Mayer (1842), Joule (1843), Colding (1843), Helmholtz (1847), Sadi Carnot (antes de 1832), Marc Séguin (1839), Karl Holtzmann (1845), Hirn (1854), Mohr (1837), William Grove (1837, 1843), Faraday (1840, 1844) e Liebig (1844). Apesar de Kuhn ter incluído Carnot, não é certa a data em que teria desenvolvido o equivalente mecânico do Calor, pois este resultado que aparece em suas notas póstumas pode ter sido obtido entre 1824 e 1832.

Benjamin Thompson (Conde Rumford) também se ocupou do problema do equivalente mecânico, talvez em 1788. Seguir as pegadas deixadas no tempo a respeito dos esforços realizados para a determinação do equivalente mecânico do

Calor representa um desafio aos que se interessam pela História da Termodinâmica (PASSOS, 2004).

Kuhn destacou a presença de três fatores histórico-culturais que constituiriam o arcabouço ideológico que tornaria possível a emergência, quase que simultânea, da conservação da energia, num período relativamente curto de tempo: a disponibilidade dos processos de conversão, a preocupação com motores e a Filosofia da Natureza. Além disso, no final do capítulo “A Conservação da Energia como Exemplo da Descoberta Simultânea” (1989), Kuhn admitiu que os diversos trabalhos publicados entre 1830 e 1850 de maneira independente pelos pesquisadores possibilitaram o desenvolvimento do princípio da conservação de energia. Os pioneiros do princípio da conservação da energia tinham sido influenciados pela *Naturphilosophie* dominante nos finais do século XVIII e início do século XIX.

A *Naturphilosophie* foi, em linhas gerais, um movimento filosófico surgido em fins do século XVIII e início do século XIX, que propunha, em oposição ao racionalismo mecanicista, uma visão da natureza como organismo. Os adeptos desse movimento buscavam um princípio unificador dos fenômenos naturais. Para Schelling, um de seus representantes, “...os fenômenos magnéticos, elétricos, químicos e, por fim, mesmo os orgânicos, deveriam estar entrelaçados numa grande associação... [que] se estende a toda a natureza” (apud Kuhn, 1989, p.134). Schelling, afirmou ainda que, “sem dúvida, só uma força única se manifesta através das suas várias aparências nos [fenômenos] da luz, eletricidade, e assim por diante” (ibidem, p. 134-135).

No período compreendido entre 1780 e 1850, podem se identificar quatro linhas de pesquisa que foram determinantes na observação e inferência da conservação de energia: a termoquímica, a fisiológica, a eletroquímica e a mecânica.

Na linha termoquímica, ou seja, no estudo da relação entre efeitos térmicos associados às reações químicas, destaca-se German Hess. A lei de Hess é considerada um caso particular da Primeira Lei e envolve uma grandeza específica, a Entalpia. Os balanços energéticos que hoje são realizados com precisão de 0,1% são realizados utilizando dados Calorimétricos da mesma forma que Hess realizava com precisão da ordem de 1%. Nessa linha também se inclui J. P. Joule, que tinha como intuito, em seus trabalhos de eletroquímica e de Calorimetria, demonstrar que os fenômenos químicos (combustão) e os fenômenos elétricos (reações numa pilha)

são de mesma natureza. Essa observação também foi importante para a mudança de perspectiva para o não-flogístico.

A linha fisiológica, ou seja, o estudo das relações da bioquímica do metabolismo com o Calor envolvido nos processos orgânicos influenciou pesquisadores, dos quais se destacam Helmholtz e Mayer. Os estudos de Lavoisier e Laplace em relação à fisiologia da respiração foram publicados em um estudo a respeito o Calor (*Mémoire sur la Chaleur*) de 1780, onde relacionavam o oxigênio inspirado ao Calor perdido pelo corpo, conforme Khun (1989), e permitiram que as primeiras ideias a respeito do balanço de energia comesçassem a ser consideradas. Lavoisier colocou uma cobaia em um Calorímetro, mediu o seu consumo de oxigênio, seu desprendimento de gás carbônico e de Calor, formulando a hipótese de que o Calor animal era originário da combustão que ocorre no organismo. Os conceitos de Lavoisier em relação à bioquímica e relacionados à oxidação do sangue foram retomados pelo médico alemão Jules Robert Mayer, em 1840, conforme Bejan (1988). Este último considerou que a oxidação interna deve se balancear com relação à perda de Calor pelo corpo bem como com relação à atividade física que o corpo desempenha, conforme Kuhn (1989). Eis aí o princípio da conservação da energia.

Na linha eletroquímica, que se iniciou com a observação da pilha elétrica pelo químico Alessandro Volta, se relacionavam a energia elétrica com as reações químicas. Volta propôs que a pilha constituiria um dispositivo moto-contínuo. Os filósofos compartilhavam da opinião de que tal dispositivo não existia, mas nenhum conseguiu demonstrar que Volta estava equivocado. No entanto, as controvérsias desencadearam uma série de pesquisas que resultaram em inferências bastante importantes. A questão em relação à origem da eletricidade – se ocorriam devido ao contato dos metais ou devido à reação química – foi causa de diversas discussões. Michael Faraday formulou as leis da eletrólise, ou seja, a “equivalência quantitativa entre as forças químicas e elétricas”. Prosseguindo com esses estudos, Joule determinou as equivalências entre Calor e eletricidade e depois entre trabalho mecânico e Calor.

A linha mecânica envolve os estudos de máquinas térmicas e hidráulicas. Talvez seja a menos conhecida, uma vez que muitas vezes os engenheiros que trabalharam nesta linha deixaram poucos registros escritos claros e completos.

A atenção dada a questões envolvendo motores, motivada pelas demandas de baixos custos de produção da emergente burguesia industrial com o sistema capitalista vigente, culminou em significativos aperfeiçoamentos dos projetos de construção das máquinas térmicas. No início essas melhorias não advinham de princípios teóricos, mas do conhecimento desenvolvido a partir da prática de seus construtores. Os problemas práticos da engenharia foram se tornando mais complexos exigindo assim uma abordagem científica, uma vez que a prática se tornou limitada para a sua resolução. Em contrapartida, observou-se também que alguns conceitos práticos da engenharia eram assimilados e ressignificados no interior do discurso científico. Muitos dos pesquisadores que contribuíram para a emergência do princípio de conservação estiveram envolvidos com problemas tecnológicos (PRAXEDES, JACQUES, 2009).

Conforme Kuhn (1989), o conceito de Trabalho foi a contribuição mais decisiva para a conservação de energia feita pelo emergente interesse pelas máquinas no século XIX. Muito antes da observação dos processos de conversão eletroquímica supracitados, os estudiosos das máquinas a vapor ou acionadas por água perceberam que estas constituíam maneiras de transformar a força latente do combustível ou da queda d'água em força mecânica capaz de levantar pesos. Em 1738, Daniel Bernoulli admitiu estar persuadido “de que, se toda a *vis viva* que se esconde em um pé cúbico de carvão fosse invocada e aplicada de modo útil ao motor de uma máquina, realizar-se-ia mais do que com o esforço diário de oito ou dez homens”. Para Lazare Carnot, por exemplo, “o problema de girar a pedra de um moinho por impacto, pela água, pelo vento ou pelo poder animal [...] é o de consumir a máxima [quantidade] possível do trabalho realizado por esses agentes”. As próprias máquinas levaram a uma concepção dos processos de conversão muito próxima da produzida pelas inovações do século XIX. É fundamental perceber que trabalho não é uma propriedade termodinâmica. Embora esta confusão seja mais comum com a noção de Calor, convém ressaltar que um sistema não “possui trabalho”. Trabalho é um fenômeno transitório, um certo fluxo de energia entre sistema e meio. Um sistema não pode “possuir um fluxo”; o fluxo ocorre entre o sistema e o meio (através da fronteira do sistema).

O fato de que as máquinas pudessem ser vistas como instrumentos de conversão podem ainda justificar o motivo pelo qual os conceitos de engenharia se mostraram tão facilmente transferíveis para os problemas mais abstratos da

conservação de energia, sendo o conceito de trabalho o exemplo mais importante dessa transferência. Joule e Liebig chegaram à conservação de energia ao proporem uma questão antiga da Engenharia – o que é “rendimento”? – com relação aos novos processos de conversão dos motores elétricos à bateria. Mas a relação entre “quanto de trabalho por quanto de trabalho” envolve a noção de um processo de conversão, e até remete a uma taxa percentual (ou coeficiente) de conversão. Quando se considera a transferência de um conceito de Engenharia para a construção de um conceito científico, a conversão se configura como um exemplo característico. Embora suas concepções fundamentais sejam incompatíveis com a conservação de energia, a *Réflexion sur la puissance motrice du feu*, de Sadi Carnot, foi citada como a aplicação mais extraordinária da impossibilidade do movimento perpétuo a um processo de conversão não mecânica. Helmholtz provavelmente desenvolveu a ideia de processo cíclico a partir do trabalho de Carnot, Hotzmann derivou o valor para o coeficiente de conversão por meio de procedimentos analíticos de Carnot, e a própria discussão de Carnot em relação à Conservação de Energia empregou repetidas vezes dados e conceitos de seu estudo anterior, fundamentalmente incompatíveis. Esses exemplos podem ser indícios de facilidade e de frequência com que conceitos de Engenharia foram utilizados na proposição da lei da conservação (KUHN, 1989).

O autor ainda exemplificou a proposição da lei da conservação como advinda do interesse das máquinas por meio do fenômeno da compressão adiabática. Qualitativamente, o fenômeno se caracteriza como uma demonstração ideal da conversão do trabalho em Calor; quantitativamente, a compressão adiabática consistia na maneira de calcular o coeficiente de conversão com base nos dados existentes. Segundo Kuhn (1989) a observação da compressão adiabática pouco se relacionava com o interesse pelas máquinas, mas os experimentos do século XIX estavam relacionados com essa preocupação de caráter bastante prático. Faltava o elemento quantitativo, a noção de energia cinética associada ao conceito de trabalho mecânico. Por outras palavras, apesar de algumas tentativas de alguns cientistas no sentido da quantificação do conceito de trabalho mecânico, à exceção de Helmholtz, este aspecto ainda permanecia bastante qualitativo. Faltava a noção ou conceito de energia cinética associada ao trabalho mecânico.

A hipótese fundamental de Kuhn é a de que há uma unidade e convertibilidade entre os fenômenos, que é conservada na natureza. Ou seja, a

conversão de um fenômeno em outro produz trabalho, acarretando em dissipação de energia. Porém, esta energia dissipada ou criada, a energia cinética, não se perde. Ela se conserva no sistema, ou seja, ela converte-se em outro elemento. Há uma equivalência entre o trabalho realizado e a energia cinética criada.

A disponibilidade dos processos de conversão resultou de inúmeras inferências que surgiram após a invenção da bateria por Alessandro Volta, em 1800. Em 1820, Oersted observou os efeitos magnéticos da corrente elétrica; Seebeck, em 1822, demonstrou que o Calor aplicado a uma junção bimetálica produz corrente elétrica; Peltier, observou o efeito inverso desse exemplo de conversão; Melloni, em 1827, identificou a luz com o Calor radiante; Faraday, em 1831, observou as correntes induzidas. As observações e inferências citadas e outras que ocorriam na mesma época passaram a formar uma rede de conexões entre partes da Ciência até então isoladas, explicitando a existência de um elemento comum entre os diferentes aspectos da natureza (KUHN, 1989).

Em relação ao caminho que direcionou à proposição da Primeira Lei, um dos trabalhos mais relevantes em relação é o *Mémoire sur la chaleur* de Lavoisier e Laplace de 1780, uma publicação consistida de uma série de artigos. A obra será comentada a seguir à luz de Chagas (1992).

No artigo I, “Exposição de um novo método para medir o Calor”, conforme já mencionado no subcapítulo anterior, os autores apresentam as concepções de capacidade de Calor, ou Calor livre, e apresentam as controvérsias entre as hipóteses de Calor como resultado de um fluido e do movimento.

Mais adiante, admitem que o princípio comum às duas hipóteses é:

Se, numa combinação ou numa mudança de estado qualquer, há uma diminuição do Calor livre, esse Calor reaparecerá inteiramente quando as substâncias voltarem a seu primeiro estado e, reciprocamente, se na combinação ou na mudança de estado, há um aumento de Calor livre, este novo Calor desaparecerá no retorno da substância a seu estado primitivo. (LAVOISIER e LAPLACE, 1780, p. 285).

Em outras palavras, o que os cientistas propuseram consiste no que hoje se denomina *equação termoquímica de uma reação*:

[sistema no estado 1] + Calor → [sistema no estado 2]

Em 1784, Lavoisier e Laplace publicaram a descrição de um Calorímetro de gelo (Figura 9) que contém gelo em um compartimento interno cercado por um recipiente externo totalmente preenchido também por gelo. No recipiente interno foi colocado um objeto à alta temperatura, previamente aquecido. Quando esse objeto

que estava à alta temperatura estivesse à temperatura do gelo, certa quantia de água era formada pelo derretimento do gelo, podendo ser drenada pela torneira de baixo e pesada posteriormente. Conhecendo o Calor de fusão do gelo, o Calor liberado por esse processo pôde ser calculado pela massa de gelo fundido durante o processo. Seguindo-se a outras considerações, Lavoisier expôs como os experimentos foram procedidos: se um processo ocorresse dentro de uma esfera de gelo a 0R [ $^{\circ}\text{C} = 0\text{R}$ ], o Calor desenvolvido no processo iria fundir o gelo e não iria se dissipar.

Os autores ainda complementaram que suas inferências apresentavam “exatidão” (na época, o sentido de exatidão ainda não estava bem estabelecido) de 1,7 a 2,5%.



Figura 9 - Esquema do Calorímetro de Lavoisier e Laplace.

Fonte: Lavoisier e Laplace, 1780; Editora Globo, 1996

No artigo II, “Experiências a respeito do Calor, feitas pelo método precedente”, Lavoisier e Laplace observaram inicialmente, pelo método das misturas, que o “Calor necessário para fundir uma libra de gelo pode elevar de 60 graus [60R] a temperatura de uma libra de água, de sorte que, se são postas juntas, uma libra de gelo a zero e uma libra de gelo a 60R ter-se-ão duas libras de água a zero, como resultado da mistura”. Considerando que 60R equivale a  $75^{\circ}\text{C}$ , este resultado, ao ser comparado com o que se observa atualmente, apresenta uma diferença de aproximadamente 6%.

No artigo III, intitulado “Exame das experiências e reflexões a respeito da teoria do Calor”, a discussão se iniciou com a admissão de que o Calor específico aumenta com a temperatura, além de estabelecer valores de Calores específicos e de Calores de reação. Depois houve especulações e considerações tentando

estabelecer o que se denomina “Calor absoluto”. Esta grandeza poderia ser entendida por meio de uma das alternativas possibilitadas pelas explicações do Calor como fluido e como movimento e seria importante para o desenvolvimento de uma nova hipótese para o Calor:

- 1) Considere todas as partículas do corpo em repouso, então seu “Calor absoluto” é zero
- 2) Considere todas as partículas sem o fluido impregnado e o seu “Calor absoluto” é zero

A ideia do “Calor absoluto” sob ambas as perspectivas é interessante e remete à ideia de espaço e tempo absolutos de Newton. Por outro lado, também se associa com a ideia moderna de energia interna de um sistema de partículas, vista como um somatório das várias contribuições. O conhecimento do “Calor absoluto” permitiria ter quantidades de Calor livre que se formariam ou se perderiam nas combinações e nas decomposições. No entanto, os resultados imprecisos fizeram Lavoisier abandonar a ideia do “Calor absoluto”, concluindo que apenas com o conhecimento dos Calores específicos não seria possível chegar aos Calores de reação e também que os Calores específicos das substâncias deveriam aumentar com a temperatura, segundo leis diferentes. Em seguida Lavoisier e Laplace discutiram o que denominaram “leis do equilíbrio do Calor”. Baseado nos dados de Kirwan relacionando os Calores específicos do gelo e da água, que se esta fosse resfriada até  $-83,3^{\circ}\text{C}$ , uma ligeira perturbação a transformaria imediatamente em gelo a  $0^{\circ}\text{C}$ . Segundo o “*Memóires*” (p. 316-318):

As moléculas de água têm em entre si, no estado de gelo, uma posição diferente que no estado de fluidez; ou, se imaginamos uma massa de água a uma temperatura abaixo de zero, e que, por uma agitação qualquer, altera-se a posição dessas moléculas, concebe-se, nesta variedade infinita de movimentos, que algumas dentre elas devem tender a se encontrar na posição necessária para formar o gelo. E, visto que esta posição é uma das quais o Calor está em equilíbrio, eles poderão tomar a posição, se o Calor que as afasta se distribui assim prontamente sobre as moléculas vizinhas; de sorte que o estado de fluidez da água será, portanto, menos firme quanto mais sua temperatura estiver abaixo de zero [...] O equilíbrio entre Calor, que tende a separar as moléculas dos corpos, e suas afinidades recíprocas, que tende a reuni-las, pode fornecer um meio bem preciso de comparar as afinidades entre si. Se colocarmos, por exemplo, a uma temperatura qualquer abaixo de zero, um ácido com o gelo, ele fundirá, até que [a afinidade] diminua, uma vez que sua força atrativa sobre as moléculas de gelo será igual à força que faz aderir estas moléculas umas às outras, e que será portanto mais intenso quanto a temperatura da mistura for menor que zero, e se poderá referir aos graus do termômetro as afinidades do ácido com a água, de acordo com seus diversos graus de concentração... e, se considerarmos da mesma maneira todas as outras dissoluções, poderemos medir com precisão as forças de afinidade dos corpos uns com os outros.

Mas esta teoria não pode ser desenvolvida com poucas palavras, e a faremos objeto de uma memória particular (tradução nossa).

A ideia de Lavoisier e Laplace de se medir a afinidade química num Calorímetro se baseia no mesmo princípio de medição que se utiliza atualmente.

Já no artigo IV, intitulado “Da combustão e da respiração”, Lavoisier e Laplace citaram os trabalhos de Crawford e as divergências com a perspectiva pró-flogístico deste último. Relataram também experimentos envolvendo reações de combustão de carvão, fósforo e enxofre e a relação com a quantidade de ar envolvida. As massas de ar foram determinadas a partir de medidas de volume de gás, nas mesmas condições de temperatura e pressão (12,5°C e 700 mmHg). As considerações para a densidade de ar foram obtidas de De Luc.

Massa de carvão = 3,3167 (hoje: 2,6667)

Massa de ar puro

Massa de carvão = 3,6715 (hoje: 3,6667)

Massa de ar fixo

Nessa época, a fração de “ar puro” (oxigênio) no ar, bem como sua densidade, não haviam ainda sido determinadas de maneira precisa. Após isso, determinaram que uma cobaia produz 224 grains de “ar fixo” (dióxido de carbono). Para realizar comparações, a cobaia foi colocada no mesmo aparelho em que foram feitas as combustões. As observações realizadas foram as seguintes:

Ocorreu a fusão de 26,692 onças de gelo na queima de carvão por 1 onça de ar fixo produzido, e, portanto, para se produzir 224 grains dever-se-á fundir 10,38 onças de gelo.

A cobaia, em 10 horas, fundiu 13,1484 onças de gelo. Descontando a massa de água de 2 ½ onças devido à respiração da cobaia, tem-se 10,6484 onças de gelo fundido, quantidade praticamente igual à produzida pela queima do carvão. Cabe ressaltar que a massa estimada de água por Lavoisier não leva em consideração a urina e as fezes da cobaia, levando a inferir que foi considerado um estado de semi-hibernação, reduzindo bastante as atividades metabólicas da cobaia. A potência térmica dissipada pela cobaia foi de cerca de 3W (10,85 kJ/h). Dessa forma, as inferências feitas a partir das observações foram (p. 380):

A respiração é, então, uma combustão bastante lenta, mas perfeitamente semelhante à do carvão. Ela se realiza no interior dos pulmões, sem despreendimento de luz sensível, porque a matéria do fogo, tornando-se livre, é então absorvida pela umidade destes órgãos. O Calor desenvolvido nesta combustão, comunica-se ao sangue, que passa pelos pulmões, e se espalha por todo o sistema animal. Assim o ar que respiramos serve para duas finalidades igualmente necessárias à nossa conservação; ele retira do sangue a base do ar fixo [o carbono] onde o excesso será prejudicial; e o Calor que esta combinação produz nos pulmões repara a perda contínua que nós dissipamos atmosfera e aos corpos que nos rodeiam (LAVOISIER e LAPLACE, 1780, p. 380, tradução nossa).

Nos trabalhos posteriores com Seguin, Lavoisier e Laplace admitiram que a combinação do oxigênio com o carbono e o hidrogênio não se dava apenas nos pulmões, mas no curso da circulação. Os autores, em seguida, discutiram o Calor despreendido pelo “animal tranquilo” – hoje conhecido como metabolismo basal – e considera que pássaros são mais adequados para esses estudos que quadrúpedes, pois produzem, no mesmo período de tempo, uma quantidade maior de “ar fixo”. Por esse motivo, diversos trabalhos do século XX a respeito da fisiologia e da bioquímica dos processos metabólicos foram feitos utilizando-se dos músculos do peito da pomba.

Analisados os estudos de Lavoisier e de Laplace, é possível observar as linhas de pesquisa termoquímica e fisiológica que levaram à Primeira Lei da Termodinâmica. Alguns experimentos, mesmo que não fossem pioneiros, foram fundamentais como marco teórico inicial dessa linha de pesquisa. Seria impossível pensar na Primeira Lei da Termodinâmica sem estabelecer a conservação da massa.

Lavoisier, no *Traité Élémentaire de Chimie*, fez uma analogia entre a combustão dos elementos químicos e a respiração. Lavoisier observou inicialmente que o óxido de ferro quando aquecido se transformava em ferro, libertando um gás com as mesmas propriedades que o “ar do fogo” e que designou inicialmente por “ar altamente respirável”, “parte respirável do ar” e depois por oxigênio, base com capacidade para formar ácidos em combinação com outras substâncias. A ligação desta base com o calórico designa-se de gás oxigênio.

O oxigênio foi isolado em 1774 por Carl Wilhelm Scheele (1742-1786) e Joseph Priestley (1733-1804) mas ainda denominado de “ar desflogisticado”. Eles explicavam a combustão por meio da hipótese do flogístico lançada no início do século XVIII por Georg Stahl (1660-1734), como o resultado da libertação do flogístico contido nos corpos e sua união com o “ar do fogo”, conforme discutido

anteriormente. A cor escura do sangue venoso era explicada pelo maior teor de flogístico e a cor vermelha do sangue arterial à retirada do flogístico pelo ar dos pulmões.

Já a observação de Lavoisier no artigo IV de *Memoires* em relação à combustão do oxigênio e a liberação do “ar fixo” na cobaia levou à atribuição da cor vermelha do sangue arterial ao oxigênio e a cor escura do sangue venoso ao gás carbônico. Laplace submeteu esta hipótese a uma análise matemática e concluiu que o Calor produzido era proporcional ao consumo de oxigênio. O erro de Lavoisier, demonstrado por Lagrange, foi o de acreditar que a combustão se dava apenas nos pulmões, onde o sangue entrava em contato com o ar inspirado e que o Calor gerado nos pulmões seria distribuído pelo sangue a todo o corpo. (MELO, 2010).

Joseph Lagrange (1736-1813), matemático e astrônomo francês, demonstrou com base em cálculos matemáticos, que se a combustão ocorresse apenas nos pulmões, a troca de Calor seria tão intensa que lesaria todo o parênquima pulmonar. Ele defendeu a ideia de que o consumo de oxigênio e a produção de dióxido de carbono se dava em todos os órgãos e que nos pulmões apenas se dava a troca de gases.

Gustav Magnus (1802-1870), químico, físico e fisiologista alemão, dosou pela primeira vez o oxigênio e o dióxido de carbono no sangue arterial e venoso, observando que as trocas de oxigênio e dióxido de carbono não se davam apenas no pulmão, mas sim em todo o organismo no interior dos tecidos.

### 3.3.1 – Mayer e a Conservação de Energia inferida no sangue

Julius Robert Mayer (1814-1878) nasceu em Heilbronn, cidade germânica que passou por uma rápida industrialização durante o século XIX. Filho de um farmacêutico, Mayer e seus irmãos se familiarizaram com a profissão desde a infância, o que os levou a seguir carreira na medicina. Apesar de fisiologista, Mayer também se interessava por astronomia e filosofia natural (CANEVA, 1993).

Mayer se baseou no princípio da conservação da massa – ou matéria – proposto por Lavoisier para a proposição de seu princípio de conservação de energia. Em 1840, quando de sua viagem a Java, observou que a passagem do “calórico” entre corpos vizinhos para a manutenção do equilíbrio é análogo à

transformação de um tipo de força ou forma de energia em outra. Como o tratamento médico na época envolvia sangramentos, Mayer observou que o sangue dos marinheiros recém-chegados da Europa era mais vermelho do que o daqueles que estavam há longo tempo nos trópicos. Mayer pensou que este fenômeno se devia à menor diferença de temperatura entre o organismo e o ambiente nos trópicos e, portanto, menos combustão do oxigênio e menos consumo de oxigênio para manter o organismo quente.<sup>11</sup>

Influenciado pela leitura de Lavoisier, Mayer concluiu que a diferença de cor se dava pelo motivo da concentração de oxigênio no sangue venoso ser muito maior nos trópicos do que na Europa em função de o corpo necessitar consumir menos oxigênio no calor tropical do que no frio europeu.

No caso dos animais, a força química dos alimentos e do oxigênio absorvido pela respiração que estaria na origem dos movimentos que realizam e do calor que desenvolvem. Isto justificaria porque um indivíduo em atividade necessita de mais força química que um indivíduo em repouso. Mayer citou exemplos numéricos de inferências realizadas: as quantidades de ração para cavalos em repouso e em movimento; a alimentação de presos, que estão em repouso, de soldados na caserna ou de trabalhadores em grande esforço físico. Os dados disponíveis mostrariam que com o aumento de atividade seria necessária mais força química.

A quantidade de trabalho mecânico ou de calor corporal produzida pelo corpo deve ser igual à quantidade de calor produzida pela oxidação do alimento consumido pelo corpo, de maneira que a energia não é criada ou destruída, mas transformada de uma forma em outra. Como Mayer observou que trabalho pode ser transformado em calor e vice-versa, ele se dedicou a responder à seguinte questão: “o quão grande é a quantidade de calor que corresponde a uma dada quantidade de energia mecânica (cinética ou potencial)?” Em outras palavras, qual é a relação de

---

<sup>11</sup> No século XIX, fisiologistas atribuíam ao fígado a função de remover o dióxido de carbono em excesso no sangue por meio da biliar. Esta hipótese assentava na ideia de que o sangue nos climas quentes era mais escuro que nos climas temperados, pois havia menos oxigenação do sangue e menos liberação do dióxido de carbono no sangue. O que era suposto, no caso, se baseava em duas ideias: se por um lado havia a ideia baseada na diferença de temperatura do organismo e do ambiente, sem relacionar com a fonte de calor animal, ou seja, a não existência de uma equivalência entre o consumo de oxigênio e a produção de dióxido de carbono, por outro lado na ideia de que o fígado era o órgão que eliminava o dióxido de carbono do sangue venoso por meio da biliar, e nos climas quentes havia mais biliar no sangue venoso, e conseqüentemente, mais dióxido de carbono (MELO, 2014).

conversão entre a unidade em que se mede a quantidade de calor Q e a unidade em que se mede energia E?

Mayer conseguiu, usando alguns resultados experimentais conhecidos na época, em 1842, chegar à relação  $1 \text{ cal} = 3,6 \text{ J}$  (1 caloria = 367 Kg.m), que é apenas 14% diferente do valor correto medido atualmente<sup>12</sup>. O equivalente mecânico do calor foi dado segundo a seguinte descrição: o calor necessário para aumentar em um grau um grama de água é equivalente a um grama de água à altura de 367 m.

De acordo com Maury (1986), Mayer foi o mais “azarado” dos pesquisadores que desenvolveram equivalentes mecânicos do calor pois, embora tenha publicado os seus resultados sobre o equivalente mecânico do calor, em maio 1842, foi Joule que teve o seu nome imortalizado como unidade de energia do Sistema Internacional. De acordo com Bruhat (1968), Mayer foi o primeiro a ter formulado, em 1845, o princípio geral de conservação da energia e sugeriu aplicá-lo aos fenômenos elétricos, às reações químicas e aos processos biológicos.

A construção a seguir será realizada com base em Passos (2004) para demonstrar como Mayer procedeu para obter o valor de seu equivalente mecânico:

Mayer determinou que era preciso fornecer uma quantidade maior de calor para provocar uma diferença de temperatura  $\Delta T$  em uma determinada massa de gás à pressão constante do que a volume constante e que o calor adicional era equivalente ao trabalho realizado sobre a atmosfera para aumentar de  $\Delta V = m\Delta v$  o volume do gás, conforme Hogben (1952) e Bejan (1988). Na equação, abaixo, é apresentada a formulação matemática do raciocínio de Mayer:

$$J[mc_p\Delta T - mc_v\Delta T] = W = pm\Delta V \quad (16)$$

Onde J, m,  $c_p$ ,  $c_v$ , W, p e v, representam o equivalente mecânico do calor, a massa do sistema, o calor específico à pressão constante, o calor específico a volume constante, o trabalho de expansão do gás, a pressão e o volume específico, respectivamente. A Equação (16) pode ser reescrita na forma diferencial da seguinte maneira:

$$J(c_p - c_v) = p \left( \frac{dv}{dT} \right)_p \quad (17)$$

---

<sup>12</sup> A carta de Mayer a respeito do equivalente do Calor data de 1848, “*Sur la transformation de la force vive em chaleur, et réciproquement*”.

Por meio dos valores de  $c_p$  e  $c_v$  já conhecidos e aceitos na época da formulação, Mayer obteve  $J=365$  kgm/kcal. Atualmente, trabalhando no Sistema Internacional, é possível demonstrar sem dificuldade que a expressão geral para a diferença entre  $c_p$  e  $c_v$  é fornecida pela equação a seguir, conforme Borel (1991), e a Equação (17) constitui um caso particular:

$$c_p - c_v = T \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right) + T \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right) \quad (18)$$

que, se aplicado a um processo à pressão constante, como no caso de Mayer, obtém-se que:

$$c_p - c_v = T \left( \frac{\partial p}{\partial T} \right)_v \left( \frac{\partial v}{\partial T} \right)_p \quad (19)$$

As equações (16) a (19), quando aplicadas a um gás ideal, onde  $p v = RT$ , onde  $R$  representa a constante dos gases, conduz à chamada equação de Mayer, na qual:

$$c_p - c_v = R \quad (20)$$

Comparando as Eqs. (17), (19) vê-se que Mayer chegou a um resultado coerente com o que hoje é aceito, considerando os valores de  $c_p$  e  $c_v$  de sua época, por vias errôneas, pois a Eq. (16) só é correta para um gás perfeito.

No Quadro 8 são resumidos os valores do equivalente mecânico do calor obtidos por diferentes autores e a descrições resumidas dos métodos empregados. Os valores obtidos por Joule serão apresentados no próximo item.

Quadro 7 - Dados a respeito da determinação do equivalente mecânico do calor.

Ano	Autor	Detalhamento e referências	Equivalente mecânico
1788	Benjamim Thompson (Conde de Rumford) (1753-1814)	Com cilindros metálicos mergulhados em água por meio do atrito fez ferver a água, Prigogine e Kondepudi (1999). Na condição de diretor do Arsenal de Munich, Rumford fez com que dois cavalos fizessem girar no interior de um tubo de canhão de bronze, envolto por 13 litros de água, uma peça. Ao final de duas horas a água começou a ferver, Bruhat (1968).	5,5 J/cal = 560,65 kgf.m/kcal
1824-1832	Sadi Carnot (1796-1832)	Fox (1978)	3,7 J/cal= 377,17 kgf.m/kcal
1842	Julius Robert von Mayer (1814-1878)	Obteve o equivalente mecânico para o ar, Bruhat (1968).	3,6 J/cal= 365 kgf.m/kcal

1854	Gustavo Adolphe Hirn (1815-1890)	A experimnto de Hirn consistia de um cilindro girante no interior de outro cilindro, cujo espaço anular entre os cilindros era preenchido com um líquido em escoamento cujas temperaturas de entrada e saída eram medidas. Com uma balança media-se o torque exercido sobre o tambor externo. Joule (1878) faz referência à seriedade do trabalho de Hirn em relação ao equivalente mecânico.	3,6 J/cal= 370 kgf.m/kcal 4,2 J/cal= 432 kgf.m/kcal
1875	James Clerk Maxwell (1831-1879)	Experimnto semelhante ao de Hirn, utilizou, porém, canais cônicos, com o eixo de revolução vertical.	

Fonte: Passos (2009)

### 3.3.2 – Os experimentos de Joule

James Prescott Joule viveu de 1818 a 1889. Contribuiu significativamente para o desenvolvimento da Termodinâmica, a principal delas tendo sido um sistemático e longo trabalho experimental para determinar o equivalente mecânico do calor, ou seja, a relação entre a "transformação de trabalho em calor". Ao longo de 35 anos, de 1843 a 1878, aperfeiçoou métodos experimentais a fim de conseguir crescente precisão, e foi encorajado a prosseguir em suas pesquisas por William Thompson (Lorde Kelvin). Foi ensinado por Dalton, na Universidade de Manchester, mas foi um cientista “amador” e sua família era proprietária de uma cervejaria, anexo à qual se encontrava seu laboratório de ensaios experimentais em Oak Field, perto de Manchester, na Inglaterra. Um elemento comum a Joule e Mayer é que ambos, por serem considerados “amadores”, tiveram dificuldades para apresentar os seus resultados perante as Academias de Ciências.

A precisão experimental do valor do equivalente mecânico dependia da precisão dos valores dos calores específicos de várias substâncias. Joule (1844, 1845a,b) analisou os diferentes métodos até então empregados como o do calorímetro empregado por Lavoisier e Laplace e já descrito anteriormente – artigos I e II do trabalho de 1780, o de dois corpos com massas conhecidas a temperaturas diferentes colocados em contato e um terceiro que consistia em comparar as taxas de resfriamento de diferentes materiais submetidos às mesmas condições de resfriamento. Joule (1845) observou que era possível obter maior precisão com um novo método, baseado na dissipação de calor por um condutor atravessado por uma

corrente elétrica, fenômeno este conhecido atualmente como efeito Joule (PASSOS, 2009).

Segundo Guerra, Reis e Bonfim (2016), as dificuldades enfrentadas quanto à publicação e aceitação de seus trabalhos foram marcantes no início da carreira tanto de Mayer quanto de Joule. Com a posterior articulação e aceitação de suas proposições pela comunidade científica, surgiu uma disputa para receber os louros pela autoria da primeira publicação com essas ideias originais. Essa disputa pode ser vista como uma busca por prestígio individual e aceitação por seus pares. Em algumas publicações, feitas por ambos nesse período, é possível encontrar ataques diretos, ainda que educados, a seus adversários. Martins (1984, p. 75, nota 48) cita algumas dessas publicações, feitas inclusive por outras personalidades que decidiram tomar partido na disputa. Em um desses trechos, Joule ironiza as capacidades de Mayer, após apontar possíveis discrepâncias na pesquisa do rival:

De acordo com esses fatos, todos apreciarão a sagacidade do sr. Mayer em predizer as relações numéricas que seriam estabelecidas entre o calor e o poder: mas não se pode negar, creio, que eu tenha sido o primeiro a demonstrar a existência do equivalente mecânico do calor, e que tenha fixado seu valor numérico por experiências incontestáveis. (Joule, 1849, p.135 citado em MARTINS, 1984, p.74)

Em resposta, em publicação própria no mesmo ano, Mayer afirma:

De resto, estou persuadido de que o sr. Joule realizou suas “descobertas” sobre o calor e a força sem conhecer as minhas, e os numerosos méritos desse ilustre físico inspiram-me uma grande estima: mas creio que estou em meu direito repetindo que fui eu quem primeiro publicou, no ano de 1842, a lei da equivalência do calórico e da força viva, com sua expressão numérica. (Mayer, 1849, p.534 citado em MARTINS, 1984, p.75)

Nesse último trecho, Mayer tomou uma postura excessivamente educada, elogiando seu competidor. Essa postura, segundo Guerra, Reis e Bonfim (2016) deixa brechas para questionar se, implicitamente, Mayer não está acusando, Joule por plágio. Como já mencionado, existia uma circulação de informações à época. Apesar disso, a primeira publicação de Mayer, de 1842, não teve grande repercussão até o início da disputa e, por isso, Joule poderia muito bem desconhecê-la, já que era uma publicação marginal em língua alemã (SMITH, 1998). Não se pode negar a prioridade de Mayer na publicação, o que não significa, contudo, que Joule o plagiou. Além disso, ambos partiam de experiências e observações distintas, apesar de chegarem a conclusões semelhantes.

A primeira inferência atribuída a Joule, em 1840, é a de que a quantidade de calor dissipada quando uma corrente elétrica de intensidade  $i$  atravessa um fio com resistência elétrica  $R$ , durante um intervalo de tempo  $t$ , é  $Q = Ri^2t$ . Joule utilizou dois fios de platina de mesma resistência, com os mesmos comprimentos e diâmetros, um mergulhado em água e outro em outro líquido, cujo calor específico devia ser determinado, ambos ligados em série e fazendo parte de um mesmo circuito elétrico alimentado por uma bateria. Após um intervalo de tempo de 5 a 10 min e tendo medido a variação de temperatura no líquido e na água era possível obter o valor do calor específico. Uma das dificuldades era a necessidade de se medir com precisão a corrente elétrica, o que exigia galvanômetros suficientemente precisos, tarefa não muito fácil, em 1845.

O método exigia, ainda, a determinação experimental da capacidade térmica dos vasos utilizados, cuja espessura de parede era bem fina de forma a se chegar a uma capacidade térmica bem menor do que a do material neles contido e podia ser aplicado na determinação do calor específico de sólidos e gases (PASSOS, 2009). Simplesmente dizer que essa quantidade de calor tinha sido “criada” seria equivalente a saltar imediatamente para as conclusões. De fato, a corrente era produzida por uma reação química, que poderia muito bem ser a fonte do calórico, que seria então redistribuído quando aparecesse na resistência. Para decidir essa questão, Joule produziu correntes por indução magnética. Finalmente, observando que o método de produção da corrente era irrelevante, ele concluiu que o calórico tinha sido mesmo criado e não apenas redistribuído nas suas experiências.

As publicações de Joule (1887) consistem um conjunto de estudos com sólido embasamento experimental que certamente fortaleceram a sua associação à formulação e à determinação do equivalente mecânico do Calor, além de ter suas ideias endossada por William Thompson (Lorde Kelvin), um dos mais respeitados cientistas da sua época. Thompson e Joule se encontraram pela primeira vez em 1847, e Joule (1849) relembra a sua primeira comunicação à Sociedade Real da Inglaterra em 1843 e à qual retornava para divulgar o valor definitivo do equivalente mecânico do calor, feita por Michel Faraday. Neste trabalho de 1844, Joule mostra seus estudos sistemáticos, com inúmeras repetições e análise estatística dos resultados. Cabe ressaltar que a incerteza admitida para o termômetro de  $0,008^\circ\text{F}$  (ou  $0,0044^\circ\text{C}$ ) para medir a temperatura do banho representado pela Figura 10 ainda

hoje seria bastante duvidosa. Além disso, outros detalhes do aparato não estão bem explicitados, como o compartimento constituído de madeira a fim de reduzir perdas de calor para o exterior, além de suportes hidráulicos para o calorímetro.

O calorímetro era constituído por um recipiente cilíndrico de latão, com placas verticais fixas, em intervalos de  $90^\circ$  e um agitador com dez pás presas a um eixo vertical que poderia girar quando as massas totais  $M$ , presentes no exterior do equipamento, caíam de uma determinada altura  $H$  exibida na Figura 10. Os movimentos descendentes eram sistematicamente repetidos, enquanto um contador determinava o número de rotações do eixo. A variação de energia potencial da massa  $M$  transmitida ao eixo promovia o aumento de temperatura do líquido contido no calorímetro, devido ao atrito com as pás que se movimentavam.

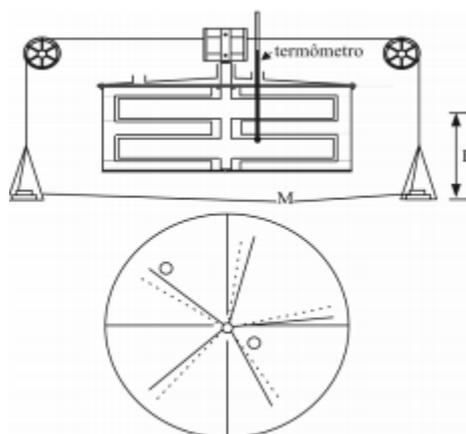


Figura 10 - Esquema do Calorímetro utilizado por Joule (1963). Diâmetro: 0,84 m; altura: 0,34 m.

Fonte: Passos (2009, p. 5)

Para aprimorar seus resultados, construiu um dispositivo auxiliar para a determinação do calor específico utilizando um bloco compacto de latão conformado a partir do mesmo material usado na fabricação do calorímetro e das pás (Figura 11).

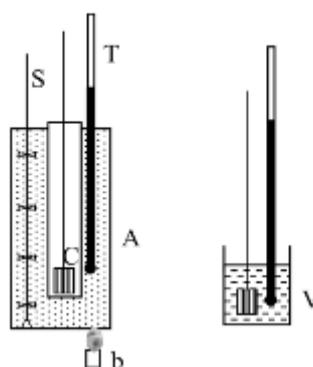


Figura 11 - Aparato auxiliar para a determinação dos calores específicos do latão e do cobre, Joule (1844).

Fonte: Passos (2009, p. 6)

O bloco de latão era aquecido por três horas, suspenso por um fio no interior de um poço C aquecido por um banho de água, que por sua vez era aquecido pela chama de um bico de Bunsen representado por b. Após as três horas, o bloco aquecido era retirado, a temperatura do banho era prontamente anotada e o bloco era mergulhado em um outro recipiente com água destilada à temperatura uniforme. Cinco minutos depois, a temperatura era anotada e realizado o balanço de energia, sendo possível determinar o calor específico do latão. Além disso, Joule também determinou o calor específico do cobre, além da influência do ar externo em relação às medidas tomadas no calorímetro.

Os valores do equivalente mecânico observados por Joule (1844) foram: 424,77 kgf.m/kcal, mediante o resfriamento do ar, e 451,66 kgf.m/kcal com o experimento eletromagnético. Em publicações anteriores, os valores observados foram de 424 kgf.m/kcal com um experimento de atrito em fluidos, em 1850, e de 429,4 kgf.m/kcal em 1867 com um experimento de dissipação de calor em uma resistência elétrica, pela qual passava corrente elétrica. Os últimos valores do equivalente mecânico obtido por Joule são bastante próximos dos aceitos atualmente ( $424 \text{ kgf.m/kcal} = 772,55 \text{ lbf.pé/BTU}$ ).

O valor aceito atualmente é de 427 kgf.m/kcal ou 778,16 lbf.pé/BTU. Além de seu experimento clássico, Joule desenvolveu a sua formulação a partir de outras formas de energia, como o calor decorrente de uma resistência elétrica, em 1867 (PASSOS, 2009).

Prigogine e Kondepudi (1999, p. 34) trazem que Joule concluiu que:

De fato, os fenômenos naturais, sejam eles mecânicos, químicos ou da vida, consistem quase unicamente em conversão entre a atração através do espaço (energia potencial), a força viva (energia cinética) e o calor. E assim que a ordem é mantida no universo - nada é perturbado, nada é nunca mais perdido, mas toda máquina, por mais complicada que seja, trabalha de forma continuada e harmoniosa [...] tudo é preservado com a mais perfeita das regularidades – o todo sendo governado pela soberana vontade de Deus.

Sonntag *et al.* (1998) apresentam o princípio da conservação de energia partindo da formulação do princípio da equivalência de Poincaré (1892). Bejan (1988) denomina esta proposição de esquema de Poincaré, que por sua vez denomina de primeiro princípio da Termodinâmica de Mayer. De acordo com esta formulação, em um sistema fechado submetido a uma transformação cíclica, a integral cíclica do calor é igual à integral cíclica do trabalho:

$$\oint \delta Q = \oint \delta W \quad (21)$$

A Equação (21) pode ser aplicada à água contida no interior do calorímetro desenvolvido por Joule (Figura 10). Considerando-se uma transformação adiabática de 1 a 2, em que o sistema-água é aquecido por meio do atrito com as pás do eixo que gira ao receber trabalho

$${}_1W_2 = MgH = mc_p(T_2 - T_1) \quad (22)$$

Para o sistema retornar ao estado inicial 1, é necessário retirar o isolamento térmico do calorímetro a fim de permitir que o sistema perca calor para o meio externo, durante a transformação 2-1,  ${}_2Q_1 = mc_p(T_1 - T_2)$ , com M mantida na sua posição  $h=0$ ,  ${}_2W_1 = 0$ . Uma vez aceito o princípio da equivalência entre calor e trabalho como formulado na Equação (21), observa-se que a diferença entre Q e W independe da transformação, sendo função apenas dos estados final e inicial, e, portanto, trata-se de um fenômeno conservativo. Na Figura 12 é apresentado um esquema no qual é possível se aplicar a Equação (21) e se obtenha os resultados para as transformações cíclicas 1A2C1 e 1B2C1

$$({}_1Q_2 - {}_1W_2)_A = ({}_1Q_2 - {}_1W_2)_B = U_2 - U_1 \quad (23)$$

onde  $U_1$  e  $U_2$  representam as energias internas nos estados inicial e final, respectivamente

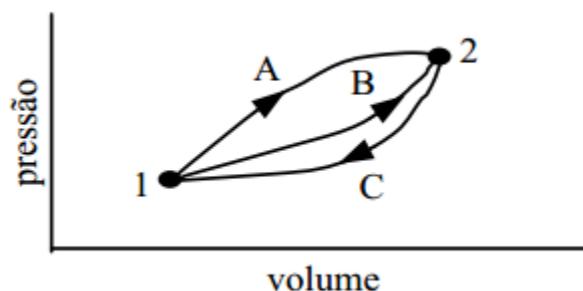


Figura 12 - Esquema para a demonstração da invariabilidade de  $(Q + W)$  em um processo.  
Fonte: Passos (2009, p. 7)

Borel (1991), por sua vez, enuncia a primeira lei da Termodinâmica: “para se fazer passar um sistema termodinâmico, adiabático e fechado, de um estado 1 a um estado 2, é necessário que o meio exterior realize um certo trabalho sobre o sistema. Este trabalho independe: a) da sucessão de estados intermediários entre os estados inicial 1 e final 2 e b) do tipo de energia envolvido – mecânica, elétrica, química, entre outras. A expressão simbólica diz que:

$$\Delta U \equiv U_2 - U_1 = -{}_1W_2 \quad (24)$$

onde  $\Delta U$  e  ${}_1W_2$  representam a variação de energia interna, entre os estados inicial e final, e o trabalho que o meio exterior realiza sobre o sistema, respectivamente. O sinal negativo do trabalho é uma convenção, que nesse caso considera negativo o trabalho que o sistema realiza sobre o meio exterior. Fermi (1937) considera a Equação (24) como uma definição experimental para a energia interna do sistema. A Equação (24) representa matematicamente o experimento de Joule, e mostra que o trabalho em um processo adiabático não depende do caminho, o que foi observado nos resultados obtidos por Joule.

Uma terceira formulação é atribuída a Keenan e Shapiro (BEJAN, 1988) e é análoga à da Equação (24), em que se considera uma transformação sem realização de trabalho:

$$\Delta U \equiv U_2 - U_1 = {}_1Q_2 \quad (25)$$

### 3.3.3 – Formulações para a Primeira Lei da Termodinâmica

Clausius (1822 – 1888) foi um dos principais responsáveis pela aproximação da Teoria do Calor e a Teoria Cinética. Na teoria referente ao calórico, duas ideias centrais explicavam fenômenos térmicos: (1) o calor total no universo é conservado

e (2) o calor presente em qualquer substância é uma função de estado daquela substância. Na Termodinâmica, o estado de uma substância simples e homogênea pode ser definido por duas de três variáveis (pressão, temperatura e volume); e qualquer propriedade determinada por similaridade, conhecida como função de estado, é submetida a um tratamento matemático bem construído.

Em relação à segunda consideração, ele transformou os estudos do calórico em um sofisticado sistema matemático em que relações permanentemente válidas poderiam ser concluídas. Poisson estabeleceu a relação entre pressão e volume para a expansão adiabática dos gases, e Clapeyron relacionou a temperatura com a variação de pressão. O comportamento de gases e do vapor também tinha uma proposta de explicação com base na ideia do calórico, em termos do estado livre e latente do calor. O calor livre podia ser sentido e medido por meio de termômetros; o calor latente, intimamente ligado com as ligações das moléculas, não poderia. Adicionalmente, a temperatura de um gás aumentava quando ele comprimia, pois, uma parcela de seu calor latente de ligações se transformava em calor livre. Dessa forma, Clausius refutou o princípio de Carnot, que admitia que um motor a vapor trabalharia somente porque seu calórico diminuía de temperatura, além de refutar as considerações fundamentais da hipótese do calórico e de desenvolver uma nova explicação mecânica para os conceitos de calor latente e livre (BARBARINI, 2017).

A construção da recusa resultou na proposição da Primeira Lei da Termodinâmica: toda vez que trabalho é produzido por meio de calor, é consumida uma quantidade de calor equivalente à quantidade de trabalho produzida, observada por Joule e Mayer em seus experimentos e práticas. Dessa forma, a primeira ideia dos estudos do calórico, de que o calor total no universo é conservado, não faria mais sentido; além disso, o conceito usual de Calor em uma substância, representando o total de calor adicionado para aquela substância, não poderia ser mais considerado como função de estado. Nessa reinterpretação, a única forma de calor que poderia haver numa condição real era o calor livre, entendido como a *vis viva* (energia cinética) das partículas fundamentais da matéria e determinada pela temperatura. A ideia do Calor latente foi refutada pela conversão em trabalho interno contra forças intermoleculares e trabalho externo contra a pressão da vizinhança.

Em 1850, em *Über die bewegende Kraft der Wärme* (“A respeito da força motriz do calor e das leis de Calor que podem ser deduzidas”), Clausius não propôs expressões matemáticas para as suas ideias interpretativas do Calor de um corpo e

trabalho interno, mas só as ilustrou com uma explanação a respeito da vaporização da água, mas criaram os alicerces conceituais de sua teoria. Na edição de *Die mechanische Wärmetheorie*, de 1887, ele apresentou a Primeira Lei da Termodinâmica como:

$$dQ = dH + dJ + dW \quad (26)$$

em que o incremento infinitesimal  $dQ$  adicionado a um corpo equivale à somas de mudanças de calor do corpo  $dH$ , do trabalho interno  $dJ$  e do trabalho externo  $dW$ . Algum tempo depois Clausius admitiu a ignorância em relação à expressão do trabalho interno  $dJ$  e apresentou a expressão diferencial clássica da Primeira Lei da Termodinâmica, em que:

$$dQ = dU + dW \quad (27)$$

na qual  $U$  era simplesmente a energia interna do corpo, sem tentativa de especificar ou diferenciar em formas moleculares. A energia interna, propriedade de estado representada por  $U$ , é um elemento fundamental na proposição da nova teoria mecânica do calor, proposta por Clausius em sua relevante publicação de 1850.

A forma na qual Clausius relacionou  $U$  como uma propriedade de estado de uma substância revela outra característica distinta de seu pensamento. Em sua abordagem da teoria do Calor, conceitos de caráter geral não deveriam ser dependentes de modelos particulares, pois os conceitos formam a estrutura na qual os modelos deveriam funcionar. Clausius poderia apresentar  $U$  como uma simples soma de  $H$  e  $J$ , mas preferiu ser mais sólido em sua argumentação por meio da análise de um infinitesimal ciclo de Carnot, tendo uma visão mais generalista de suas premissas.

Quando Thompson desenvolveu sua teoria dinâmica do Calor (apresentada em "*On the Dynamical Theory of Heat*"), ele não explicou a grandeza  $U$  em função dos estados de energia molecular. Simplesmente argumentou que se  $Q$  e  $W$  devem ser iguais toda vez que uma determinada substância percorre um ciclo completo de mudanças (consequência do teorema de equivalência do Calor e do Trabalho), e se cada função (característica da substância), não mostra alteração resultante em um ciclo, então  $Q-W$  deveria representar alguma função da substância. A observação macroscópica foi denominada por ele de "energia intrínseca" para  $U$ . Clausius havia

proposto a função  $U$  um ano antes de Kelvin, sem dar nome a ela, pois o calor em um corpo  $H$  e o trabalho interno  $J$  eram seus conceitos fundamentais.

A fim de simplificar a função  $U$  e de obter o equacionamento para o comportamento adiabático dos gases, ele argumentou que as forças intermoleculares são desprezíveis em gases devido à relativa uniformidade de suas relações de pressão, volume e temperatura. Clausius estava próximo de reduzir a função  $U$  para o Calor envolvido em um processo térmico a volume constante e demonstrou que esse calor poderia ser expresso em função somente da temperatura. Simplificar a função  $U$  requer o uso da Segunda Lei da Termodinâmica, mas Clausius baseou-se na conservação de energia e em seu modelo molecular para o Calor e para o trabalho interno. Seu modelo para o Calor talvez também tenha contribuído no raciocínio para a revisão do argumento do calórico de Carnot, que permitiu incorporar a maioria dos resultados significativos da anterior perspectiva à nova estrutura teórica.

#### 3.3.4 – Entalpia: Grandeza fundamental na análise e na compreensão da Termoquímica

Os estudos em Termoquímica se iniciaram com Lavoisier e Laplace (1780), que estabeleceram que o calor transferido em uma reação é igual ao calor envolvido em uma reação reversa. Os químicos, na primeira metade do século XIX estavam mais preocupados com a análise e com as reações de compostos orgânicos e inorgânicos, e não acompanharam os estudos referentes aos processos térmicos envolvidos em reações.

Apesar desse fato, os estudos calorimétricos de Black e os estudos de conservação da massa e de combustão realizados por Lavoisier e Laplace foram seguidos por outros pesquisadores, como Favre e Silbermann, Hess, Dulong, Graham e Andrews, cujas inferências contribuíram com pesquisas desenvolvidas por Thomsen e Berthelot.

Pierre-Louis Dulong é famoso principalmente pela observação e proposição do princípio dos Calores atômicos: “os átomos de todos os corpos simples têm exatamente a mesma capacidade térmica”. Dulong, em outubro de 1811, estava completando suas pesquisas a respeito da possibilidade de sintetizar um composto de nitrogênio e cloro. Infelizmente o produto, o tricloreto de nitrogênio, era altamente

explosivo e Dulong ficou seriamente ferido, perdendo um dedo e a visão de um dos olhos. Retomou os experimentos e novamente se feriu, observando e inferindo que o tricloreto de nitrogênio era um composto endotérmico (um conceito desconhecido até então).

O trabalho de Germain Henri Hess talvez seja um dos mais originais, visto que pouco havia sido desenvolvido especificamente para discussões a respeito da Termoquímica. Nessa época, o Calor era objeto de estudo dos físicos. Sua própria formação não propiciou sua preparação para os estudos termoquímicos, motivo pelo qual ele também se dedicou aos estudos de reações orgânicas e inorgânicas, assim como os seus colegas químicos contemporâneos. Hoje, seus trabalhos relacionados à Termoquímica são mais relevantes e a sua generalização mais reconhecida – a lei de Hess – leva o seu sobrenome.

Hess nasceu em Genebra, na Suíça, mas aos três anos se mudou com a família para São Petesburgo, na Rússia, onde seu pai era professor. Desenvolveu seus primeiros trabalhos em química de minerais e em análises químicas. Em 1838 começou a desenvolver a sua linha de pesquisa que o tornou imortalizado na termoquímica. No trabalho *“The evolution of heat in multiple proportions”* (“A evolução do Calor em proporções múltiplas), ele mostrou que vários hidratos de ácido sulfúrico poderiam ser detectados pelo calor envolvido em sua formação. Hess introduziu o termo “termoquímica”, pela primeira vez, em um artigo em francês chamado *“Recherches thermo-chimiques”*, apresentado na Academia Imperial de Ciências de São Petesburgo em 1840, além de uma versão em alemão no *Poggendorf’s Annalen der Chemie und Physik*. Neste trabalho, observou que não só para a formação de hidratos de ácido sulfúrico, mas também para o calor de formação do sulfato de amônio em solução aquosa e da reação de neutralização de ácido clorídrico com hidróxidos de sódio e potássio, o calor envolvido era sempre o mesmo, independente se o processo ocorria em etapa única e direta ou em uma sequência de passos intermediários.

A “lei da soma constante do Calor” obviamente mostrou como era possível determinar o calor de reações que não ocorriam de maneira direta, e isso serviu de base para todos os seus posteriores trabalhos em Termoquímica. É necessário ressaltar que, embora a lei seja claramente dependente da conservação de energia, essa não havia ainda sido proposta na época em que Hess desenvolvia seus

estudos, sendo pela primeira vez anunciada por Mayer em 1842, conforme já discutido.

Hess apreciava de maneira significativa a sua lei, e não hesitou em desenvolver aplicações práticas para ela. Uma excelente ilustração pode ser encontrada em uma carta que ele escreveu a Arago, em 1840. Nessa época, o poder calorífico do carvão tinha sido estimado pela quantidade de oxigênio necessária para queimá-lo. O químico britânico Ure observou que, quanto maior a quantidade de hidrogênio presente no carvão, menor o calor que era liberado, dessa forma a medição por meio do método da quantidade de oxigênio não garantia uma medição precisa do poder calorífico. Ure tentou explicar o fenômeno assumindo que os vapores formados pela queima do carvão absorviam calor. Hess apontou seus equívocos, e complementou que (LEICESTER, 1951, p. 582):

A soma dos calores correspondentes a certa quantidade de água e ácido carbônico que supomos que é liberada da combustão sendo constante, evidencia que se o hidrogênio é encontrado previamente com o carbono, essa combinação não pode ter acontecido sem a evolução do calor; essa quantidade já eliminada não pode ser recuperada na quantidade envolvida para uma determinada combustão. Isso resulta, na prática, na simples regra: um composto combustível sempre envolve menos calor que seus elementos tomados separadamente... eu tenho a plena convicção de que nós teremos uma ideia precisa do fenômeno químico somente quando fomos bem-sucedidos em indicar em nossas formulações as razões de relações de Calor como fazemos hoje na proporção relativa de átomos em uma fórmula ponderada; pelo menos a termoquímica promete revelar as ainda secretas leis da afinidade (tradução nossa).

Continuando seus estudos, Hess desenvolveu, em 1842, sua segunda maior lei, a “lei da termoneutralidade”. Ela diz que em reações de troca entre sais neutros em solução aquosa não há calor envolvido. Hess não conseguiu explicar o fenômeno de maneira satisfatória, até o anúncio da teoria de dissociação eletrolítica de Arrhenius em 1887, em que a explicação se tornou mais clara.

Após a morte de Hess, seu relevante trabalho não teve prosseguimento na Rússia, e a Termoquímica foi esquecida por dez anos. As contribuições de Hess foram continuamente sendo esquecidas, até que Wilhelm Ostwald deu crédito completo às contribuições de Hess neste campo, e reimprimiu os artigos mais importantes de Hess (CARDILLO, 2003).

As primeiras séries de determinações calorimétricas de larga escala em reações químicas foram desenvolvidas por Favre e Silbermann, que obtiveram resultados bastante precisos, até quando comparados com os atualmente aceitos. No entanto, algumas das medições feitas com calorímetro de mercúrio foram

criticadas, principalmente em relação a calores de reações de neutralização de ácidos e bases e de dissolução de sais em água. Favre teve algumas discussões com Berthelot a respeito do calorímetro de mercúrio, e continuaram a apresentar diferenças nos resultados que publicaram simultaneamente nos *Annales de Chimie et de Physique* e no *Bulletin de la Société Chimique*. Essa animosidade atingiu níveis interpessoais e muitas vezes foram vistas discussões em tons exaltados.

Hans Peter Juliuus Thomsen (1826-1909), físico dinamarquês, foi um dos mais importantes termoquímicos, desenvolvendo mais de quatrocentas medidas experimentais. Sua busca era em determinar valores absolutos de forças químicas, por meio de medidas termoquímicas, e assim suprir as vagas definições acerca da afinidade com um novo significado quantitativo e operacional. Thomsen admitiu como hipótese fundamental que o calor de combinação de um composto teria que igualar a diferença entre a afinidade térmica de um composto e de seus constituintes, ou seja, a afinidade térmica também seria uma propriedade conservativa.

De 1866 a 1886, Thompson desenvolveu um programa de pesquisa extensivo em Termoquímica experimental e teórica. Alguns anos após Thomsen completar seu sistema de asserções, Marcellin Berthelot (1827-1907) iniciou seus estudos aprofundados na Termoquímica.

Berthelot era um escritor frutífero, podendo ter publicado mais de 1600 artigos científicos e 25 livros ao longo de sua carreira, iniciando seu trabalho em termoquímica em 1870. Nesse momento, já havia formulado os princípios básicos da termoquímica com base nas evidências de Dulong, Favre, Silbermann e outros. Conforme o “princípio do trabalho molecular” de Berthelot, a medida da afinidade química era dada em função da quantidade de calor envolvida. O segundo princípio que baseou o trabalho de Berthelot, havia sido proposto em 1864. O “princípio do trabalho máximo” diz que “toda transformação química realizada sem a intervenção de energia externa tende a produção do corpo, ou do sistema de corpos, que libere a maior quantidade de calor” (CARDILLO, 2003).

Em uma de suas publicações, Berthelot admitiu que a Termoquímica era uma observação francesa, dando a si mesmo os créditos por inúmeras conclusões de Thompson. Essa colisão entre os pesquisadores foi bem relatada em diversas publicações (MEDARD E TACHOIRE, 1994) por ambos os pesquisadores: eles não perderam a oportunidade de questionar os métodos utilizados, legitimar conclusões

ou medidas imprecisas do outro, ou de reivindicar prioridade e competência. Ao invés de complementar os resultados e métodos com as inferências do outro, a inveja os fez estagnar e meramente criticar trabalhos.

Na França, Thomsen tinha o suporte de Pierre Duhem, que sentia que sua carreira havia sido bloqueada por uma autoridade repressiva associada a Berthelot. Em sua tese de doutorado, Duhem questionou as conclusões de Berthelot em relação ao princípio do trabalho máximo. Algumas cartas indicam que os dois cientistas não se encontraram pessoalmente.

Favre já havia demonstrado a endotermicidade de várias reações durante algum tempo, e Saint-Claire Deville havia mostrado a dissociação endotérmica e espontânea de compostos a altas temperaturas. Nesse momento, Berthelot deveria ter observado que seu modelo não correspondia a uma lei geral, no entanto continuou com suas ideias, indo sempre contra as novas teorias da termodinâmica. Como ele ocupava um alto cargo oficial, suas ideias tiveram algumas consequências negativas em muitos setores, como no ensino, na pesquisa e na indústria (CARDILLO, 2003).

Com a elaboração da Termodinâmica, a partir de 1840-50, surgiu um problema: como calcular a quantidade de calor envolvido em uma reação, por exemplo? A estratégia proposta para resolver esse problema foi calcular o calor por meio de outras grandezas para as quais se tivesse a equação termodinâmica, a exemplo da energia interna e da entalpia.

A grandeza conhecida hoje como entalpia foi inicialmente definida por Gibbs (HAASE, 1971), por meio da expressão:

$$H \equiv U + pV \quad (28)$$

onde  $U$  representa a energia interna, e  $p$  e  $V$  representam a pressão e o volume, respectivamente. Em um processo isobárico, sem a variação de pressão, tem-se que:

$$\Delta H = \Delta U + p\Delta V = \Delta U + W \quad (29)$$

sendo que  $W$  representa o trabalho. Como

$$\Delta U = Q - W \quad (30)$$

$$\text{Então: } \Delta H \equiv Q \quad (31)$$

Dessa forma, conhecendo a equação para o cálculo da variação de entalpia é possível calcular o calor trocado durante o processo. Essa equação é obtida com

base na definição de entalpia como função de outras propriedades mensuráveis do sistema: como U, p e V são funções termodinâmicas, H necessariamente será uma função termodinâmica. Historicamente, foi consenso expressar a entalpia como função da temperatura, pressão e da composição do sistema, com a restrição de ser utilizada para sistemas simples, em que não há trabalho de variação de superfície, transferência de cargas, e sim apenas com trabalho de variação de volume. Dessa forma, a forma diferencial da representação da entalpia H pode ser escrita como:

$$dH = \left( \frac{dH}{dT} \right)_{p,n} dT + \left( \frac{\partial H}{\partial p} \right)_{T,n} dp + \sum \left( \frac{dH}{dn_i} \right)_{T,p} dn_i \quad (32)$$

Se, em uma transferência de energia como calor, a pressão e a composição forem mantidas constantes, a entalpia será função apenas da temperatura:

$$dH = \left( \frac{dH}{dT} \right)_{p,n} dT = C_p dT \quad (33)$$

Integrando em um intervalo de temperatura infinitesimal:

$$\Delta H = Q = C_p \Delta T = mc_p \Delta T \quad (34)$$

Esse tratamento matemático mostra como se resolveu o problema do cálculo do calor na termodinâmica de maneira parcial. A Entalpia, dessa forma é um instrumento que possibilita o cálculo do calor envolvido em transformações isobáricas, pois a variação de entalpia nessas transformações equivale numericamente à quantidade de calor transferida entre o sistema e a vizinhança.

No entanto, os livros didáticos de Ensino Médio e Superior costumam ser imprecisos em relação ao conceito de Entalpia, criando obstáculos de aprendizagem. Segundo Silva (2005) é frequente que sejam atribuídos à entalpia os significados de *calor trocado entre sistema e vizinhanças* e de *conteúdo energético de um sistema*. Expressões como conteúdo de energia, conteúdo de calor, conteúdo calorífico, conteúdo térmico, calor de reação, calor liberado ou absorvido são bastante comuns em textos didáticos de Ensino Médio, dando enfoque apenas ao seu emprego em cálculos termoquímicos.

A confusão entre os significados de Calor e Entalpia prossegue na literatura de Ensino Superior, conceituando a Entalpia como a quantidade de Calor em processos a pressão constante. Silva (2005) admite que alunos universitários de Química identificam a Entalpia como energia/calor liberada(o)/absorvida(o) nas

reações químicas, e que essas concepções são bem aprendidas. Com menor frequência apareceram a ideia de energia/calor de um corpo/sistema.

De fato, de acordo com esse autor, existem razões de origem histórica para a confusão entre Entalpia e Calor. Ao definir a Entalpia como  $U + pV$ , Gibbs (1961) denominou-a de “função Calor à pressão constante”, uma vez que “a diminuição da função representa, em todos os casos em que a pressão não varia, o calor cedido pelo sistema”. Segundo Lewis e Randall (1923), criou-se a expressão “conteúdo de calor” para a função Entalpia, para suprir a “ausência de melhor termo”. A influência de Lewis e Randall foi direta e indireta na maior parte dos textos de Termodinâmica para Ensino Médio e Superior.

A expressão entalpia havia sido proposta por Kamerling Onnes, em 1909, derivada do grego *talpos*, que significa Calor. Mas o termo só foi utilizado pela comunidade de químicos em 1935, aparecendo no *Chemical Abstracts* (SILVA, 2005).

Na edição de 1948, Daniels (1948, p. 107) adotou a nova designação para a Entalpia em seu livro, explicando que “o termo Entalpia (...) é largamente usado por físicos e engenheiros e está aumentando seu uso entre os físico-químicos, de modo que, para efeito de uniformidade, parece melhor chamar nesta edição a grandeza Entalpia ( $U + pV$ ) em lugar de conteúdo de calor”. Glasstone (1953) reitera a ideia de Daniels, afirmando que engenheiros e físicos se referiam a  $H$  como Entalpia. Glasstone já previa uma potencial confusão conceitual resultante da expressão conteúdo de calor, recomendando que “o uso do termo ‘conteúdo de calor’, entretanto, não deve ser interpretado como indicativo de que o sistema possui uma quantidade definida de energia calorífica” (GLASSTONE, 1953, p. 48). Já Pitzer e Brewer (1961) utilizaram da ideia da designação da entalpia  $H$  com um conceito similar a conteúdo de calor, porém com a ressalva de que o conteúdo de calor não poderia ser utilizado em processos envolvendo variações de pressão.

A equivalência quantitativa  $\Delta H \equiv Q$  entre o calor trocado em um processo isobárico e a variação de entalpia do sistema é que, aparentemente, resulta na interpretação da entalpia como conteúdo de calor. A variação de entalpia não explica as variações de temperatura dos corpos (que ocorre devido à transferência de Calor), uma regra de correlação tipicamente fenomenológica, um modelo de

instância tipo-essência, chamado de modelo lógico-matemático-fenomenológico<sup>13</sup>. (BATISTA, 2004).

A Entalpia pode ser usada como indicativo que algo mudou no sistema quando sua variação não é nula. A variação de Entalpia é um sinalizador, um modelo matemático que pode ser utilizado como instrumento de cálculo do calor trocado em um processo a pressão constante, deduzida de um fenômeno sem traduzir a sua essência. Estudar a Entalpia de maneira ingênua e equivocada resulta, dessa forma, apenas em criar dupla denominação para um mesmo conceito, prática não recomendada em Ciência, em geral, e em Ciência Química, especificamente.

Até aqui, foram construídas e discutidas as propriedades de transformação, transferência e conservação da energia. No entanto, essas noções não promovem a compreensão holística a respeito dos processos energéticos e termodinâmicos. Para isso, é necessário que o estudante compreenda um importante princípio, o da degradação de energia, que fundamenta a Segunda Lei da Termodinâmica.

### **3.4 – O Princípio da Degradação de Energia e a Segunda Lei da Termodinâmica**

Segundo Aurani (1985), noções dos estudantes, quando estão associadas às ideias de Carnot e Clausius em relação ao estabelecimento da Segunda Lei da Termodinâmica e do conceito de Entropia, podem promover um ensino e aprendizagem mais apropriado de Química e Física, uma vez que poderão permitir a elaboração de estratégias a serem aplicadas em sala de aula. Diversos artigos a respeito da dificuldade de construir o conceito de Entropia foram publicados em revistas especializadas no ensino de Química. Lambert (1999) advertiu para a inadequação de interpretações baseadas puramente na desordem, sobretudo em objetos macroscópicos.

Os objetos espalhados em uma sala, por exemplo, não formam um sistema de interesse de estudo termodinâmico, uma vez que não há interações entre eles,

---

<sup>13</sup> Instância Tipo-essência: fornece certas interpretações preliminares, formuladas por hipóteses analógicas, a partir de formulações ontológicas, causais e lógico-estruturais de um processo em estudo (BATISTA, 1999). Já os modelos lógico-matemáticos são sistemas de elementos lógico-matemáticos, cuja estrutura é análoga à estrutura das entidades físicas; se eles possuem tal estrutura em um grau inferior, são chamados de modelo lógico-matemático fenomenológico e, se eles a possuem em um grau superior, são chamados de modelo lógico-matemático tipo-essência (BATISTA, 2004, p. 468).

ou seja, não realizam trocas de energia entre si. Quando se analisa a problemática da movimentação desses objetos, costumam-se omitir os processos que ocorrem no agente que executa esse transporte (LAMBERT, 1999). Um exemplo comumente utilizado para ilustrar a desordem macroscópica e que deve ser evitado: coloca-se num copo um certo número de pedras de gelo com formatos irregulares e deixa-se todo gelo fundir. As pedras de gelo aparentemente apresentam maior “desordem” que a água líquida resultante, que é macroscopicamente homogênea; no entanto, a entropia da água líquida é maior do que a do gelo.

Desde a sua formulação no século XIX, a Segunda Lei da Termodinâmica consistiu de diversas discussões das mais variadas origens, com seus limites teóricos ultrapassando a delimitação de explicar fenômenos das Ciências da Natureza, comunicando-se com fenômenos também sociais. No final do século XIX, algumas décadas após as primeiras ideias de Carnot, Boltzmann introduziu uma interpretação probabilística para a Segunda Lei, o que resultou em discussões ainda mais aprofundadas e aumentou a quantidade de materiais e recursos para fundamentar tais discussões.

No século XX, a discussão foi ainda mais afluída com a proposição do conceito da Entropia de Shannon para a teoria da informação, que mostra que processos aleatórios tais como a fala ou a música têm uma complexidade abaixo da qual o sinal não pode ser comprimido. A esta complexidade ele chamou Entropia. Nas últimas décadas, o mesmo tema apresentou uma nova vertente, nos chamados estudos complexos baseados na teorização da complexidade, discutida no Capítulo 1, subitem 1.3 deste presente trabalho. O processo de Ensino e Aprendizagem, que tem por característica ser um sistema complexo baseado em múltiplos fatores resultando em estados prováveis e indícios de aprendizagem, também pode ser analisado sob o viés da Entropia social, correspondendo a uma meta-análise do problema desenvolvido nesta tese.

Inicialmente denominada de “teoria do caos”, termo que foi posto em desuso devido ao caráter impreciso que caos possa se referir à ausência de qualquer forma de controle e previsibilidade (mesmo que a curto prazo). As aplicações de previsões probabilísticas incluem algumas práticas de engenharia, os estudos meteorológicos, a diferenciação de células tronco multipotentes, a cardiologia, as tendências da bolsa de valores, a síntese de alguns compostos poliméricos, a cardiologia e a construção de fractais, por exemplo.

O processo da elaboração da Segunda Lei da Termodinâmica e do conceito de Entropia foi longo e árduo, iniciou com base nas experiências de Joule anteriormente descritas, que demonstraram que a energia mecânica se transformava quantitativamente em calor. A Segunda Lei da Termodinâmica, sob a perspectiva macroscópica, pode ser interpretada como uma lei de evolução no sentido de definir a seta do tempo em que os processos ocorrem. É a irreversibilidade que define o sentido privilegiado da passagem do tempo, que estabelece a diferença entre “passado” e “futuro”, “causa” e “efeito”. Entretanto, a reversão temporal dos fenômenos naturais, ainda que desafie drasticamente a experiência e o senso-comum, poderia ser feita de modo consistente com o princípio da conservação da energia ou Primeira Lei da Termodinâmica. Basta realizar qualquer ação cotidiana, como fritar um ovo, para confirmar que existe mesmo um sentido único da passagem do tempo.

A Segunda Lei da Termodinâmica define processos reversíveis que ocorrem em um universo em constante equilíbrio, e processos irreversíveis em que o universo evolui de maneira a “degradar-se”, ou seja, de maneira que durante a evolução a energia útil seja sempre menor que a do instante anterior. Entende-se por energia útil a que pode ser convertida em trabalho, e a maneira de medir a degradação da energia útil, ou, em outras palavras, do grau de irreversibilidade de um determinado processo é feito pela variação da função termodinâmica chamada de Entropia (OLIVERIA, DECHOUM, 2003). Entende-se por universo, nesse contexto, um finito sistema isolado, no qual um sistema muito menor no qual podem ocorrer processos reversíveis ou irreversíveis.

A Segunda Lei da Termodinâmica tem como consequência que a direcionalidade resulta em uma diferença de Entropia sempre maior ou igual a zero. Essa diferença é nula em processos reversíveis, única situação em que a Termodinâmica admite reversão temporal nos mesmos moldes que a mecânica microscópica, uma vez que esses processos ocorrem com sucessivos deslocamentos do sistema junto ao restante do universo a fim de manter a Entropia total constante.

Uma das proposições da Segunda Lei, atribuída Thompson, pode ser enunciada de maneira que “não há nenhum processo no qual calor seja extraído de uma fonte e convertido inteiramente em trabalho útil, sem nenhuma outra consequência para o resto do universo”. Dessa forma, a formulação do princípio

poderia ser escrita como “não há nenhuma máquina térmica que opere em ciclo e que seja capaz de converter todo o calor de uma fonte em trabalho”. Ou, como Carnot define em seu princípio: “nenhuma máquina térmica que opere entre duas fontes diferentes de calor pode ter rendimento superior ao de uma máquina de Carnot” (OLIVEIRA, DECHOUM, 2003).

Definir a Segunda Lei conforme as proposições anteriores propicia a clara presença de termos fundamentais para o entendimento de seu enunciado, como processos, estados e reversibilidade, que não fica explícito somente com o princípio de Carnot.

A fim de propiciar uma compreensão adequada dos processos irreversíveis e das explicações fornecidas pela Termodinâmica, é necessário aprofundar o estudo da grandeza proposta para análise da direção de um determinado processo: a Entropia.

### 3.4.1 – A Entropia

É difícil associar significados físicos claros a algumas das propriedades com que lida a Termodinâmica. Assim como a Entalpia e a Atividade, que são frequentemente apresentadas na forma de mera relação matemática sem atribuição de uma interpretação física acompanhada, a Entropia também apresenta dificuldades de associação entre interpretação e relação matemática. Matematicamente, a entropia é definida, na Termodinâmica Clássica como:

$$dS = \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{rev} \quad (35)$$

O diferencial da Entropia é igual ao diferencial do Calor envolvido em transformações reversíveis, dividido pela temperatura absoluta. Clausius, em seu trabalho “*On the application of the Theorem of the equivalence of transformations to the internal work of a mass of matter*” (1862, p. 205), enuncia o princípio da equivalência das transformações da seguinte forma:

Se a quantidade de calor  $Q$  da temperatura  $T$  é produzida a partir do trabalho, o valor equivalente dessa transformação é  $\frac{Q}{T}$  e se a quantidade de calor  $Q$  passa de um corpo a uma temperatura  $T_1$  para um corpo a temperatura  $T_2$ , o valor equivalente da transformação é  $Q \left( \frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right)$ .

Trata-se de uma definição puramente matemática e que gera indagações legítimas aos iniciantes, tais como: “se o processo não for reversível, como é avaliada a variação de Entropia?”, “como calcular variações de Entropia quando a temperatura do sistema não é uniforme em toda a sua extensão?” ou “como a Entropia pode variar em sistemas termicamente isolados?”. Essa definição simbólica não permite criar um quadro mental em relação à propriedade. É muito comum apresentar a Entropia com o significado físico de “desordem” ou “aleatoriedade”, o que é melhor explicado pela Termodinâmica Estatística. São utilizados vários exemplos do mundo macroscópico, como “a Entropia de uma sala arrumada é menor do que a de uma sala desarrumada” ou “a Entropia de cartas embaralhadas é maior do que de cartas organizadas”; em análises em nível microscópico, a Entropia também tem seu aumento associado ao aumento na desordem das moléculas, como em textos com reconhecida reputação na área de ciências físico-químicas, como Jones e Atkins (2000).

A fim de evitar distorções de interpretações do significado físico da Entropia, a Termodinâmica Estatística define Entropia por vias diferentes da Termodinâmica Clássica. Diferentemente de pressão e energia, a entropia admite interpretações e definições alternativas. A Mecânica Estatística se baseia no conceito de microestado, ou seja, a caracterização do sistema com base no estado de suas partículas elementares (íons, moléculas, etc.) em cada instante. O microestado do sistema muda constantemente. Como há um elevado número de partículas, a cada estado macroscópico (ou macroestado) do sistema corresponde a uma quantidade elevada de microestados possíveis. Baierlein (1994) denomina isto de “multiplicidade” do macroestado. A análise estatística de diferentes microestados propicia a inferência de propriedades macroscópicas do sistema. A Entropia (estatística) de um sistema relaciona-se com o número de microestados distintos que são compatíveis com o seu macroestado. Para um sistema com  $N$  partículas, contidas num certo volume  $V$  e com uma certa energia total  $U$ , essa relação é traduzida pela equação de Boltzmann,

$$S = k_B \ln \Omega + C \quad (36)$$

em que  $k_B$  é a constante de Boltzmann,  $\Omega$  é o número de microestados e  $C$  é uma constante arbitrária a que normalmente se atribui valor zero ( $C = 0$ ). Diferenciando esta equação,

$$dS = k_B d \ln \Omega = k_B \frac{d\Omega}{\Omega} \quad (37)$$

conclui-se que a variação de Entropia num processo é, mais precisamente, proporcional à variação relativa no número de microestados do sistema.

A energia das moléculas tem distintos componentes, que são as energias associadas aos movimentos de translação, rotação e vibração (sendo que as duas últimas só ocorrem em moléculas poliatômicas), bem como energia dos elétrons e nuclear. De acordo com os resultados da Mecânica Quântica, cada uma destas parcelas pode possuir um conjunto de valores discretos, função da natureza e condições físicas do sistema. Em cada conjunto de condições vai predominar uma certa distribuição das  $N$  partículas do sistema pelos diferentes níveis energéticos permitidos. Nessa distribuição mais provável (assim como em qualquer outra), há um número  $\Omega_m$  de estados distintos para o conjunto das  $N$  partículas. O fenómeno se deve à degenerescência dos níveis energéticos, isto é, à existência de diferentes estados quânticos para uma mesma energia. A contribuição da distribuição mais provável para a entropia é preponderante, podendo-se desprezar a contribuição de outras distribuições, dado que  $\ln \Omega = \ln \Omega_m$  (MORTIMER, 2000a).

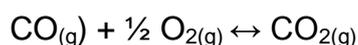
A Segunda Lei da Termodinâmica enuncia que sistemas isolados evoluem no sentido de um aumento de Entropia, atingindo um valor máximo no equilíbrio. Dessa forma, um estado de equilíbrio possui um número máximo de microestados possíveis. Lambert (2002) interpretou a entropia como uma medida de “dispersão” da energia.

Para um público sem conhecimento físico-químico aprofundado, Ferreira (2005) propôs a construção do conceito de Entropia por meio da seguinte analogia. Considere um país (sistema), com  $N$  habitantes (entidades elementares), onde se vai estudar o “estado” do dinheiro (energia), ou seja, a sua distribuição pelos habitantes e as formas assumidas por esse dinheiro. Os indivíduos estão sempre realizando trocas entre si, e por isso, para uma determinada quantidade total de dinheiro em circulação, existem inúmeras distribuições possíveis pelos habitantes. No entanto, enquanto uns enriquecem, outros empobrecem, e há uma distribuição

mais provável do dinheiro na sociedade. Considerando esta distribuição, o dinheiro pode estar disposto sob diferentes formas: uma parte em notas, outras em moedas, outras em contas bancárias, ou em cheques. Ou seja, há inúmeras combinações possíveis para o dinheiro de cada um dos indivíduos (degenerescência). Considerando a totalidade dos N habitantes, o número de “microestados” possíveis para o dinheiro no país é elevadíssimo.

Com essa analogia, se o banco central distribuísse o dinheiro pelos indivíduos de uma maneira ordenada (seja por distribuição igualitária ou por alguns indivíduos possuindo todo o dinheiro), as sucessivas transações levariam ao “espalhamento” do dinheiro (pelos habitantes e pelas diferentes formas) e o número de “microestados” distintos para o dinheiro no país subisse até um valor máximo. Dessa forma, a entropia estatística pode ter outra releitura. Quanto maior é o número de microestados possíveis, menor é a informação que se dispõe a respeito do estado microscópico do sistema.

Essa ideia pode ser aplicada a uma reação química em um sistema isolado. Supondo que, num recipiente rígido e adiabático, se coloque uma mistura de monóxido de carbono (CO) e oxigênio (O<sub>2</sub>). O sistema evoluirá no sentido da formação de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), até que se atinja o equilíbrio (FERREIRA, 2005):



No processo reacional, algumas ligações químicas são quebradas e outras formadas, o que implica variações na energia eletrônica. O número total de moléculas no recipiente diminui no caminho da reação, o que, por si só, poderá significar uma diminuição de entropia. Todavia, a molécula produto é mais complexa que qualquer uma das moléculas reagentes e deverá apresentar maior número de níveis energéticos, (translação, rotação e vibração). Mas este fato não chega para contrabalançar a diminuição do número de espécies gasosas, como mostra o valor negativo da variação de entropia padrão da reação ( $\Delta S^\circ = 86,5 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ , a 25°C). Por que, então, ocorre reação? Neste caso, a razão principal se encontra no fato de ela ser exotérmica, fazendo subir a temperatura da mistura gasosa. Este efeito aumenta a entropia de todos os componentes e se sobrepõe ao anterior. Para além disso, os reagentes e produtos no recipiente não estão em condições padrão. Assim, a formação de produto vai favorecer a entropia pelo efeito de mistura (SHULTZ, 1999). A reação prossegue até que, no equilíbrio, se atinge uma situação máxima na

“dispersão” de energia, ou no número de microestados, para o conjunto de átomos de carbono e oxigênio no recipiente. Observa-se que, sendo o sistema isolado, a sua energia total é constante.

### 3.4.2 – Carnot e a importância de seu trabalho para a construção de conceitos e da Segunda Lei da Termodinâmica

Segundo Passos (2003), o único livro de Nicolas Léonard Sadi Carnot, publicado em 1824 e intitulado “Reflexões a respeito da potência motriz do fogo e das máquinas adequadas a desenvolver esta potência”, tem sido referência discreta nos livros textos de termodinâmica empregados em textos universidades. No entanto, é referência indispensável a todos os que procuram entender a gênese da Segunda Lei da Termodinâmica e da História da Termodinâmica. Sadi Carnot morreu jovem, com 36 anos de idade, em 1832. A importância do seu trabalho pode ser admitida pela relevância do colóquio, ocorrido em 1974, para comemorar o sesquicentenário de “Reflexões”, CNRS (1976), e que contou com a presença de Ilya Prigogine, importante estudioso na Epistemologia da Termodinâmica.

O ciclo de Carnot, principal ideia atribuída ao autor, é constituído de duas transformações isotérmicas, uma de expansão, com o calor sendo recebido, e outra de compressão, com o calor sendo rejeitado, e de duas adiabáticas ideais, chamadas de isentrópicas, uma de expansão e a outra de compressão. Neste ciclo ideal, todas as transferências de calor do corpo quente para o sistema (fluido de trabalho) e do sistema para o corpo frio acontecem sem diferenças finitas ou saltos de temperatura; e todas as mudanças de temperatura ocorrem sem contato térmico entre o sistema e o corpo frio ou quente (CARNOT, 1987; DUGDALE, 1996; PRIGOGINE E KONDEPUDI, 1999; PASSOS, 2002).

Apesar do pioneirismo de Carnot, o seu trabalho ficou esquecido durante dez anos, até ser analisado em um artigo de Clapeyron (1834). Hoje, textos de Ensino Médio e Superior fazem menção aos principais resultados de Carnot, ao apresentarem a segunda lei. No entanto, a síntese desses resultados não propicia o entendimento da lógica e da epistemologia envolvida nos estudos de Carnot, bem como foram superados os obstáculos conceituais da época, uma vez que o empirismo predominava em relação ao formalismo científico.

Na obra de Carnot (1824), é possível observar o seu pensamento de vanguarda quando dizia que eram necessários novos conhecimentos para se analisar as máquinas cujo movimento dependiam do calor, diferente das outras máquinas comuns, à época, em que o movimento era baseado no esforço humano ou animal, na queda d'água ou na corrente de ar:

As máquinas que não recebem o seu movimento do calor, aquelas cujo motor é a força dos homens ou dos animais, uma queda d'água, uma corrente de ar, etc., podem ser estudadas, até no mínimo detalhe, pela teoria mecânica. Todos os casos são previstos, todos os movimentos imagináveis estão submetidos a princípios gerais solidamente estabelecidos e aplicáveis em qualquer situação. Isto caracteriza uma teoria completa. Uma teoria semelhante falta, evidentemente, às máquinas de fogo. Não se alcançará que quando as leis da física forem suficientemente abrangentes, suficientemente generalizadas, para fazer conhecer previamente todos os efeitos do calor atuando de uma maneira determinada sobre um corpo qualquer (CARNOT, 1824, p. 8 e 9).

Na argumentação de Carnot em *Réflexions sur La Puissance motriz du feu*, o autor apresentou aspectos científicos, sociais, econômicos e políticos da produção da potência motriz do fogo. De fato, além de caracterizar um desenvolvimento científico, a invenção das máquinas térmicas apresentou os aspectos utilitários das máquinas a vapor aliados com as transformações sociais e políticas que acompanharam as mudanças econômicas da Revolução Industrial.

A respeito do desenvolvimento coletivo das máquinas térmicas, Carnot (1824, p. 41) admite que:

A invenção da máquina a vapor deve seu nascimento, como a maioria das invenções humanas, a tentativas rudes que foram atribuídas a diferentes pessoas, enquanto o principal autor não é certamente conhecido. No entanto, o desenvolvimento de motores à vapor deve menos às proposições iniciais e mais aos sucessivos aprimoramentos para atingir a condição que os observamos atualmente. Há uma distância tão grande entre o primeiro aparelho em que a força expansiva do vapor foi exibida e a máquina agora desenvolvida, entre a primeira balsa que o homem já fez e o navio moderno [...]

Savery, Newcomen, Smeaton, o famoso Watt, Woolf, Trevithick e alguns outros engenheiros ingleses, são os verdadeiros criadores da máquina a vapor. Ela adquiriu em suas mãos todos os seus sucessivos graus de aprimoramento. Finalmente, é natural que uma invenção tenha seu nascimento e, especialmente, seja desenvolvida, seja aperfeiçoada, naquele lugar onde [Inglaterra] a sua busca se percebe mais forte.

É interessante a observação de Carnot a respeito do desenvolvimento da máquina térmica como um processo de construção coletiva, não atribuindo somente aos “vencedores” o sucesso do empreendimento. Tal observação é consonante com a visão consensual da Natureza da Ciência, em que, segundo Martins (2005), é preciso estudar não apenas os vencedores, mas sim a participação de todos os

envolvidos, observando quais os argumentos que apresentavam contra as novas ideias. Muitas vezes, os argumentos eram excelentes.

Carnot relacionou o calor com inúmeros fenômenos da natureza, cujos movimentos influenciam agitações na atmosfera, ascensão de nuvens, queda de chuvas e meteoros, correntes de água, terremotos e erupções vulcânicas. A partir do reservatório de combustíveis que a natureza provém, Carnot propôs que o homem deveria utilizar o poder de produção para utilizar o calor e seu poder impelidor. O estudo das máquinas térmicas era de grande interesse e parecia ser destinado a promover uma grande revolução no mundo civilizado da época, citando como exemplo utilizar as máquinas a vapor para fazer funcionar as minas, para impelir navios, escavar portos e rios, forjar ferro, modelar madeira, triturar grãos, transportar as cargas mais pesadas. Ainda considerava que se o motor a vapor fosse tão aperfeiçoado de maneira que fosse configurado e alimentado com combustível de pequeno custo, combinaria as qualidades requeridas e daria ao ofício industrial um alcance bastante grande. Além disso, a máquina térmica a vapor era importante para a Inglaterra pois faria ressurgir a utilização das minas de carvão, cuja exploração ameaçou cessar completamente, em decorrência da crescente dificuldade de drenagem e de levantamento do carvão. Também beneficiava a fabricação de ferro e a navegação dos barcos a vapor.

Um outro aspecto relevante na obra de Carnot (1824) é o desenvolvimento da máquina térmica sob a perspectiva do calórico. Em várias passagens ele considera o problema do restabelecimento do equilíbrio do calórico como essencial ao movimento nas máquinas a vapor. No caso do vapor como fluido de trabalho, ele afirma que o papel do vapor é transportar o calórico.

[...] Uma circunstância relevante o restabelecimento do equilíbrio no calórico; isto é, a passagem de um corpo em que a temperatura é mais ou menos elevada, para outra em que é menos. O que acontece de fato em uma máquina a vapor em movimento? O calórico desenvolvido no forno como resultado da combustão atravessa as paredes da caldeira, produz vapor e, de alguma forma, incorpora-se a ela.

Esse é levado primeiramente ao cilindro, onde desempenha determinada função, e daí para o condensador, onde é liquefeito pelo contato com a água fria que encontra ali. Então, como resultado final, a água fria do condensador toma posse do calórico gerado pela combustão. É aquecido pela intervenção do vapor como se tivesse sido colocado diretamente sobre o forno. O vapor é aqui apenas um meio de transportar o calórico. Desenvolve o mesmo ofício que no aquecimento de banhos de vapor, exceto que, nesse caso, seu movimento é útil (CARNOT, 1824, p. 9-11).

Em várias passagens ele considera o problema do restabelecimento do equilíbrio do calórico como essencial ao movimento nas máquinas a vapor. No caso do vapor como fluido de trabalho, ele afirma que o papel do vapor é transportar o calórico.

A produção do movimento nas máquinas a vapor é sempre acompanhada de uma circunstância sobre a qual nós devemos prestar atenção. Esta circunstância é o restabelecimento do equilíbrio no calórico, ou seja, a sua passagem de um corpo em que a temperatura é mais ou menos elevada a um outro em que ela é mais fria

[...]A produção da potência motriz, nas máquinas a vapor, é, portanto, devida não a um consumo real do calórico mas ao seu transporte de um corpo quente a um corpo frio, ou seja ao seu restabelecimento do equilíbrio, equilíbrio este suposto rompido por qualquer causa, pela ação química, como a combustão, ou por qualquer outra”.

[...] de acordo com este princípio, não basta, para dar origem à potência motriz, produzir o calor: é necessário ainda obter o frio; sem ele o calor seria inútil (CARNOT, 1824, p. 9-11).

Enquanto Carnot descrevia o processo por meio de uma quantidade de calórico que fluía inalterada do corpo de temperatura mais alta para o corpo de temperatura mais baixa, a conservação de energia previa que a quantidade de calor a atingir o corpo frio deveria ser menor que aquela cedida pelo corpo quente, sendo que a diferença entre as duas equivalia à quantidade de trabalho produzida.

Thompson foi categórico ao admitir que era necessário incluir a “conservação do efeito mecânico” à teoria do Calor, o que o calórico não compreendia. A conciliação veio por meio de Clausius, que, em 1865 (p. 85), enunciou que:

Em todos os casos nos quais uma quantidade de calor é convertida em trabalho, e onde o corpo que efetua essa transformação retorna, no final, às suas condições iniciais, uma outra quantidade de calor deve ser necessariamente transferida de um corpo mais quente para um corpo mais frio; e a magnitude desta última quantidade de calor, em relação à primeira, depende somente das temperaturas entre os quais o calor passa, e não da natureza do corpo efetuando a transformação [...] O calor não pode nunca passar de um corpo mais frio para um mais quente sem que ocorram ao mesmo tempo mudanças associadas. Tudo o que sabemos a respeito das trocas de calor entre dois corpos de temperaturas diferentes confirma isso, pois o calor em toda parte manifesta uma tendência em igualar diferenças de temperatura, e conseqüentemente em passar numa direção contrária, isto é, do corpo mais quente para o mais frio. Sem explicações adicionais, a ocorrência do princípio será garantida (CLAUSIUS, 1865, p. 85).

No artigo de 1865, Clausius estudou processos não cíclicos que envolvem o tratamento do arranjo interno das substâncias, estabelecendo a diferença entre trabalho interno e externo. O externo se refere às forças que outros corpos exercem sobre o corpo em questão, e o interno que é efetuado pelos constituintes moleculares do próprio corpo, o que levou à introdução do conceito de

desagregação. Ao pensar a respeito do gás ideal, Clausius atentou para o fato de que as forças intermoleculares podem ser desprezíveis. Durante o processo de aquecimento, a pressão exercida pelo gás no recipiente que o contém é uma medida “da força de repulsão do calor contido no gás”, e essa pressão deve ser aproximadamente proporcional à temperatura absoluta. A lei da proporcionalidade pode ser então enunciada, admitindo que “o trabalho mecânico que pode ser executado pelo calor em qualquer alteração de arranjo do corpo é proporcional à temperatura absoluta no qual essa alteração ocorre”. Dessa forma, a noção de reversibilidade está associada à igualdade entre a intensidade da força do calor daquela que se opõe a ele; quando estas possuem intensidades diferentes, o processo é irreversível. Num processo reversível, o calor  $dQ$  recebido por um corpo corresponde à soma entre do trabalho  $dL$  (interno e externo) realizado, e  $dH$  que é o calor que permanece no corpo, então:

$$dQ + dH + AdL = 0 \quad (38)$$

Sendo  $A$  o equivalente em calor de uma unidade de trabalho. Esta expressão foi posteriormente denominada por Clausius de Primeira Lei da Termodinâmica, que a partir dela se obteve a expressão simbólica para processos não-cíclicos.

Para chegar à expressão simbólica da Segunda Lei, Clausius introduziu o conceito de desagregação, que se refere ao arranjo dos constituintes internos do corpo. Em “*On the application...*”, Clausius escreveu:

Uma vez que o aumento da desagregação é a ação por meio da qual o calor realiza trabalho, tem-se que uma quantidade de trabalho deve manter uma razão definida com a quantidade pela qual a desagregação é aumentada: fixar-se-á conseqüentemente a determinação ainda arbitrária da magnitude de desagregação de tal forma que, a qualquer temperatura, o aumento da desagregação seja proporcional ao trabalho que o calor pode realizar na temperatura (apud AURANI, p. 65).

Como o calor realiza trabalho por meio da desagregação e seu valor é proporcional à temperatura absoluta  $T$ , tem-se que:

$$AdL = TdZ \quad (39)$$

No qual  $dZ$  representa uma alteração infinitesimal da desagregação. Substituindo (25) em (26), obtém-se que:

$$dQ + dH + TdZ = 0 \quad (40)$$

Dividindo a expressão por  $T$  e efetuando a integração, tem-se que:

$$\int \frac{dQ + dH}{T} + \int dZ = 0 \quad (41)$$

A expressão representada pela equação (41) apresenta a característica que nos processos não-cíclicos três tipos de transformações são considerados: de calor em trabalho ( $dQ$ ), de calor de uma temperatura a outra temperatura ( $dH$ ) e a relativa às mudanças de estado de agregação das substâncias ( $dZ$ ). Nos processos cíclicos, o termo  $dZ$  é anulado pois as alterações de desagregação se compensam. No caso de processos irreversíveis, é preciso analisar a ocorrência dos três tipos de transformação, conforme sejam positivas ou negativas, permitindo observar de maneira objetiva o direcionamento das transformações. Clausius, a respeito desse processo, escreve que:

Se o calor for transformado em trabalho, o que é uma transformação negativa, uma alteração positiva na desagregação deve ocorrer simultaneamente, a qual não pode ser menor do que uma determinada magnitude que se considera equivalente. Na transformação de trabalho em calor, por outro lado, a situação é diferente. Se a força do calor é superada por forças de oposição, de maneira que uma mudança negativa de desagregação é realizada, sabe-se que nesse caso as forças de superação podem ser maiores do que é necessário para produzir o resultado particular. O excesso de força pode então resultar em movimento de considerável velocidade nas partículas do corpo em consideração, e esses movimentos podem subsequentemente ser convertidos em movimento molecular que é chamado de calor, de forma que no final é necessário mais trabalho ser convertido em calor do que o correspondente à mudança de desagregação efetuada. Em muitas operações, especialmente no atrito, a transformação de trabalho em calor pode ter lugar mesmo que de maneira independente de qualquer transformação negativa simultânea.

A alteração positiva de desagregação (terceiro tipo de transformação) deve de fato ser maior, mas não pode ser nunca menor que a transformação de calor em trabalho que a acompanha, e a alteração negativa de desagregação deve ser menor, mas nunca maior, que a transformação de trabalho em calor.

No tocante ao segundo tipo de transformação, ou a passagem de calor entre corpos de diferentes temperaturas, a passagem de calor do corpo de temperatura mais baixa para o de temperatura mais alta não pode ocorrer por si só – ou seja, sem uma transformação positiva simultânea. Por outro lado, a passagem de calor numa direção contrária, da temperatura mais alta para a mais baixa, pode muito bem ocorrer sem uma transformação negativa simultânea (apud AURANI, p. 71-72)

As máquinas térmicas reversíveis têm como proposta gerar trabalho a partir de duas fontes de calor em temperaturas diferentes. A cada operação uma quantidade de calor é retirada da fonte quente e parte rejeitada para a fonte fria, sendo essa fonte necessária para completar o ciclo. A reversibilidade do ciclo consiste na possibilidade de se usar a mesma quantidade de trabalho anteriormente gerado em uma máquina operando um ciclo revertido, um refrigerador, permitindo assim que o calor rejeitado na fonte fria retorne à fonte quente, criando-se assim uma volta ao estado original do universo.

A máquina térmica ideal é a proposta por Carnot, e está associada a uma maximização dos ganhos, ou seja, o trabalho máximo que pode ser extraído sem alterar a entropia do universo. A máquina de Carnot se caracteriza por ser o limite superior do rendimento que uma determinada máquina pode apresentar, ou seja, há um limite máximo de rentabilidade por ciclo para extração de trabalho sem comprometer a reversibilidade do processo, sem degradar energia útil.

Em relação às suas questões e objetivos de pesquisa, Carnot (1824) propõe que caso se disponha de um corpo A, mantido à temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$ , e de um outro corpo B, mantido a  $0^{\circ}\text{C}$ , é possível questionar qual é a quantidade de potência motriz que pode surgir por meio do transporte de uma determinada quantidade de calor de A para B, se esta quantidade é necessariamente limitada e se ela seria função da natureza da substância empregada no processo. Ao realizar suas observações e suas análises, inferiu que a potência motriz do calor é independente dos agentes colocados, e é função unicamente das temperaturas dos corpos entre os quais ocorre o transporte de calor.

*- Um Ciclo ideal com a produção de trabalho*

A Figura 13 exibe um esquema com um cilindro equipado de um pistão, o qual é preenchido com um gás (PASSOS, 2002). O ciclo pensado por Carnot pode ser explicado da seguinte forma:

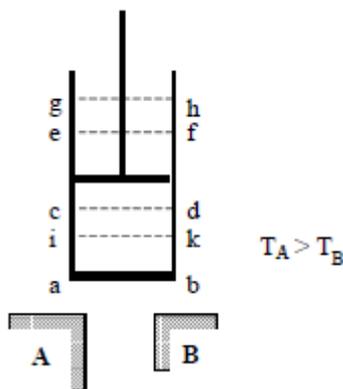


Figura 13 - Representação do experimento de Carnot  
Fonte: Passos (2002, p.6).

No Quadro 9 são apresentadas as etapas que compõem o ciclo observado por Carnot (1824).

Quadro 8 - Etapas do ciclo ideal apresentado por Carnot.

Etapa	Posição do pistão	Descrição	Característica
1	c-d	O sistema (gás) ocupando o volume abcd é colocado em contato com a fonte A, à temperatura $T_A$ , e mantido à temperatura $T_A-dT$	Estado inicial do ciclo
2	e-f	A temperatura do ar é mantida à $T_A-dT$ , enquanto o pistão se desloca, gradualmente, entre c-d e e-f	Expansão isotérmica do ar
3	g-h	É desfeito o contato térmico entre o sistema e o reservatório A, ou qualquer outro corpo capaz de fornecer calor. A expansão do ar, entre e-f e g-h, acarreta uma diminuição da sua temperatura, até $T_B+dT$	Expansão adiabática do ar
4	c-d	O sistema ar é colocado em contato com o corpo B, sendo comprimido entre as posições g-h e c-d, enquanto a temperatura do ar é mantida à $T_B+dT$	Compressão isotérmica do ar
5	i-k	É desfeito o contato térmico entre o sistema e o reservatório B. A compressão adiabática do gás, entre c-d e i-k, acarreta em um aumento de sua temperatura de $T_B+dT$ para $T_A-dT$	Compressão adiabática do ar
6	e-f	O sistema é colocado, novamente, em contato com o corpo A e o pistão vai da posição i-k para a posição e-f, sem modificar a sua temperatura $T_{ar}=T_A-dT$	Expansão isotérmica do ar
7		Continuação do novo ciclo, seguindo as etapas 3, 4, 5, 6 e 7	

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

O ciclo é constituído por duas transformações isotérmicas, uma de expansão, onde calor é recebido da fonte quente, à temperatura  $T_A$ , e a outra de compressão, onde o calor é entregue à fonte fria, à  $T_B$ , e duas adiabáticas, uma expansão, na qual o sistema tem a sua temperatura reduzida de  $T_A$  para  $T_B$ , e uma compressão, em que a temperatura é aumentada de  $T_B$  para  $T_A$ . Esta simples e grande ideia é que possibilitou a Carnot construir um modelo de ciclo, no qual nenhuma irreversibilidade térmica com o meio exterior, do ponto de vista da transmissão do calor, se fosse necessária (PASSOS, 2002). A Figura 14 exhibe em um diagrama p-V (pressão contra volume) o mesmo ciclo descrito no Quadro 9, com o apoio do esquema da Figura 12, apresentado em Carnot (1824). A Figura 13 foi apresentada por Clapeyron (1834), em um estudo no qual é feita uma tradução analítica das operações descritas por Carnot.

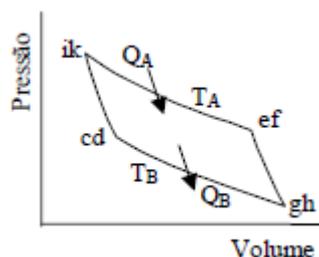


Figura 14 - Representação gráfica do ciclo de Carnot, apresentada por Clapeyron.  
Fonte: Passos (2002, p. 7).

Carnot (1824) concluiu que a forma acima era a maneira de se obter o máximo de rendimento, com um gás realizando um ciclo em que as modificações de temperatura do gás ou vapor não dependessem de nenhum contato térmico com o meio. Concluiu que o melhor aproveitamento dependia apenas das temperaturas das fontes quente e fria,  $T_A$  e  $T_B$ , respectivamente, conforme esquema da Figura 13. Considerando-se a definição de rendimento de um ciclo térmico:

$$\eta = \frac{Q_A - Q_B}{Q_A} = 1 - \frac{Q_B}{Q_A} \quad (42)$$

onde  $Q_A$  e  $Q_B$  correspondem às quantidades de calor recebida da fonte quente, a  $T_A$ , e cedida à fonte fria,  $T_B$ , respectivamente. Aplicando-se a primeira lei da termodinâmica em cada uma das transformações do ciclo de Carnot e a equação de gás ideal:

$$pV = mRT \quad (43)$$

onde  $p$ ,  $V$ ,  $m$ ,  $R$  e  $T$  representam a pressão, o volume, a massa de gás, a constante do gás e a temperatura absoluta, respectivamente. Sabendo-se que as transformações adiabáticas reversíveis 2-3 e 4-5, conforme indicado na Figura 12, estão relacionadas pela equação  $pV^k = \text{constante}$ , onde  $k$  representa o coeficiente politrópico de uma transformação adiabática. Admitindo o ar como um gás ideal, tem-se que:

$$\frac{V_3}{V_4} = \frac{V_2}{V_5} \quad (44)$$

E, conseqüentemente, a:

$$\frac{Q_B}{Q_A} = \frac{T_B}{T_A} \quad (45)$$

o rendimento máximo de um ciclo térmico, o chamado rendimento de Carnot, é função apenas da razão das temperaturas absolutas  $T_A$  e  $T_B$ , conforme equação (32) a seguir:

$$\eta = 1 - \frac{T_B}{T_A} \quad (46)$$

A equação acima resulta da interposição dos trabalhos de Carnot e a igualdade entre a razão das temperaturas absolutas (em Kelvin) dos reservatórios de baixa temperatura  $T_B$  e de alta temperatura  $T_A$  com a razão das quantidades de calor. Embora Carnot desenvolva a formulação simbólica em seu ensaio, ele constrói a argumentação e propõe teoremas que são fundamentais para o desenvolvimento da Segunda Lei. O primeiro dos teoremas diz que o rendimento máximo de um ciclo reversível depende somente das temperaturas  $T_A$  e  $T_B$  das fontes quente e fria. O segundo teorema diz que a potência, e conseqüentemente o rendimento de uma máquina térmica, é independente de sua substância de operação.

Outro aspecto relevante do livro de Carnot (1824) é observado na página 28, em que desenvolve uma analogia da potência motriz de um ciclo ideal à de uma queda d'água, em que a potência depende da altura da queda e da vazão. No caso de uma máquina térmica, a potência motriz depende da quantidade de calórico e da diferença das temperaturas da fonte quente e fria,  $T_A$  e  $T_B$ , respectivamente. Além disso, a maior potência motriz é observada para uma queda de calórico nos níveis de temperatura mais baixos do que naqueles mais elevados.

Um incremento da Entropia representa, em tais sistemas, uma medida da energia que, oriunda da fonte quente, poderia ter sido aproveitada na forma de trabalho, mas, não o sendo, foi simplesmente "desperdiçada" como calor na fonte fria, se tornando indisponível para produzir o referido trabalho. A associação com desordem decorre do princípio de que trabalho em Física envolve necessariamente variação de volume de uma parte do sistema, ou seja, o movimento direcionado de uma fronteira restritiva interna ao sistema isolado (a fronteira comum entre dois de seus subsistemas), e, conseqüentemente, movimento direcionado, ordenado, de todas as partículas do subsistema delimitado por esta fronteira em movimento. Trabalho tem assim a ver com transferência de energia cinética (energia térmica), mas as partículas responsáveis por esta transferência movem-se de forma ordenada, direcionada, "acompanhando" a fronteira em movimento (LUZ, 2017).

Já a energia térmica trocada na forma de calor implica também variação da energia de movimento das partículas dos subsistemas, mas estas partículas agora movem-se de forma completamente desordenadas durante esta troca. O calor, oposto ao trabalho, implica a "propagação" de energia térmica mediante movimentos aleatórios - transferência de energia térmica (cinética) em forma não espacialmente direcionada, feito de forma que a fronteira do sistema efetivamente não se move (o calor "passa" pela fronteira). Assim, o aumento de entropia, e, portanto, da desordem, de um sistema representa transformar parte do "movimento ordenado" das partículas de um sistema - que poderia ser usado para fazer trabalho - em movimento "desordenado", não associado a trabalho. O calor é a forma mais evidente de se fazer a Entropia do sistema variar, ao passo que a troca de energia mediante trabalho por si só não implica variação da Entropia, conforme explicado (LUZ, 2017).

Em 1834, Clapeyron, que pode ter conhecido Carnot em 1832, publicou uma reformulação analítica de *Réflexions*. Clapeyron preservou as premissas, os teoremas e alguns argumentos específicos, porém a ênfase e o estilo foram considerados alterados. Relacionou o ciclo de Carnot com o diagrama pressão-volume e, enfatizando a função de Carnot, traduziu o sintético trabalho de Carnot do mundo das máquinas a vapor para o domínio da teoria matemática dos gases. Em 1850 Clausius mostrou que o teorema de Carnot estava correto como foi afirmado, mas que a prova de Carnot, que assumia nenhum calor perdido necessitava de modificações. Clausius adicionou então algumas afirmações sobre a máquina de Carnot: uma certa quantidade de calor é destruída, outra quantidade é transferida para o corpo mais frio e ambas quantidades permanecem em uma definida relação com o trabalho realizado. Com essas adições, que Thompson também adotou em 1851, o teorema de Carnot se tornou a Segunda Lei da Termodinâmica.

A partir da composição histórico-epistemológica desenvolvida neste capítulo, é possível planejar e desenvolver atividades em que se evidenciem aspectos da NdC e da dinâmica do conhecimento da Termodinâmica para a promoção da AS. Como instrumento didático e de tomada de dados empíricos desta pesquisa, a metodologia escolhida para a elaboração da abordagem é o das Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade (IIR), que será descrito a seguir.

## **4 – AS ILHAS INTERDISCIPLINARES DE RACIONALIDADE COMO UNIDADE DIDÁTICA**

As Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade (IIR) constituem uma proposta metodológica de Fourez (2005) que visa contribuir com o processo de alfabetização científica e tecnológica. Nesse processo, o uso metafórico da palavra alfabetização remete a saberes e capacidades relacionadas aos conhecimentos científicos e tecnológicos necessários aos indivíduos no mundo tecnológico e científico atual. O Ensino de Ciências não pode se limitar ao ensino de conceitos. Um indivíduo alfabetizado científica e tecnologicamente, além de possuir conhecimentos acerca da ciência e da tecnologia, é capaz de utilizá-los para entender e discutir fenômenos de seu cotidiano e de sua vida e outros temas relevantes para a sociedade, refletindo criticamente a respeito do seu processo de construção.

Neste capítulo serão apresentados e discutidos os princípios e as etapas correspondentes à proposta metodológica da IIR, além da IIR desenvolvida como abordagem para a AS de conceitos e de Leis da Termodinâmica Química, com base na composição histórico-epistemológica construída no Capítulo 3.

### **4.1 - Fundamentos para a construção de uma Ilha Interdisciplinar de Racionalidade para abordagem da Termodinâmica Química**

Uma das preocupações do cenário atual de Ensino de Ciências é acompanhar o desenvolvimento da Ciência e da Tecnologia, ou seja, tecer relações entre o ensino e as novas mudanças, por isso cada vez mais questões são estabelecidas em relação à forma de se ensinar Ciências e o que ensinar em Ciências (AULER e DELIZOICOV, 2001; NASCIMENTO, FERNANDES e MENDONÇA, 2010; HALMENSCHLAGER, 2011; TRINDADE SOUZA *et al.*, 2016).

O ensino por projetos interdisciplinares, conforme discutido anteriormente, tem sido uma estratégia metodológica capaz de abarcar situações vivenciadas pelos estudantes. Carletto e Pinheiro (2010) apontam que o panorama educacional apresenta inúmeros debates em busca de metodologias que busquem a superação das contradições decorrentes de um ensino descontextualizado e conteudista, que são a raiz da permanência do ensino disciplinarizado, com distanciamento entre o

professor e o aluno e metodologia tradicional. Ao optar por uma estratégia que contemple aspectos interdisciplinares, é possível evitar que haja a fragmentação do objeto de estudo, visando integrar todos os aspectos da situação estudada em representações que envolvam a sua complexidade.

Na sociedade da informação e da industrialização, o Ensino de Ciências baseado em metodologias tradicionais teria chegado a uma crise, se não ao fracasso. O Ensino de Ciências que seja caracterizado pelo excesso de informações desconexas, irrelevantes e incoerentes, não atende às necessidades do complexo mundo contemporâneo, nem atrai jovens para as carreiras voltadas à Ciência. Assim, o foco de uma nova maneira de ensinar seria o de intervir por meio de situações-problema e questionamentos relacionados ao cotidiano, especialmente os que apresentassem relevância social, econômica e cultural (FOUREZ *et al.*, 1997).

Já tem sido observado que a aula expositiva tradicional, baseada exclusivamente no livro didático, é um modelo que não favorece o diálogo entre professor e aluno, distanciando-os, muitas vezes por limitações de planejamento e de carga horária (COSTA BEBER; KOGLER; FRISON, 2014). Uma vez distanciados professor e aluno, a compreensão empática característica da perspectiva humanista acaba sendo anulada, dificultando a construção de um ambiente propício para a aprendizagem. Segundo Fourez *et al.* (1997), a Alfabetização Científica pode ser uma medida adotada para superar a crise no Ensino de Ciências, sendo desenvolvida com base em objetivos humanísticos, sociais e econômicos.

Os objetivos humanísticos demandam capacidades de se situar em um mundo técnico-científico, e poder usufruir destes conhecimentos para fazer a interpretação do mundo contemporâneo. Os objetivos sociais requerem a amenização de desigualdades, caminhando no sentido de proporcionar autonomia e criticidade diante de fatores sociais entre os indivíduos de uma mesma sociedade. Os objetivos econômicos e políticos estão relacionados à efetiva participação do cidadão no desenvolvimento do potencial tecnológico e econômico do mundo (FOUREZ, 2003).

Conforme também previamente discutido neste estudo, a escola é atualmente estruturada no paradigma disciplinar, com planejamento de currículo baseado em objetivos segmentados em cada eixo disciplinar. No entanto, Fourez (1998a) sugere a discussão, em âmbito escolar, de uma nova estruturação curricular. O autor defende que os conhecimentos sejam construídos por meio de projetos, os quais

incluam ideias e fundamentos de áreas de conhecimentos estudadas e também a partir de senso comum do estudante. Segundo o autor, por meio de um projeto (que pode ser desenvolvido, a princípio, dentro de uma disciplina, e posteriormente ser estendido ao currículo) é possível construir representações para situações concretas, com base em uma metodologia intitulada Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade<sup>14</sup> (FOUREZ, 1997a).

A IIR é uma metodologia de ensino proposta por Gérard Fourez e colaboradores, apoiados pela perspectiva da Alfabetização Científica e Tecnológica (ACT) e do movimento Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS). Fourez *et al.* (1997) descrevem a ACT como uma abordagem epistemológica, pedagógica e mais específica para o Ensino das Ciências, enquanto que o enfoque CTS tem um caráter amplo, podendo envolver discussões que ultrapassem o ambiente educacional. O autor acredita que a metodologia promove o desenvolvimento da autonomia dos estudantes e admite que: “Uma pessoa que é capaz de representar situações específicas, poderá tomar decisões razoáveis e racionais contra uma série de situações problemas” (FOUREZ *et al.*, 1997, p. 61). Para que o educando seja considerado alfabetizado cientificamente, é necessário que esse possua “autonomia (possibilidade de negociar suas decisões perante as pressões naturais e sociais), capacidade de comunicar (encontrar maneiras de dizer), e relativo domínio e responsabilidade, frente a uma situação concreta” (FOUREZ *et al.*, 1997, p. 62).

De acordo com Fourez *et al.* (1997), uma abordagem interdisciplinar tem sentido em relação ao projeto: este objetiva desenvolver uma representação teórica apropriada em uma situação precisa e em função de um projeto determinado. Os conhecimentos provenientes de diversas disciplinas serão instrumentos para construção de uma representação da situação, resultando na necessidade de tomada de decisão e, principalmente, do indivíduo ser alfabetizado cientificamente. Dessa forma, o valor e a eficácia de uma atividade por projetos estão vinculados à capacidade de integrar diversas disciplinas a fim de responder a uma situação-problema bem determinada. Para os autores, a alfabetização científica deve

---

<sup>14</sup> O termo ‘Ilhas de Racionalidade’ é uma metáfora, na qual a representação produzida em um projeto (IIR) é comparada a uma ilha que está localizada em um “oceano de desconhecimento”, que remete a limitação de uma IIR, que se configura pelo limite dos conhecimentos adquiridos as “caixas-pretas”.

Este termo também evoca a noção de racionalidade no sentido de que se enfoca em modelos modificáveis, possivelmente plurais, de acordo com a sua relevância para o projeto que o estrutura (e não de acordo com uma verdade abstrata e / ou geral).

subsidiar a negociação e tomada de decisões nas mais diversas situações, como na escolha de um eletrodoméstico, no uso de determinado método contraceptivo, na composição de uma alimentação sustentável, no uso racional de eletrônicos, entre outros exemplos que podem ser dados.

A abordagem por projetos, especialmente na construção das IIR, é elaborada em função do contexto do problema que se deseja investigar. Quando o projeto se refere a uma situação, a IIR pode tender mais para a noção do que para o concreto, ou, em outras palavras, as ilhas podem conduzir mais para o cultural do que para o prático. Dessa forma, dois tipos de ilhas podem ser caracterizados.

O primeiro tipo é constituído de Ilhas que se organizam em torno de uma situação concreta, relacionando-se com a elaboração de uma situação capaz de produzir uma representação de ações possíveis relacionadas com essa situação (práticas ou tecnológicas). Por exemplo, o estudo de um determinado processo industrial ou da construção de um empreendimento (SCHMITZ, 2004).

O segundo tipo é constituído de Ilhas que se organizam em torno de uma noção capaz de fornecer uma representação multidisciplinar acerca de objetos e de conceitos normalmente utilizados na cultura vigente; neste tipo de ilha existe uma representação já estruturada, eximindo a necessidade de invenção de uma nova representação, como poluição, energia, sistema (SCHMITZ, 2004).

A ressalva em relação à proposição desenvolvida por Fourez e colaboradores está no termo *racionalidade* utilizada na teorização. Segundo os autores, as IIR se referem a um contexto e a um projeto particulares, frente aos quais é interessante se construir uma representação. Como metáfora, essa noção evoca conhecimentos emergentes em um oceano de desconhecimento. A noção evoca também a *racionalidade*, no sentido de que se enfoca um modelo discutível, modificável, em função de sua pertinência referente ao projeto que o estrutura.

No entanto, é necessário cuidado para não remeter a *racionalidade* às práticas direcionadas pela *racionalidade técnica*. O modelo de formação da racionalidade técnica é herança do positivismo, e baseia-se em uma concepção epistemológica de prática que perdurou por todo o século XX, sendo referência para a educação. O professor, nesse modelo, era caracterizado como especialista técnico que se utilizava de teorias e técnicas científicas para resolver problemas da prática, de maneira pragmática.

Para a elaboração de uma IIR, Fourez sugere oito etapas para a delimitação do projeto, para direcionar a obtenção de seus objetivos. Fourez (1998) indica que antes de proceder às oito etapas que serão descritas a seguir, é necessário refletir e delimitar a fase preliminar, caracterizada pela especificação do contexto, os destinatários, a finalidade do projeto e o que se espera como resultado final, considerando o tempo disponível para a realização das atividades.

Com base nisso, a etapa preliminar determina a elaboração da Situação-Problema, observando os limites de aplicabilidade e de validade em relação a recursos como material didático, pessoal, fonte de informação, tempo disponível, entre outros. Esta etapa é de primordial importância, pois nela o professor desenvolve arcabouço teórico para a execução do projeto, preocupando-se em se familiarizar, pesquisando em artigos, livros e outras fontes, com o problema a ser trabalhado.

Para a construção da Situação-Problema, Fourez (2001) indica quatro elementos que atuam como norteadores para o recorte dos modelos a serem construídos – *o contexto, a finalidade do projeto, os destinatários e o tipo de produto*.

O *contexto* se refere a duas dimensões: a) envolve as limitações referentes aos recursos disponíveis (materiais, audiovisuais e humanos), princípios e valores dos “produtores da IIR” e b) esses mesmos elementos na qual a Situação-Problema se refere. A *finalidade do projeto* está diretamente ligada ao contexto, e se refere ao que se deseja com a construção interdisciplinar. Em relação aos *destinatários*, o modelo teórico desenvolvido deve estar adequado ao grupo social a que se deseja ensinar ou analisar, caso contrário será inútil e não será frutífero; a complexidade depende do público-alvo que se intenciona atingir. Por fim, o *tipo de produto* como resultado final do projeto e o formato (um mapa conceitual, um diagrama “Vê”, um folheto, uma página na internet, uma maquete, um folder) são importantes para adequar o projeto aos recursos técnicos disponíveis, podendo ser materiais, tempo, entre outros (SCHMITZ, 2004).

O tempo, conforme mencionado, é um dos elementos fundamentais a serem considerados na etapa de proposição da Situação-Problema a ser trabalhada, especialmente na abertura ou não das denominadas caixas-pretas (FOUREZ, 1998). Caixa-preta é uma noção próxima à de conteúdo ou de conhecimento ou um dispositivo dos quais não é necessário saber tudo para utilizá-la (é uma série de coisas que se pode ignorar e que permite levar a situação adiante). Elas são

subsistemas materiais ou conceituais que se pode estudar em maior profundidade ou, ao contrário, deixar de examinar. Para o autor, este conceito de caixa-preta é importante porque designa alguns pontos que se poderia aprofundar e a propósito dos quais os especialistas e as especialidades disciplinares podem, eventualmente, intervir fazendo avançar o projeto, contribuindo possivelmente para o seu conhecimento.

Após a etapa preliminar, as oito etapas que constituem a construção da IIR são: o *clichê*, o *panorama espontâneo*, a *consulta a especialistas e às especialidades*, a *prática*, a *abertura aprofundada de algumas caixas-pretas para buscar princípios disciplinares*, a *esquematização global da Situação-Problema*, o *abrir algumas caixas-pretas sem ajuda de especialistas* e por fim, a *síntese da IIR produzida* (FOUREZ *et al.*, 1997). A seguir, cada uma das etapas será brevemente apresentada e descrita:

### **1ª Etapa- Clichê**

Para Fourez *et al* (1997), o clichê é caracterizado por um conjunto de representações iniciais, corretas ou não, que os alunos podem apresentar a respeito da situação a ser investigada. Essa representação prévia reflete o que pensa o grupo sem que tenha uma formação especial. A etapa corresponderia a uma exposição espontânea a partir do cotidiano do aluno e, comumente, externaliza prejulgamentos intensos e profundos (levantamento de conhecimentos prévios). Na confluência entre as IIR e a AS, esta etapa corresponde à observação dos conhecimentos prévios do grupo social que se quer ensinar.

Com relação às ideias levantadas, Fourez (2001) considera útil e interessante, neste clichê, fazer a distinção entre os fatos, as hipóteses e os valores. Esses elementos estão presentes no Diagrama Vê de Gowin, o que o caracteriza como potencial instrumento para a avaliação das ilhas. Esta classificação, posteriormente, poderá ajudar a listar os pontos que devem ser investigados, os pontos de tensão que podem surgir, os especialistas ou especialidades que podem ser consultados.

Para atingir estes objetivos, após a apresentação da Situação-Problema e da devida contextualização, no livro de Fourez *et al* (1997) é descrito que: “em um *brainstorming*, a equipe levante todos os tipos de questionamentos possíveis, dos mais gerais às mais específicas (p. 113)”, “escute-se a exposição de um técnico (p.

113) ou a palestra de um especialista (p. 122)”, “desmonte-se um equipamento (p. 113)” ou “os alunos se expressem oralmente sobre a Situação-Problema de maneira espontânea, sem muito rigor ou crítica” (p. 122).

Esta etapa, apesar de diversas vezes aparentar ser superficial e informal, é fundamental devido à necessidade da explicitação das ideias iniciais para as tomadas de decisão no projeto. Além dos argumentos já colocados é importante que se construa um modelo inicial, pois, caso contrário, os elementos observados nesta etapa poderão ser esquecidos ou negligenciados.

### **2ª Etapa- O panorama espontâneo**

Esta etapa é caracterizada como uma ampliação do clichê, sendo ainda bastante espontânea, uma vez que os alunos não recorrem aos especialistas. Neste sentido, os autores sugerem que se realize um levantamento dos atores envolvidos, das normas implícitas ou explícitas, das limitações, das posturas e tensões, das caixas pretas, das bifurcações e dos especialistas. A fim de atingir esses objetivos, é recomendado fazer várias listas ou montar um esquema que explicita os elementos apontados anteriormente citados. Dessa forma pode se perceber que o panorama não é tão espontâneo, pois os alunos devem construir e utilizar um esquema que poderá permitir ampliar as perspectivas e considerar aspectos da situação que não foram desenvolvidos ou observados no clichê. Para Fourez (2001), durante a construção de um panorama não se deve trabalhar em função das disciplinas especializadas. Os trabalhos devem estar mais voltados para uma abordagem global, de modo mais refinado, direcionado para um projeto (SCHMITZ, 2004). Na interface entre as IIR e a AS, esta etapa corresponde à apresentação dos organizadores prévios.

As listas que Fourez *et al.* (1997) recomendam ser desenvolvidas são as seguintes:

- Lista de autores/autoras envolvidos: descreve a relação de grupos sociais ou indivíduos envolvidos na situação estudada.
- Lista de normas e condições impostas pela situação estudada: delimita as normas envolvidas na situação analisada, podendo ser normas impostas por determinados poderes (legislativo, a direção de uma escola, etc.) e normas que não são impostas por um poder em específico.

- Lista de posturas e tensões: propõe que benefícios, inconvenientes e consequências que o assunto abordado ocasionaria.
- Lista de caixas-pretas: define as caixas-pretas que cujo estudo poderia se aprofundar, ou ao contrário, deixar de examinar.
- Lista de “bifurcações”: uma “bifurcação” surge quando há necessidade de se escolher entre diferentes estratégias. Algumas dessas escolhas podem ser de cunho técnico, porém algumas têm dimensão ética. Às vezes, neste momento, os alunos percebem que o projeto não envolve somente o aspecto científico, mas sim que o elemento humano está presente no projeto de vários modos.
- Lista de especialistas e especialidades: é definida de acordo com cada IIR e de acordo com o contexto. É necessário fazer uma lista dos/das especialistas ou especialidades que eventualmente poderão esclarecer o problema estudado.

### **3ª Etapa- *A consulta a especialistas e às especialidades***

Os especialistas considerados na etapa anterior são escolhidos e consultados conforme a necessidade, de acordo com as listas desenvolvidas. São consideradas especialistas as pessoas que possuem domínio sobre determinado assunto, permitindo que docentes, alunas/os e outras pessoas da comunidade escolar desempenhem esse papel. Essa consulta pode ser feita por meio de palestras a respeito do tema, debates, conversas, entrevistas ou mesmo durante as aulas, quando o professor de alguma disciplina for o especialista considerado. A explanação deverá atender às dúvidas e aos pontos considerados importantes pelos participantes da IIR. Nessa etapa, o tema é abordado sob o ponto de vista da especialidade consultada, construindo o conhecimento coletivo. Dessa forma, o projeto adquire caráter interdisciplinar com as especialidades envolvidas. Corresponde a uma das etapas de diferenciação progressiva e a concretização do Vê, na confluência entre IIR e AS.

Dentre os objetivos desta etapa, pode-se citar: escolher os especialistas e especialidades a serem consultados; mostrar como o ponto de vista do/a especialista pode fazer alterar o panorama inicial em relação à Situação-Problema, indicar a importância de consultar vários especialistas, para conseguir explicar os

questionamentos colocados e promover a abertura de algumas caixas pretas (não todas) fazendo uso de princípios disciplinares.

#### **4ª Etapa- Trabalho de Campo**

Nesta etapa, ocorre um aprofundamento do projeto, momento no qual os participantes saem do abstrato em direção ao concreto. Esta etapa visa desenvolver uma noção mais concreta da situação problema, seja por uma visita *in loco*, seja por meio da interpretação de uma composição histórico-epistemológica, seja por uma entrevista, seja pela execução de um experimento ou desmontagem de um equipamento. Dessa forma, o panorama espontâneo pode ser ampliado, além de mostrar a dimensão humana presente no projeto. As atividades a serem desenvolvidas são definidas em função da viabilidade, dos objetivos e dos/as participantes do projeto (FOUREZ *et al.*, 1997). Na interface entre AS e IIR, corresponde a uma etapa de introdução de novos conceitos a partir de organizadores prévios.

#### **5ª Etapa- Abertura aprofundada de algumas caixas pretas para buscar princípios disciplinares**

Neste momento os conteúdos disciplinares são trabalhados com rigor dentro da proposta interdisciplinar, podendo ser desenvolvida em consonância com outras etapas. A flexibilidade de organização e as situações ligadas a cada projeto que estabelecerão o momento adequado de abrir caixas pretas de maneira mais aprofundada. Nesta etapa, o objetivo é de fazer a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora de conceitos e de Leis da Termodinâmica.

A pesquisa mais aprofundada de algum ponto específico do projeto, acontecendo ou não com a presença de especialistas, pode ocorrer com alguns elementos do ensino tradicional, como o quadro negro para exposição específica de algum aspecto. Esta etapa visa promover o bom uso das caixas pretas, de modelos simples e o acesso a linguagens e modelos científicos e técnicos. Segundo Fourez *et al.* (1997)

Esta abertura das caixas pretas poderá ser a ocasião de uma exposição disciplinar clássica (às vezes magistral), relativa a um princípio disciplinar da técnica estudada. Se pode assim estudar o 'princípio físico' de ferro de passar (efeito Joule), ou o 'princípio' de psicologia social baseado em seu 'desenho', ou o princípio dos textos jurídicos relativos à segurança do aparelho. (p.119).

### **6ª Etapa- Abrir algumas caixas-pretas sem ajuda de especialistas**

Esta etapa ocorre em função do local e do contexto em que o projeto será aplicado, pois muitas vezes não há especialistas disponíveis para serem consultados a fim de abrirem caixas pretas. Isso fará com que docentes e alunos/as assumam a responsabilidade de fornecer as informações. Dessa forma, modelos provisórios e aproximados são construídos (SCHMITZ, 2004).

A falta de apoio do/a especialista (que inúmeras vezes são representados/as pelo professor), para fornecer as informações e as opiniões, a respeito de uma determinada caixa preta, vai ajudar a mostrar a necessidade do bom uso do especialista. Nesta etapa o/a docente deve tomar cuidado para não comprometer o desenvolvimento da IIR e fazer com que os objetivos desta não sejam atingidos.

### **7ª Etapa- Esquematização global da Situação-Problema**

Esta etapa é caracterizada pela construção de um esquema da IR que represente aspectos relevantes abordados e selecionados pela(s) equipe(s). Segundo Fourez *et al.* (1997) podem ser desenvolvidos uma ficha projetada do assunto e/ou um esquema da organização social de uma tecnologia, com o intuito de sistematizar os principais pontos observados na IIR.

Dentre os objetivos desta etapa, pode-se destacar a organização e seleção de dados das pesquisas, a apresentação de resultados, a explicitação de pontos importantes do projeto, o estabelecimento de condições de contorno do projeto e de critérios para as tomadas de decisão.

### **8ª Etapa- Síntese da IIR**

Ao se elaborar uma síntese da IIR, é possível se ter uma ideia da abrangência do projeto, pois essa deverá conter os elementos pensados ao longo do projeto e deve resultar em um produto final, ou em possíveis respostas para a situação-problema. Para realiza-la, é necessário fazer as simplificações e resumos. Aqui, é necessária precaução para desenvolvê-la junto aos alunos, seja no sentido técnico (esquematizar, estruturar, teorizar e fazer um resumo para encerrar o trabalho) ou no sentido pedagógico, para que não haja descaracterização das escolhas feitas pelos alunos. Nas etapas 6, 7 e 8 ainda se visa desenvolver diferenciação e/ou reconciliação, além de consolidar conhecimentos significativamente construídos.

## 4.2 – Abordagem proposta a partir das Ilhas Interdisciplinares de Racionalidade para a Aprendizagem Significativa de Termodinâmica Química

Para desenvolver os conceitos de Termodinâmica Química, sua construção histórica, epistemológica e social, além das noções consensuais da NdC, foi proposta a Ilha Interdisciplinar de Racionalidade a seguir, com base nos princípios teóricos descritos no item 4.1 desta presente investigação. As atividades desenvolvidas na IIR foram construídas com base nos princípios da Aprendizagem Significativa para promover a aprendizagem dos futuros engenheiros e como instrumento de obtenção de dados.

No Quadro 9 são descritas as etapas da IIR de Fourez, e um resumo das atividades desenvolvidas em cada uma delas para esta investigação.

Quadro 9 - Etapas das IIR de Fourez e descrição das atividades desenvolvidas na investigação.

Etapa(s)	Descrição segundo Fourez	Atividades desenvolvidas
<b>1ª Etapa - Cliché</b>	Conjunto de representações iniciais, corretas ou não, que os alunos podem apresentar a respeito da situação a ser investigada. Essa representação prévia reflete o que pensa o grupo sem que tenha uma formação especial. A etapa corresponderia a uma exposição espontânea a partir do cotidiano do aluno e, comumente, externaliza julgamentos intensos e profundos (levantamento de conhecimentos prévios).	Questionário prévio
<b>2ª Etapa - O panorama espontâneo</b>	Ampliação do clichê, sendo ainda bastante espontânea, uma vez que os alunos não recorrem aos especialistas. Neste sentido, os autores sugerem que se realize um levantamento dos atores envolvidos, das normas implícitas ou explícitas, das limitações, das posturas e tensões, das caixas pretas, das bifurcações e dos especialistas.	Desconstrução a partir da discussão de noções distorcidas da Ciência: <ul style="list-style-type: none"> <li>- o conhecimento científico sendo provado</li> <li>- as teorias científicas são derivadas de maneira rigorosa da obtenção de dados</li> <li>- opiniões ou preferências pessoais e suposições especulativas não têm lugar na Ciência</li> <li>- conhecimento científico é conhecimento confiável por ser provado</li> </ul> Situação-problema para discutir e distinguir conceitos como observação e inferência, o caráter provisório do conhecimento científico e o

		<p>papel da criatividade na Ciência Atividade <i>Tricky Tracks</i>.</p> <p>Apresentação dos itens do Vê de Gowin, com exemplificação.</p>
<b>3ª Etapa</b> - A consulta ao especialista (Professor)	Os especialistas considerados na etapa anterior são escolhidos e consultados conforme a necessidade, de acordo com as listas desenvolvidas. São consideradas especialistas as pessoas que possuem domínio sobre determinado assunto, permitindo que docentes, alunas/os e outras pessoas da comunidade escolar desempenhem esse papel. Essa consulta pode ser feita por meio de palestras a respeito do tema, debates, conversas, entrevistas ou mesmo durante as aulas, quando o professor de alguma disciplina for o especialista considerado.	<p>Construção coletiva de um conceito de Energia, a partir da delimitação de seus múltiplos usos.</p> <p>Confecção do primeiro diagrama Vê referente ao texto "O que é Energia?".</p>
<b>4ª Etapa</b> - Trabalho de Campo	Nesta etapa, ocorre um aprofundamento do projeto, momento no qual os participantes saem do abstrato em direção ao concreto. Esta etapa visa desenvolver uma noção mais concreta da situação problema, seja por uma visita <i>in loco</i> , seja por meio da interpretação de uma composição histórico-epistemológica, seja por uma entrevista, seja pela execução de um experimento ou desmontagem de um equipamento.	<p>Para cada texto proposto, foi realizada a leitura e a interpretação, concomitantemente foi construído o respectivo Diagrama Vê (4ª Etapa), e posterior discussão coletiva nos encontros presenciais (5ª Etapa):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Texto 1 - Como foi construído o conceito de Calor?</li> <li>- Texto 2 - A Conservação de Energia e a Primeira Lei da Termodinâmica</li> <li>- Texto 3 - Entalpia e Entropia: como diferenciá-las?</li> <li>- Texto 4 - O Ciclo de Carnot e o desenvolvimento da Segunda Lei da Termodinâmica.</li> </ul>
<b>5ª Etapa</b> - Abertura aprofundada de algumas caixas pretas para buscar princípios disciplinares	Neste momento os conteúdos disciplinares são trabalhados com rigor dentro da proposta interdisciplinar, podendo ser desenvolvida em consonância com outras etapas. A flexibilidade de organização e as situações ligadas a cada projeto que estabelecerão o momento adequado de abrir caixas pretas de maneira mais aprofundada.	
<b>6ª Etapa</b> - Abrir algumas caixas-pretas sem ajuda de especialistas	Esta etapa ocorre em função do local e do contexto em que o projeto será aplicado, pois muitas vezes não há especialistas disponíveis para serem consultados a fim de abrirem caixas pretas. Isso fará com que docentes e alunos/as assumam a responsabilidade de fornecer as informações. Dessa forma, modelos provisórios e aproximados são construídos.	<p>Apreciação e discussão do filme <i>Steamboy</i> (2004), para que os participantes aprofundassem os conhecimentos em Físico-Química, bem como estabelecessem relações com a NdC discutida nos Trabalhos de Campo.</p>
<b>7ª Etapa</b> - Esquematização global da Situação-Problema	A organização e seleção de dados das pesquisas, a apresentação de resultados, a explicitação de pontos importantes do projeto, o	<p>Questionário Posterior.</p> <p>Construção coletiva a partir da conceituação e diferenciação</p>

	estabelecimento de condições de contorno do projeto e de critérios para as tomadas de decisão.	das grandezas estudadas, além da reconciliação nas Leis. Discussão da NdC.
<b>8ª Etapa</b> - Síntese da IIR	Ao se elaborar uma síntese da IIR, é possível se ter uma ideia da abrangência do projeto, pois essa deverá conter os elementos pensados ao longo do projeto e deve resultar em um produto final, ou em possíveis respostas para a situação-problema. Para realiza-la, é necessário fazer as simplificações e resumos.	

**Fonte:** elaborado pelo autor (2017)

Nesta 1ª etapa – *Cliché* -, as/os participantes responderam ao questionário prévio proposto como instrumento de obtenção de dados, a fim de se identificar conhecimentos prévios para desenvolver as ideias a partir do que havia presente na estrutura cognitiva das/dos participantes e iniciar o processo de ancoragem. O pesquisador coletou algumas respostas dos questionários, bem como indagou aos participantes acerca do que haviam respondido no questionário para iniciar as discussões.

Na 2ª etapa - O *panorama espontâneo*, a fim de aprofundar aspectos importantes da organização e da dinâmica do conhecimento científico, utilizou-se a explicação dos elementos do Vê Epistemológico, com a discussão dos domínios conceitual e metodológico e sua importância na Ciência. A primeira questão do questionário prévio da 1ª Etapa — “O que é Ciência?” foi retomada com o intuito de se discutir explicitamente noções inadequadas do conhecimento científico. Essas concepções de senso comum amplamente aceitas são descritas por Chalmers (2007), como por exemplo, o conhecimento científico sendo provado - baseado no que se pode ver, ouvir, tocar entre outros; objetivo - em que as teorias científicas são derivadas de maneira rigorosa da obtenção dos dados da experiência adquiridos por observação e experimento; que opiniões ou preferências pessoais e suposições especulativas não têm lugar na Ciência e que conhecimento científico é conhecimento confiável porque é conhecimento provado objetivamente. Após essa discussão, foram apresentados aspectos da NdC em que há consenso entre filósofos, historiadores, sociólogos e educadores de Ciência. Dentre esses podemos citar: a Ciência como conhecimento provisório, empírico, em que há inferências, as observações são carregadas de teorias, os elementos imaginativos e criativos estão

presentes, entre outros (ABD-EL-KHALICK, 1998), sendo que essas noções são consideradas adequadas.

Após essas discussões, foi apresentada uma situação-problema para discutir e distinguir conceitos como observação e inferência, o caráter provisório do conhecimento científico e o papel da criatividade na Ciência (atividade intitulada: *Tricky Tracks* (LEDERMAN; ABD-EL-KHALICK, 1998). Para isso, o pesquisador realizou uma rápida leitura nas respostas para utilizar os clichês expressos pelos participantes. Esse momento foi proposto por diversas razões: primeiro, porque favorece a discussão e a reflexão; em segundo lugar, porque as pesquisas nos mostram polissemia conceitual entre observação e inferência, bem como a dificuldade de compreender o caráter provisório e a criatividade na construção do conhecimento científico (GIL PÉREZ *et al.*, 2001).

A maneira como a atividade foi apresentada e discutida seguiu as sugestões de Lederman e Abd-El-Khalick (1998). Assim, as figuras foram apresentadas em slide, entregou-se uma folha sulfite e solicitou-se às/aos participantes que respondessem algumas questões como: "O que você observa?"; "Você pode ver as aves?"; "Por que os dois animais estão indo em direção ao mesmo ponto?", "O que você deduz?". Após a discussão, foi explicitado que as inferências devem ser consistentes com as evidências, mesmo que um determinado conjunto de observações possa justificar igualmente várias inferências.

Em seguida, foi apresentado aos alunos o Vê epistemológico de Gowin. Esse trabalho foi feito com o auxílio de uma apresentação e, posteriormente, com a aplicação de diversas atividades envolvendo os conteúdos de Geração Espontânea.

Os elementos do Vê foram apresentados em função da construção de Ciência anteriormente caracterizados na discussão referente à Questão "O que é Ciência"?

Na 3ª etapa - *A consulta ao especialista (Professor)* - foi desenvolvido o primeiro diagrama Vê com o auxílio do professor, dando-lhes liberdade de escolher o que caracterizava o conceito de Energia a partir do texto "O que é Energia?", constituído de um breve recorte histórico e conceitual com elementos da AS, como os organizadores prévios, além da inserção contextualizada de elementos da Natureza da Ciência, permitindo-lhes a familiarização com o instrumento e a discussão para a formulação do conceito, nessa situação inicial mais focada na construção com a intermediação do professor para a confecção do instrumento. Nesta etapa, o objetivo foi de construir coletivamente um conceito dentro de uma

delimitação quando esse apresenta múltiplos usos. A partir das discussões, houve o direcionamento para o conceito de Energia relacionado à constância no contexto da Físico-Química, que foi utilizado nas outras etapas de maneira recursiva para desenvolver princípios e Leis.

Na 4ª Etapa e na 5ª Etapa - *Trabalho de Campo e Abertura de algumas caixas pretas para buscar princípios disciplinares* - a abordagem histórica e conceitual foi construída por meio de textos construídos a partir da composição desenvolvida na presente investigação. Para cada leitura, o/a participante confeccionou um diagrama Vê de Gowin concomitantemente a sua leitura em casa, para organização de sua interpretação e construção de conhecimento. Os textos foram construídos com a perspectiva de áreas interdisciplinares (APÊNDICE A, p. 223), com as intencionalidades apresentadas a seguir:

*O que é Energia?:* Texto introdutório construído com elementos da influência social atrelada ao conceito de Energia, caráter provisório de teorias, e construção histórica do conceito de Energia, direcionando para o conceito atual de Energia na Ciência clássica como constância em meio à mudança; além disso, foi trabalhada a controvérsia entre Leibniz e Descartes em relação à real medida de uma força, a partir da qual foram inferidas as relações de quantidade de movimento e os primórdios do conceito de energia cinética.

*Como foi construído o conceito de Calor?:* Texto construído com elementos da Natureza da Ciência como observações/inferências, caráter provisório de leis e teorias, com elementos da relação da sociedade com a construção histórica e conceitual do Calor. Foi utilizado um exemplo dado por um participante em relação ao caráter científico dos Chacras para adjetivar a Ciência com sua Natureza segundo a visão consensual. A construção do conceito de Calor se deu, inicialmente, com a associação do Calor aos Quatro Elementos (Terra, Fogo, Água e Ar), a ideia do éter como quinto elemento, o Calor como movimento de átomos em seus interstícios, a máquina de Heron e o *alcahest* como princípio alquímico. Os episódios históricos interdisciplinares escolhidos foram: o flogístico e as reações químicas (Físico-Química), o calórico e as reações químicas (Físico-Química), e os experimentos de Thompson na fábrica de canhão (Físico-Química).

*A Conservação de Energia e a Primeira Lei da Termodinâmica:* Texto construído para desmistificar a profissão de cientista por meio de princípios da visão consensual da NdC (Natureza da Ciência), com a presença de elementos da visão

de conhecimento científico corroborado por uma comunidade de cientistas, com a utilização de exemplos interdisciplinares (Termoquímica, Bioquímica, Eletroquímica) e a relação entre teoria e prática na Engenharia. O problema interdisciplinar do metabolismo e demanda energética (Bioquímica), atribuído no recorte deste trabalho a Lavoisier, Laplace e Mayer foi utilizado como contraste à visão a partir dos experimentos de Joule, baseado na Físico-Química.

A problemática levantada por Gil Pérez *et al.* (2001), que se refere à concepção de uma Ciência como sendo individualista e elitista, destacando gênios, homens, brancos e isolados, ignorando o papel do trabalho coletivo, cooperativo e o intercâmbio entre grupos de cientistas foi levantada nesta discussão. Os/as participantes citaram exemplos de pesquisadores(as) que conheciam, atribuindo a eles/elas características como: estar vestindo jaleco, ser homem, socialmente isolado e com dificuldades de interação, além de explicitarem características de comportamento inóspito com pessoas de outras posições hierárquicas. É uma concepção socialmente neutra da Ciência que destaca a construção do conhecimento científico nem para o bem, nem para o mal, um conhecimento neutro, não considerando as complexas relações estabelecidas entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

*Entalpia e Entropia: como diferenciá-las?:* Texto estruturado inicialmente com a Lei de Hess como aplicação da Entalpia como instrumento de cálculo do Calor envolvido em uma reação química, sob a perspectiva da Físico-Química, e a construção conceitual do conceito de Entropia sob a perspectiva da Mecânica Estatística e da Físico-Química.

*O Ciclo de Carnot e o desenvolvimento da Segunda Lei da Termodinâmica:* Texto construído com elementos da Sociologia da Ciência para contextualizar a necessidade do desenvolvimento da Segunda Lei da Termodinâmica, bem como da presença da discussão da mudança de teorias (Natureza da Ciência), e construção epistemológica baseada na Físico-Química.

Em cada texto, a construção dos conceitos levou em consideração a recursividade como instrumento para a compreensão de outros conceitos envolvidos e trabalhados posteriormente, a fim de propiciar a AS. A abertura das caixas-pretas (5ª Etapa) foi realizada nas discussões de cada texto em sala de aula.

É importante ressaltar que os textos foram construídos com base nos princípios da AS. Os textos continham organizadores prévios, que foram ponto de

partida para as discussões durante o curso. Além disso, a compilação de textos confeccionada a partir da composição histórico-epistemológica desta pesquisa tinha como objetivo promover a diferenciação progressiva de conceitos como Energia, Calor, Entalpia e Entropia e a reconciliação integrativa na Primeira e na Segunda Leis da Termodinâmica.

Na 6ª Etapa- *Abrir algumas caixas-pretas sem ajuda de especialistas* - para esta atividade, foi escolhido o filme *Steamboy* (2004), do diretor Katsushiro Otomo, um longa-metragem de animação japonesa pertencente ao gênero *steampunk*<sup>15</sup>. Esta atividade teve como objetivo que os/as participantes aprofundassem os conhecimentos em Físico-Química, bem como estabelecessem relações com a NdC discutida nos Trabalhos de Campo. Os objetivos específicos para tais finalidades são a reflexão a respeito das origens, motivações e usos das máquinas térmicas, a relação com a Primeira Revolução Industrial, aprofundar os conceitos de trabalho e de potência a partir de uma máquina térmica, além de propriedades de fluidos utilizados em sistemas térmicos.

Por fim, nas 7ª e 8ª Etapas - *Esquematização global da Situação-Problema e Síntese* - ao final de cada texto, as Situações-Problema presentes em cada atividade, seja por meio de construção epistemológica de um conceito ou por um problema histórico discutido por meio de controvérsias sociais e/ou instrumentais foi sintetizada por meio de uma construção coletiva no quadro, a fim de estruturar os conhecimentos prévios adquiridos por meio da leitura com os conhecimentos construídos por meio da discussão e mediação durante o curso. Ao final, após a confecção do questionário posterior, foi feita uma esquematização geral dos problemas envolvidos no curso de extensão para sintetizar as principais ideias e conceitos construídos.

---

<sup>15</sup> O *steampunk*, também conhecido como Tecnavapor (diminutivo de "Tecnologia a Vapor"), é um subgênero da ficção científica, ou ficção especulativa, que ganhou fama no final dos anos 1980 e início dos anos 1990. Trata-se de obras ambientadas no passado, no qual os paradigmas tecnológicos modernos ocorreram mais cedo do que na História real (ou em um universo com características similares), mas foram obtidos por meio da Ciência já disponível naquela época - como, por exemplo, computadores de madeira e aviões movidos a vapor. É um estilo normalmente associado ao futurista *cyberpunk*.

## 5 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS PARA O ESTUDO EMPÍRICO

O Procedimento Metodológico para o estudo empírico desta pesquisa inicia-se com a escolha de uma pesquisa qualitativa de cunho interpretativo. São diversas as estratégias de investigação que podem ser adotadas no contexto das pesquisas qualitativas (BOGDAN; BIKLEN, 1994).

Conforme Bogdan e Biklen (1994), a pesquisa qualitativa desenvolve estratégias que podem ser assumidas em vários contextos de investigação.

Os dados recolhidos são designados por qualitativos, o que significa ricos em pormenores descritos relativamente a pessoas, locais e conversas [...] O investigador introduz-se no mundo das pessoas que pretende estudar, tenta conhecê-las, dar-se a conhecer e ganhar sua confiança, elaborando um registo escrito de tudo aquilo que ouve e observa (BOGDAN; BIKLEN, 1994, p. 16)

É relevante ressaltar que a investigação qualitativa, segundo os autores, possui cinco características que nem sempre estarão totalmente presentes em todas as investigações, como: ambiente natural; descrição de dados; o processo é mais relevante que o produto; análise de forma indutiva; o significado.

Neste capítulo, o desenvolvimento metodológico da pesquisa será descrito: a pesquisa empírica com a obtenção de dados, composta por questionário prévio e posterior e Diagramas Vê de Gowin, dados que compõem o *corpus*<sup>16</sup> de análise. Neste capítulo, também será apresentado um quadro com as atividades da IIR elaborada com a intenção tanto formativa como para possibilitar a obtenção dos dados. Por fim, apresentaremos as Unidades de Contexto (UC) e de registro (UR) elaboradas para a análise dos dados obtidos.

### 5.1 – Participantes da Pesquisa

Para a obtenção de dados desta pesquisa, foi elaborado um curso de extensão nomeado: **Abordagem Histórica-Epistemológica para a Promoção da Aprendizagem Significativa de Conceitos e de Leis da Termodinâmica**. Esse curso teve a duração de 20 horas, sendo que doze foram presenciais e oito à distância, e foi realizado no contraturno dos cursos de graduação da UTFPR Campus Cornélio Procópio.

---

<sup>16</sup> O *corpus* corresponde ao conjunto dos documentos tidos em conta para serem submetidos aos procedimentos analíticos (BARDIN, 2004, p. 90)

As doze horas destinadas à realização das atividades presenciais da IIR correspondem à carga horária que o curso de Engenharia Mecânica da UTFPR-CP destina à Termodinâmica na ementa da disciplina de Química.

O convite para o curso de extensão foi feito para graduandos de Engenharia Mecânica que já haviam sido alunos do pesquisador. A justificativa para convidar ex-alunos é que como o conteúdo de Termodinâmica é ensinado na metade do semestre da disciplina de Química, as relações interpessoais já estariam estabelecidas; dessa forma, esta IIR “piloto” dispensou a construção de relações empáticas com os participantes, pois essas já preexistiam. Além disso, todos haviam sido aprovados na disciplina de Química, permitindo inferir que os conceitos termodinâmicos já haviam sido abordados de alguma forma durante a trajetória acadêmica dos/das participantes.

Onze graduandos (grifo nosso) aceitaram o convite e assinaram o Termo de Consentimento Livre Esclarecido, TCLE, (Apêndice C).

## **5.2 - Análise de Conteúdo dos Questionários e da Entrevista Estruturada**

As análises qualitativas usam cada vez mais as análises textuais, como a análise de conteúdo, a análise do discurso e a análise textual discursiva, para aprofundar a compreensão de fenômenos e reconstruir conhecimentos existentes do tema investigado, a partir de uma análise estrita e criteriosa das informações obtidas (MORAES; GALIAZZI, 2007).

As análises textuais são metodologias que propiciam um conjunto de orientações e caminhos a serem seguidos durante a pesquisa. Nesta investigação, optou-se pela utilização da análise de conteúdo, metodologia esta que possibilitou interpretar os dados obtidos e contribuir teoricamente com os estudos de NdC e construção de conceitos e Leis da Termodinâmica.

A análise de conteúdo pode ser feita considerando duas perspectivas: a quantitativa, em que se usa como referencial a frequência com que surgem certas características do conteúdo, e a qualitativa, em que se usa como referencial a presença ou ausência de uma ou mais características de conteúdo em um determinado trecho da mensagem que é tomado em consideração. Essas duas maneiras de análise podem ser utilizadas de modo complementar.

Em um sentido amplo, pode-se definir a análise de conteúdo como

[...] um conjunto de técnicas de análise das comunicações [...], que visa obter, [...] por procedimentos, sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens (BARDIN, 2004, p. 37).

Com base no campo de atuação proposto por Bardin, a análise de conteúdo permite uma infinidade de investigações. No caso específico desta investigação, a análise de conteúdo será um procedimento metodológico para analisar a construção do conhecimento dos/das participantes do curso de Engenharia Mecânica em relação às questões da NdC e conceitos e Leis da Termodinâmica.

A análise do conteúdo é composta por três fases: 1. a pré-análise; 2. a exploração do material; e, finalmente, 3. o tratamento dos resultados: a inferência e a interpretação.

A **pré-análise** é um momento de organização. Objetiva a sistematização dos dados para que se possa conduzir as operações sucessivas de análise. Assim, essa primeira fase compreende, além da escolha dos documentos a serem submetidos à análise, também a formulação de hipóteses para a elaboração de indicadores para a interpretação final, não sendo nessa ordem obrigatoriamente, embora interligados.

A análise do conteúdo temático categorial foi utilizada para analisar os questionários diagnóstico prévio, o questionário posterior, e a entrevista estruturada, sendo que esses itens constituem uma parte do *corpus* de análise. Para analisar os diagramas Vê, sendo eles objetos idiossincráticos, optou-se por procurar, nesses registros, evidências da AS e, em especial, registros que apontassem para uma mudança na visão da construção do conhecimento científico, sem construir unidades de significação.

Depois de definido *corpus* de análise, todas as regras propostas por Bardin (2004) de exaustividade, representatividade, homogeneidade e pertinência foram levadas em consideração.

A **exploração do material** constitui a segunda fase, na qual construiu-se as Unidades de Contexto e de Registro, que são unidades de significação, com base no referencial teórico e nos objetivos desta pesquisa, bem como na análise empírica (unidades de registro emergentes). As unidades construídas possuem um recorte em nível semântico, um tema, que permitem encontrar os núcleos de sentido que compõem a comunicação.

A unidade de contexto "[...] serve de unidade de compreensão para codificar a unidade de registro e corresponde ao segmento da mensagem, cujas dimensões (superiores as da unidade de registro) são ótimas para que se possa compreender a significação exata da unidade de registro" (BARDIN, 2004, p. 100).

A unidade de registro pode ser um tema, uma palavra ou uma frase. O texto é recortado pelas unidades de registro, sendo "[...] a unidade de significação a codificar e corresponde ao segmento do conteúdo a considerar como unidade de base, visando a categorização e a contagem frequencial" (BARDIN, 2004, p. 98).

A análise frequencial da ocorrência de fragmentos textuais que foram unitarizados nos permite analisar a regularidade quantitativa da aparição de certos fragmentos e, assim, possibilita inferências e interpretações a partir dos dados.

A terceira fase diz respeito **ao tratamento dos resultados, inferência e interpretação**. Essa etapa é destinada ao tratamento dos resultados e ocorre nela a condensação e o destaque das informações para análise, culminando nas interpretações inferenciais. É o momento da intuição, da análise reflexiva, crítica (BARDIN, 2004) e do retorno à fundamentação teórica.

A seguir serão descritas como foram realizadas, nesta investigação, as três etapas propostas por Bardin (2004): a pré-análise, a exploração do material e o tratamento dos resultados. Iniciar-se-á pela organização da pré-análise dos dados.

### 5.2.1 - Pré-análise: Instrumentos de obtenção de dados

A obtenção de dados ocorreu durante a abordagem pedagógica proposta e após dois meses e meio o desenvolvimento das atividades. Essa foi embasada no referencial teórico-metodológico analisado e escolhido para esta investigação. Foram utilizadas estratégias como questionário prévio e final, entrevista estruturada, Diagramas Vê, além de registros no diário de bordo, compondo o *corpus* de análise. Além disso, foi criado um grupo de comunicação no aplicativo *WhatsApp* com o intuito de promover a discussão das atividades à distância, como um fórum de dúvidas a respeito das leituras. A utilização de múltiplas estratégias de obtenção de dados permite um entendimento mais amplo da realidade estudada, por meio da triangulação desses dados. A seguir explicitar-se-á e justificar-se-á os instrumentos de obtenção de dados:

1 – *Questionário Diagnóstico Prévio*: Elaborou-se um questionário com doze questões abertas (APÊNDICE B, p. 252) para compreender as noções prévias que

os/as participantes possuíam de aspectos da NdC e da construção de conhecimentos científicos relacionados à Termodinâmica. Optou-se pelo uso de um questionário aberto, pois este permite aos respondentes elucidar seus pontos de vista em relação à NdC. O uso de questionários de múltipla escolha muitas vezes impõe uma visão de NdC (LEDERMAN *et al.*, 2002). As questões de 1 a 6 estão relacionadas a aspectos da NdC, que foram retiradas do questionário VNOS-C (*Views of the Nature of Science, Form C*), elaborado e validado por Lederman *et al.* (2001, 2002). A versão traduzida do questionário foi validada, por retrotradução, por El-Hani *et al.* (2004). O questionário completo de Lederman *et al.* (2001, 2002) possui dez questões, das quais optou-se por cinco. A escolha dessas questões está relacionada às discussões epistemológicas no processo da abordagem, pois nem todos os aspectos discutidos no questionário de Lederman *et al.* (2001, 2002) serão aprofundados no processo. A questão número um foi desmembrada em duas, conforme questionário de El-Hani *et al.* (2004). As questões de 7 a 12 referem-se a conhecimentos prévios relacionados aos conceitos de Energia, Calor, Entalpia, Entropia, e as relações com a Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica, que, segundo a literatura, são impregnadas de divergências e de conhecimentos de senso comum. Foi realizada a intercodificação de significados pelo grupo de pesquisa IFHIECEM para as questões de 7 a 12.

2 – *Diagramas Vê de Gowin*: Os Diagramas Vê de Gowin foram construídos, na primeira atividade do curso (texto a respeito de Energia), em dupla e com auxílio do pesquisador. Posteriormente, para cada um dos textos previamente lidos para a discussão (Calor, Primeira Lei, Entropia vs Entalpia e Segunda Lei) foi solicitado um Diagrama Vê concomitante à leitura para análise da organização e da compreensão dessa, bem como, nesses registros, de evidências da AS. Conforme Gowin (1981), embora os Diagramas possam se constituir em bons instrumentos de avaliação da aprendizagem, é preciso ter claro que esses instrumentos fornecem dados essencialmente qualitativos e que, portanto, só podem ser analisados sob essa ótica. Assim, os dados devem ser interpretados a fim de identificar os significados que o aluno está atribuindo aos conceitos e ideias trabalhados.

3 - *Questionário Posterior*: para compreender as noções posteriores que as/os participantes possuíam após a abordagem pedagógica dos aspectos da NdC e dos conceitos e Leis da Termodinâmica, contendo as mesmas questões do Questionário Prévio.

4 – *Entrevista Estruturada*: para investigar a retenção dos aspectos da NdC e dos conceitos e Leis da Termodinâmica. O questionário utilizado na entrevista estruturada foi o mesmo utilizado nas etapas prévias e posterior à abordagem, contendo uma questão adicional: “Você considera que a maneira que você foi ensinado/a Termodinâmica foi diferente da desenvolvida pelo curso?”, além de ser requisitada uma explicação. A entrevista estruturada ocorreu no dia 1 de novembro de 2017, dois meses e meio após as atividades finais da abordagem.

Todo material foi obtido por meio do consentimento livre, mediante o compromisso ético em manter preservada a identidade das/dos participantes. No Quadro 10 encontra-se uma síntese das atividades desenvolvidas.

Quadro 10 - Síntese das atividades desenvolvidas.

<b>Data</b>	<b>Atividades desenvolvidas</b>	<b>Duração</b>
09/08/2017	Apresentação da proposta do Curso e da Pesquisa	15 minutos
	Assinatura do Termo de Consentimento da Pesquisa	
09/08/2017	Questionário VNOS-C e Conceitos de Termodinâmica (prévio)	45 minutos
09/08/2017	Observação, inferências, hipóteses e o caráter provisório do conhecimento científico, atividade Tricky Tracks	1 hora 30 minutos
	Problematização das concepções populares do conhecimento científico	
	Discussão de aspectos consensuais da Natureza da Ciência aceitos atualmente	
	Apresentação do Vê de Gowin e discussão de relação entre termos científicos	
09/08/2017	Intervalo	15 minutos
09/08/2017	Leitura do texto "O que é energia?"	1 hora 15 minutos
	Construção do Primeiro Vê de Gowin	
10/08/2017 (À Distância)	Leitura dos textos "Como foi construído o conceito de Calor?" e "A Conservação de Energia e a Primeira Lei"	3 horas
	Construção dos Respectivos Vês de Gowin	
11/08/2017	Organizadores prévios e Discussão de elementos da NdC do texto "Como foi construído o conceito de Calor?"	2 horas
	Discussão da construção do conceito de Calor	
11/08/2017	Intervalo	15 minutos
11/08/2017	Oganizadores prévios do texto "A Conservação de Energia e a Primeira Lei da Termodinâmica"	1 hora 45 minutos
	Discussão da evolução dos conceitos e dos episódios históricos envolvidos na construção da Primeira Lei da Termodinâmica	

12/08/2017 (À Distância)	Leitura dos textos "Entropia e Entalpia: como diferenciá-las?" e "O Ciclo de Carnot e o desenvolvimento da Segunda Lei da Termodinâmica"	3 horas
	Construção dos Respectivos Vês de Gowin	
13/08/2017 (À Distância)	Filme <i>Steamboy</i>	2 horas
14/08/2017	Organizadores prévios e Discussão de elementos da NdC	2 horas
	Discussão a respeito dos conceitos de Entalpia e Entropia e a relação dessa com a Segunda Lei da Termodinâmica	
14/08/2017	Intervalo	15 minutos
14/08/2017	Discussão da Segunda Lei da Termodinâmica, do ciclo de Carnot e do filme <i>Steamboy</i>	1 hora
	Questionário VNOS-C e Conceitos de Termodinâmica (posterior)	45 minutos
01/01/2017	Entrevista Estruturada com Participantes	2 horas

**Fonte:** elaborado pelo autor (2017)

Para análise de conteúdo dos questionários respondidos e da entrevista estruturada foram construídas Unidades de Contexto e de Registro

### **5.3 – Exploração do material: Construção das Unidades de Contexto (UC) e de Registro (UR)**

O processo de análise e estruturação das unidades de contexto e de registro se deu por meio da articulação entre o referencial teórico e os dados empíricos. O referencial teórico serviu como um guia inicial no processo de análise, entretanto os dados empíricos evidenciaram outros elementos que os complementam.

Foram construídas unidades de contexto (UC) e registro prévias (UR) e emergentes (URE) para analisar os questionários durante a abordagem pedagógica. As UC e UR foram construídas com base no referencial teórico-metodológico desta pesquisa e nas discussões semanais do grupo IFHIECEM, que também realizaram a decodificação intersubjetiva das unidades. As URE foram elaboradas conforme os dados obtidos e analisados.

As UR elaboradas previamente foram baseadas em noções adequadas, desejáveis em relação ao conhecimento científico e sua construção, e noções inadequadas, ambas comumente encontradas na literatura (LACEY, 1998;

2003, 2012; MORGAN; MORRISON, 1999; BATISTA, 1999; GIL PÉREZ *et al.*, 2001; SAYÃO, 2001; LEDERMAN *et al.*, 2002; ABD-EL-KHALICK, 2012; HEERDT, 2014), além de noções adequadas e inadequadas dos estudantes em relação a conceitos e significados da Termodinâmica (BLISS E OGBORN, 1985; SOLOMON, 1985; HIGA, 1988; TRUMPER, 1991; PÉREZ-LANDEZÁBAL, FAVIERES, MANRIQUE e VARELA, 1995; HENRIQUE, 1996; SOUZA, 2007).

Pode-se citar como sendo noções inadequadas: o conhecimento científico é provado - baseado no que podemos ver, ouvir, tocar entre outros; objetivo - as teorias científicas são derivadas de maneira rigorosa da obtenção dos dados da experiência adquiridos por observação e experimento; que opiniões ou preferências pessoais e suposições especulativas não têm lugar na Ciência; e o conhecimento científico é conhecimento confiável porque é conhecimento provado objetivamente (CHALMERS, 2007). Além dessas noções citadas, possuir uma visão empírico-indutivista da Ciência; ignorar o papel da criatividade e da imaginação na produção do conhecimento científico; a falta de compreensão das noções de fato, evidência, observação, experimentação, modelos, leis e teorias, bem como de suas inter-relações (LEDERMAN, 1992; ABD-EL-KHALICK; LEDERMAN, 2000).

Como noções adequadas, temos a Ciência como conhecimento provisório, empírico, em que há inferências, as observações são carregadas de teorias, os elementos imaginativos e criativos estão presentes, entre outros (ABD-EL-KHALICK, 1998).

A seguir, serão apresentadas e explicadas as questões elaboradas e as UC e UR prévias e emergentes para a análise dos questionários prévio e posterior. As Unidades de Registros prévias são identificadas como UR e as Unidades de Registro Emergentes como URE.

### 5.3.1 - Unidades de Contexto e de Registro: questionário prévio e posterior

<p>Questão 1: Na sua compreensão, o que é Ciência?</p>
--

Unidade de Contexto 1 (UC1) — **Compreensão da Ciência**, que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam como as/os participantes compreendem o que é Ciência (Quadro 11).

Os dados analisados nessa Unidade foram organizados em seis UR prévias possíveis e uma URE posterior.

Quadro 11 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 1.

UR	Descrição	Explicação para os registros
1.1	<b>“Ciência como conhecimento corroborado por uma comunidade científica”</b>	Descrevem a Ciência como uma forma de conhecimento, sendo aceito por uma determinada comunidade científica em um dado momento.
1.2	<b>“Ciência como conhecimento”</b>	Descrevem a Ciência como uma tentativa de estudar, investigar, compreender e/ou explicar fenômenos naturais e/ou sociais.
1.3	<b>“Entendimento polissêmico e/ou divergente em relação à Ciência”</b>	Envolvem divergências e ou polissemias na definição de Ciência.
1.4	<b>“Ciência como conhecimento verdadeiro”</b>	Descrevem a Ciência como conhecimento verdadeiro, que não pode ser questionado e nem alterado.
1.5	<b>“Ciência como conhecimento comprovado”</b>	Descrevem a Ciência como conhecimento comprovado por meio de dados empíricos.
1.6	<b>“Não contempla a pergunta”</b>	Respostas incoerentes com a pergunta.
URE 1.7	<b>“Noção salvacionista da Ciência”</b>	Descrevem a Ciência como um processo de investigação que busca resolver os problemas e, a partir dessa resolução, trazer benefícios para a sociedade

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Questão 2: A Ciência (ou uma disciplina científica como a física, a biologia etc.) é diferente de outras formas de investigação, por exemplo, religião, filosofia? Explique.

Unidade de Contexto 2 (UC2) — **Distinção entre Ciência e outros conhecimentos**, que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam se as/os participantes diferenciam a Ciência de outros tipos de conhecimento.

Os dados analisados nessa Unidade foram organizados em seis UR prévias possíveis e uma URE posterior (Quadro 12).

Quadro 12 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 2.

UR	Descrição	Explicação para os registros
2.1	<b>“Ciência possui uma epistemologia própria”</b>	Descrevem que a Ciência se diferencia por possuir um conjunto de conhecimentos próprios.
2.2	<b>“Ciência possui uma metodologia própria”</b>	Descrevem que a Ciência se diferencia por possuir um conjunto metodológico próprio.
2.3	<b>“Ciência é um conhecimento comprovado”</b>	Descrevem que a Ciência se diferencia de outras maneiras de conhecer o mundo por ser concreta, exata e comprovar algo.
2.4	<b>“Ciência é igual a qualquer tipo de conhecimento”</b>	Descrevem que a Ciência não se diferencia de outras formas de conhecimento, uma vez que todas buscam compreender o mundo.
2.5	<b>“Divergência e/ou”</b>	Indicam que as/os participantes percebem a diferença

	<b>polissemias na explicação”</b>	entre áreas do conhecimento, no entanto, suas explicações são divergentes em relação ao que é Ciência, Filosofia e/ou religião, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
2.6	<b>“Não contempla a pergunta”</b>	Respostas incoerentes com a pergunta.
URE 2.7	<b>“Ciência é isenta de influências”</b>	Descrivem que a Ciência se diferencia de outras maneiras de conhecer o mundo por ser neutra e isenta de influências sociais.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Questão 3: Após os cientistas terem desenvolvido uma teoria científica (por exemplo, a Teoria Atômica, a Teoria da Evolução), a teoria pode transformar-se?

( ) SIM ( ) NÃO

a) Se você acredita que as teorias científicas não mudam, explique por quê. Defenda sua resposta com exemplos.

b) Se você acredita que as teorias científicas de fato mudam:

(b1) Explique por que as teorias mudam.

(b2) Explique por que nos preocupamos em aprender teorias científicas, considerando que as teorias que aprendemos poderão mudar. Defenda sua resposta com exemplos.

Essa questão foi subdividida em duas Unidades de Contexto, a 3a e a 3b, uma vez que na mesma questão se tem duas perguntas distintas.

Unidade de Contexto 3a (UC3a) —**Dinâmica na construção da Ciência**, que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam se as/os participantes percebem a dinâmica da construção do conhecimento científico.

Os dados analisados nessa Unidade foram organizados em nove UR prévias possíveis (Quadro 13).

**Quadro 13 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 3a.**

UR	Descrição	Explicação para os registros
3.1a	<b>“Teorias são verdades”</b>	Explicam que a teoria científica não pode ser modificada, uma vez que é comprovada por meio de dados empíricos e experimentos, com ou sem exemplificação.
3.2a	<b>“Teorias são comprovadas”</b>	Explicam que a teoria científica não pode ser modificada, uma vez que é considerada verdade, com ou sem exemplificação.
3.3a	<b>“Novas evidências e interpretações diferentes”</b>	Indicam as teorias se modificam quando novas evidências e interpretações diferenciadas surgem, produzindo novos conhecimentos, com ou sem exemplificação.
3.4a	<b>“Desenvolvimento da tecnologia”</b>	Descrivem que as teorias se modificam quando ocorre desenvolvimento tecnológico, com ou sem exemplificação.
3.5a	<b>“Ocorrência de novas</b>	Explicam a mudança das teorias com base na ocorrência de

	<b>Teorias"</b>	novas teorias que podem contestar as anteriores, com ou sem exemplificação.
3.6a	<b>"Influência de questões sociais, culturais e políticas"</b>	Explicam que questões sociais, culturais e políticas de um dado momento histórico influenciam na mudança das teorias, com ou sem exemplificação.
3.7a	<b>"Falta de compreensão de uma dada teoria"</b>	Explicam que as teorias podem mudar quando essas ainda não foram bem compreendidas, por falta de evidências, dados empíricos, entre outros, com ou sem exemplificação.
3.8a	<b>"Divergência e/ou polissemias na explicação"</b>	Indicam divergências e/ou polissemias na explicação de mudanças em teorias, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
3.9a	<b>"Não contempla a pergunta"</b>	Respostas incoerentes com a pergunta.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Unidade de Contexto 3b (UC3b) - "**Aprendizagem de teorias científicas**", que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam se as/os participantes compreendem a relevância de aprendermos teorias científicas.

Os dados analisados nessa Unidade foram organizados em quatro UR prévias possíveis (Quadro 14).

Quadro 14 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 3b.

UR	Descrição	Explicação para os registros
3.1b	<b>"Compreender o mundo"</b>	Explicam que a compreensão das teorias nos permitem entender o mundo em que vivemos, os fenômenos naturais, com ou sem exemplificação.
3.2b	<b>"Compreender e modificar o conhecimento científico"</b>	Explicam que a compreensão das teorias permite modificar e compreender os conhecimentos científicos existentes, com ou sem exemplificação.
3.3b	<b>"Divergência e/ou polissemias na explicação"</b>	Indicam que as/os participantes respondem de maneira divergente e/ou polissêmica à questão, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
3.4b	<b>"Não contempla a pergunta"</b>	Respostas incoerentes com a pergunta.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Questão 4: Acredita-se que há cerca de 65 milhões de anos os dinossauros se extinguíram. Entre as hipóteses formuladas pelos cientistas para explicar a extinção, duas recebem maior apoio. A primeira, formulada por um grupo de cientistas, sugere que um imenso meteorito atingiu a Terra há 65 milhões de anos e acarretou uma série de eventos que causou a extinção. A segunda hipótese, formulada por outro grupo de cientistas, sugere que grandes e violentas erupções vulcânicas foram responsáveis pela extinção. Como essas conclusões diferentes são possíveis se os cientistas de ambos os grupos tiveram acesso e utilizaram o mesmo conjunto de dados para obter suas conclusões?

Unidade de Contexto 4 (UC4) - **Conclusões distintas com os mesmos dados**, que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam se as/os participantes compreendem como um mesmo conjunto de dados pode gerar hipóteses distintas.

Os dados analisados nessa Unidade foram organizados em quatro UR prévias possíveis e uma URE posterior (Quadro 15).

Quadro 15 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 4.

UR	Descrição	Explicação para os registros
4.1	<b>"Conhecimento da/do cientista e/ou da comunidade científica"</b>	Explicam que o conhecimento, as bases teóricas, a criatividade e a imaginação das/dos cientistas interfere no modo como os dados são interpretados e as hipóteses são lançadas, o que pode gerar diferentes conclusões.
4.2	<b>"Falta de dados"</b>	Explicam que a falta de dados gera explicações distintas para um mesmo fenômeno.
4.3	<b>"Divergência e/ou polissemias na explicação"</b>	Indicam que as/os participantes respondem de maneira divergente e/ou polissêmica à questão, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
4.4	<b>"Não contempla a pergunta"</b>	Respostas incoerentes com a pergunta.
URE 4.5	<b>"Métodos e/ou instrumentos distintos"</b>	Afirmam que métodos e/ou instrumentos distintos permitem a elaboração de diferentes hipóteses.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Questão 5: Os cientistas realizam experimentos/investigações científicas quando estão tentando encontrar respostas para as questões que eles propuseram. Os cientistas usam sua criatividade e imaginação durante suas investigações?

( ) SIM ( ) NÃO

a) Se sim, então em que estágios das investigações você acredita que os cientistas utilizam sua imaginação e criatividade: projeto e planejamento; coleta de dados; após a coleta de dados? Por gentileza, explique o porquê os cientistas usam a imaginação e a criatividade. Forneça exemplos se for apropriado.

b) Se você acredita que cientistas não usam a imaginação e a criatividade, por favor, explique o porquê. Forneça exemplos se for apropriado.

Unidade de Contexto 5 (UC5) - **Criatividade e imaginação na construção do conhecimento científico**, que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam se as/os participantes compreendem a participação da imaginação e da criatividade na construção do conhecimento científico.

Os dados analisados nessa Unidade foram organizados em cinco UR prévias possíveis (Quadro 16).

Quadro 16 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 5.

UR	Descrição	Explicação para os registros
5.1	<b>"Imaginação e criatividade em todas as etapas da construção do conhecimento científico"</b>	Afirmam que a imaginação e a criatividade permeiam todas as etapas da construção do conhecimento científico, com ou sem exemplificação.
5.2	<b>"Imaginação e criatividade em algumas etapas da construção do conhecimento científico"</b>	Afirmam que a imaginação e a criatividade estão presentes em alguns contextos da construção do conhecimento científico, com ou sem exemplificação.
5.3	<b>"Imaginação e criatividade são incoerentes com a Ciência"</b>	Afirmam que a imaginação e a criatividade não fazem parte da construção do conhecimento científico por serem incoerentes e não confiáveis, com ou sem exemplificação.
5.4	<b>"Divergência e/ou polissemias na explicação"</b>	Indicam que as/os participantes respondem de maneira divergente e/ou polissêmica à questão, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
5.5	<b>"Não contempla a pergunta"</b>	Respostas incoerentes com a pergunta.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Questão 6: Alguns autores afirmam que a Ciência é impregnada por valores sociais e culturais, isto é, a Ciência reflete os valores sociais e políticos, as suposições filosóficas e as normas intelectuais da cultura na qual ela é praticada. Outras pessoas afirmam que a Ciência é universal. Isto é, a Ciência transcende as fronteiras nacionais e culturais e não é afetada por valores sociais, políticos e filosóficos e pelas normas intelectuais da cultura na qual ela é praticada.

a) Se você acredita que a Ciência reflete valores sociais e culturais, explique por que e como. Defenda sua resposta com exemplos.

b) Se você acredita que a Ciência é universal, explique por que e como. Defenda sua resposta com exemplos.

Unidade de Contexto 6 (UC6) - **Ciência reflete valores e/ou é universal**, que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam se as/os participantes compreendem a Ciência como universal e/ou se essa reflete valores sociais, culturais, políticos.

Os dados analisados nessa Unidade foram organizados em seis UR prévias possíveis (Quadro 17).

Quadro 17 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 6.

UR	Descrição	Explicação para os registros
6.1	<b>"A Ciência é uma construção humana"</b>	Afirmam que a imaginação e a criatividade permeiam todas as etapas da construção do conhecimento científico, com ou sem exemplificação.
6.2	<b>"A Ciência é empírica,</b>	Afirmam que a imaginação e a criatividade estão presentes

	<b>objetiva, verdadeira"</b>	em alguns contextos da construção do conhecimento científico, com ou sem exemplificação.
6.3	<b>"A Ciência é universal se for desenvolvida por um cientista competente"</b>	Afirmam que a imaginação e a criatividade não fazem parte da construção do conhecimento científico por serem incoerentes e não confiáveis, com ou sem exemplificação.
6.4	<b>"O conhecimento científico é universal"</b>	Registros que indicam divergências e/ou polissemias na explicação de mudanças em teorias, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
6.5	<b>"Divergências e/ou polissemias na explicação"</b>	Indicam que as/os participantes respondem de maneira divergente e/ou polissêmica à questão, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
6.6	<b>"Não contempla a pergunta"</b>	Respostas incoerentes com a pergunta.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Questão 7: Quando você utiliza a palavra energia, que significado(s) você atribui a ela?

Unidade de Contexto 07 (UC7), **Noções a respeito do significado de Energia**, foi elaborada para reunir fragmentos textuais que identificam as noções científicas e de senso comum dos estudantes em relação ao conceito de Energia.

Os dados analisados nessa Unidade foram organizados em dez UR prévias possíveis e duas URE emergentes (Quadro 18).

Quadro 18 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 7.

UR	Descrição	Explicação para os registros
7.1	<b>"Noção de Energia como causa de um processo"</b>	Expressam a ideia de Energia associada a um processo, por exemplo, a energia como demanda para determinado fenômeno.
7.2	<b>"Noção de Energia como resultado de um processo"</b>	Expressam a ideia de Energia como um produto de um processo como, por exemplo, o Calor transferido a partir de uma reação de combustão entre óleo e oxigênio.
7.3	<b>"Noção de Energia associada a algo que se conserva"</b>	Relacionam a ideia de Energia à constância ou invariância.
7.4	<b>"Noção de Energia associada a algo que não se conserva"</b>	Indicam a produção/consumo de Energia.
7.5	<b>"Noção de Energia associada à ideia substancialista, ou seja, armazenada em determinados corpos e absorvida em certos processos"</b>	Apresentam ideia de Energia como ingrediente ou depósito.
7.6	<b>"Noção de Energia como Trabalho"</b>	Indicam Energia como a capacidade de produzir trabalho por meio da força.
7.7	<b>"Noção de Energia associada à atividade humana"</b>	Relacionam a Energia como resultado ou como requisito de uma determinada atividade humana (antropomórfica).
7.8	<b>"Construção do processo histórico-filosófico do conceito de Energia"</b>	Trazem a explicação e/ou exemplificação do conceito de Energia construído com elementos de sua História e Filosofia.
7.9	<b>"Divergências e/ou polissemias na explicação"</b>	Indicam que as/os participantes respondem de maneira divergente e/ou polissêmica à questão,

		segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
7.10	<b>“Não contempla a pergunta”</b>	Respostas incoerentes com a pergunta.
URE 7.11	<b>“Noção de Energia associada ao movimento”</b>	Indicam a ideia de Energia atribuída ao movimento.
URE 7.12	<b>“Noção de Energia associada a transformações e/ou conversões”</b>	Indicam que a Energia é algo que pode ser transformada e/ou convertida.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Questão 8: Quando você utiliza a palavra CALOR, que conceito(s) você atribui a ela?

Unidade de Contexto 08 (UC8), **Noções a respeito do conceito de Calor**, foi elaborada para reunir fragmentos textuais que identificam as ideias dos estudantes em relação ao conceito de Calor.

Os dados analisados nessa Unidade foram organizados em dez UR prévias possíveis (Quadro 19).

Quadro 19 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 8.

UR	Descrição	Explicação para os registros
8.1	<b>“Calor associado a um elemento na ideia dos Quatro Elementos”</b>	Expressam a ideia de energia associada a um processo, por exemplo, a energia como demanda para determinado fenômeno.
8.2	<b>“Calor associado à ideia atomista”</b>	Expressam a ideia de energia como um produto de um processo como, por exemplo, o calor transferido a partir de uma reação de combustão entre óleo e oxigênio.
8.3	<b>“Calor associado à ideia substancialista do flogístico”</b>	Relacionam a ideia de energia à constância ou invariância.
8.4	<b>“Calor associado à ideia substancialista do calórico”</b>	Indicam produção/consumo de energia.
8.5	<b>“Calor associado à ideia de Energia em trânsito”</b>	Apresentam ideia de energia como ingrediente ou depósito.
8.6	<b>“Construção do processo histórico-filosófico do conceito de Calor”</b>	Trazem a explicação e/ou exemplificação do conceito de Calor construído com elementos de sua História e Filosofia.
8.7	<b>“Calor entendido como uma propriedade animista”</b>	Trazem o entendimento da transferência de energia como ideia de que um objeto quer dar ou receber para explicar o aquecimento ou o resfriamento, sem se constituir em uma figura de linguagem.
8.8	<b>“Divergência conceitual entre Calor e temperatura”</b>	Indicam que as/os participantes respondem de maneira divergente e/ou polissêmica à questão, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
8.9	<b>“Divergências e/ou polissemias na explicação”</b>	Indicam que as/os participantes respondem de maneira divergente e/ou polissêmica à questão, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
8.10	<b>“Não contempla a pergunta”</b>	Respostas incoerentes com a pergunta.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Questão 9: Quando lhe é apresentada a palavra ENTALPIA, que significado(s) você atribui a ela?

Unidade de Contexto 09 (UC9), **Noções a respeito do conceito de Entalpia**, foi elaborada para reunir fragmentos textuais que identificam as interpretações de Entalpia expressas pelos participantes.

Os dados analisados nessa Unidade foram organizados em seis UR prévias possíveis e uma URE posterior (Quadro 20).

Quadro 20 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 9.

UR	Descrição	Explicação para os registros
9.1	<b>“Entalpia como uma correlação matemática para o cálculo do Calor”</b>	Indicam que os estudantes atribuem significado de conteúdo de energia, conteúdo de calor, conteúdo calorífico e conteúdo térmico, por exemplo, à função Entalpia.
9.2	<b>“Entalpia associada à quantificação da Energia de um sistema”</b>	Apresentam que a Entalpia corresponde à Energia transferida em reações químicas.
9.3	<b>“Entalpia associada à Energia de reações químicas”</b>	Indicam que a Entalpia representa o calor envolvido em uma reação, sem especificar a pressão constante.
9.4	<b>“Entalpia associada ao Calor de reações químicas”</b>	Indicam que as/os participantes respondem de maneira divergente e/ou polissêmica à questão, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
9.5	<b>“Divergências e/ou polissemias na explicação”</b>	Indicam que as/os participantes respondem de maneira divergente e/ou polissêmica à questão, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
9.6	<b>“Não contempla a pergunta”</b>	Respostas incoerentes com a pergunta.
URE 9.7	<b>“Entropia representada pela sua expressão simbólica”</b>	Respostas que relacionam o seu significado à letra do alfabeto que é geralmente utilizada nos livros didáticos (“H”).

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Questão 10: Quando lhe é apresentada a palavra ENTROPIA, que significado(s) você atribui a ela?

Unidade de Contexto 10 (UC10), **Noções a respeito do conceito de Entropia**, foi elaborada para reunir fragmentos textuais que identificam as interpretações de Entropia expressadas pelos participantes.

Os dados analisados nessa Unidade foram organizados em sete UR prévias possíveis e uma URE posterior (Quadro 21).

Quadro 21 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 10.

UR	Descrição	Explicação para os registros
10.1	<b>“Entropia como uma representação pura da desordem de um sistema”</b>	Apresentam a Entropia como uma medida da desorganização, sobretudo em objetos macroscópicos, conforme a Termodinâmica Estatística.
10.2	<b>“Entropia relacionada aos microestados por meio da Termodinâmica Estatística”</b>	Indicam que a Entropia (ou sua variação) é proporcional à variação relativa no número de microestados do sistema e interações energéticas, tornando o sistema mais complexo.
10.3	<b>“Interpretação da Entropia como a degradação (ou perda de qualidade)”</b>	Apresentam a Entalpia (ou sua variação) como uma igualdade com a energia transferida por calor em um processo a pressão constante.
10.4	<b>“Relação da Entropia como representação de sistemas complexos além do âmbito de fenômenos da natureza”</b>	Indicam fragmentos de que a Entropia pode corresponder a uma representação que ultrapassa os limites das Ciências da Natureza, atribuindo significados relacionados a sistemas complexos.
10.5	<b>“Entropia como representação da direcionalidade de um processo ou de uma reação”</b>	Apresentam que a Entropia se relaciona com a direcionalidade (reversibilidade ou irreversibilidade) de um processo ou de uma reação química.
10.6	<b>“Divergências e/ou polissemias na explicação”</b>	Indicam que as/os participantes respondem de maneira divergente e/ou polissêmica à questão, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
10.7	<b>“Não contempla a pergunta”</b>	Respostas incoerentes com a pergunta.
URE 10.8	<b>“Entropia representada pela sua expressão simbólica”</b>	Respostas que relacionam o seu significado à letra do alfabeto que é geralmente utilizada nos livros didáticos (“S”) ou para relacionar ao diferencial de calor transferido por temperatura.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Questão 11: Como você explica a Primeira Lei da Termodinâmica? Utilize as grandezas envolvidas, se desejar.

Unidade de Contexto 11 (UC11), **Explicação a respeito da Primeira Lei da Termodinâmica**, foi elaborada para reunir fragmentos textuais que identificam as interpretações da Primeira Lei expressadas pelos participantes.

Os dados analisados nessa Unidade foram organizados em sete UR prévias possíveis (Quadro 22).

Quadro 22 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 11.

UR	Descrição	Explicação para os registros
11.1	<b>“Explicação da Conservação de energia com explicitação correta das grandezas”</b>	Apresentam o princípio da conservação de Energia com a relação entre Energia Interna, Calor e Trabalho expressas de maneira correta.
11.2	<b>“Explicação da Conservação de energia com divergência nas grandezas”</b>	Registros que indicam o princípio da conservação de Energia com a relação inadequada entre Energia Interna, Calor e Trabalho.
11.3	<b>“Explicação da Conservação de</b>	Indicam o princípio da conservação de Energia sem

	<b>energia com ausência de grandezas”</b>	estabelecer relações entre Energia Interna, Calor e Trabalho.
11.4	<b>“Atribuição da Conservação com o Calor, com ou sem grandezas”</b>	Apresentem associação da Conservação com o Calor, conforme ideias substancialistas.
11.5	<b>“Construção do processo histórico-filosófico da Primeira Lei da Termodinâmica”</b>	Trazem a explicação e/ou exemplificação da Primeira Lei da Termodinâmica construído com elementos de sua História e Filosofia.
11.6	<b>“Divergências e/ou polissemias na explicação”</b>	Indicam que as/os participantes respondem de maneira divergente e/ou polissêmica à questão, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
11.7	<b>“Não contempla a pergunta”</b>	Respostas incoerentes com a pergunta.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Questão 12: Como você explica a Segunda Lei da Termodinâmica?

Unidade de Contexto 12 (UC12), **Explicação a respeito da Segunda Lei da Termodinâmica**, foi elaborada para reunir fragmentos textuais que identificam as interpretações da Segunda Lei da Termodinâmica expressadas pelos participantes.

Os dados analisados nessa Unidade foram organizados em seis UR prévias possíveis (Quadro 23).

Quadro 23 - Unidades de Registro Prévias e Emergentes para a Questão 12.

UR	Descrição	Explicação para os registros
12.1	<b>“Relação da Segunda Lei com a Entropia”</b>	Apresentam a Segunda Lei como o incremento da Entropia com o tempo ou com a extensão de um processo.
12.2	<b>“Explicação da Segunda Lei com associação às Máquinas Térmicas”</b>	Indicam a Segunda Lei como princípio que explica o funcionamento das Máquinas Térmicas.
12.3	<b>“Explicação da Segunda Lei como impossibilidade da transferência de energia por Calor do corpo de menor temperatura para o de maior temperatura”</b>	Apresentam para que indicam a direcionalidade do movimento da transferência de energia por Calor.
12.4	<b>“Explicação da Segunda Lei relacionada ao trabalho útil que se pode obter em um determinado processo”</b>	Indicam que a quantidade de trabalho útil que se pode obter a partir da energia do universo está constantemente diminuindo.
12.5	<b>“Divergências e/ou polissemias na explicação”</b>	Indicam que as/os participantes respondem de maneira divergente e/ou polissêmica à questão, segundo referencial teórico escolhido nesta pesquisa.
12.6	<b>“Não contempla a pergunta”</b>	Respostas incoerentes com a pergunta.

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

No próximo capítulo, serão apresentados os resultados, as inferências e as interpretações realizadas. É relevante salientar que esse processo não foi linear, o referencial teórico e os procedimentos metodológicos foram retomados inúmeras

vezes. Além disso, as UC e as UR foram refinadas durante esse processo. No momento em que são apresentadas as análises, é conveniente enfatizar que essa não é a única interpretação possível, pois está permeada pelas escolhas teóricas e metodológicas desta pesquisa.

## 6 - RESULTADOS, INFERÊNCIAS E DISCUSSÃO DOS DADOS

Neste capítulo, serão apresentados os resultados, as inferências e as interpretações. Essa etapa é destinada ao tratamento dos resultados e ocorre nela a condensação e o destaque das informações para análise, culminando nas interpretações inferenciais. É o momento da intuição, da análise reflexiva e crítica (BARDIN, 2004).

Quando necessário, algumas respostas foram fragmentadas em mais de uma UR, de maneira que foi contado o número de fragmentos e não o número de participantes. Para os questionários prévio e posterior houve onze respondentes.

### 6.1 – Apresentação dos resultados

Os resultados foram obtidos a partir dos questionários prévio e posterior (doze questões em cada) e a partir dos diagramas Vê confeccionados para cada um dos textos desenvolvidos para atividade do “Trabalho de Campo” da IIR. Os dados obtidos a partir dos questionários prévio, posterior (onze respondentes em cada) e da entrevista estruturada (três entrevistados – P3, P4 e P9, selecionados por apresentarem alterações no subsunçores) foram decodificados intersubjetivamente pelo grupo IFHIECEM.

#### 6.1.1 – Resultados obtidos dos questionários prévio e posterior

Na UC1 “**Compreensão da Ciência**” foram unitarizados os registros referentes à **Questão 01**, que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam como as/os participantes compreendem o que é Ciência. No Quadro 24 são apresentados os registros obtidos previamente e posteriormente à realização do curso de extensão, agrupados em suas UR correspondentes. As UR 1.1, 1.4 e 1.6 não apresentaram nenhum registro. Neste quadro estão inseridos o número de registros e um exemplar para cada uma das UR da UC1.

Quadro 24 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 1.

Unidade de Contexto 1 (UC1) —Compreensão da Ciência.		
UR	Questionário Prévio	Questionário Posterior
1.2	10 registros	8 registros

Ciência como conhecimento	"Ciência é tudo aquilo que estuda a natureza de um determinado assunto" - P8 (P2, P3, P4, P5, P6, P9, P10, P11)	"A ciência responde perguntas, acha soluções para elas, mas também faz perguntas por meio de indagações. Dessa forma talvez a ciência nunca tenha fim, pois sempre há indagações e questões sem uma resposta definida." - P7 (P2, P5, P6, P8, P9, P10, P11)
<b>1.3</b>	<b>2 registros</b>	<b>2 registros</b>
Entendimento polissêmico e/ou divergente em relação à Ciência	"Ciência é a origem de uma discussão sobre certo assunto. Cada elemento, a física, por exemplo, tem a sua ciência." - P1 (P4)	"Ciência é tudo o que é aceito pela sociedade de forma lógica ou parcialmente lógica" - P3 (P4)
<b>1.5</b>	<b>1 registro</b>	<b>0 registros</b>
Ciência como conhecimento comprovado	"[...] com base em uma teoria e fundamentando-se em testes." - P2 (fragmentado com 1.2)	
<b>URE 1.7</b>	<b>1 registro</b>	<b>2 registros</b>
Noção salvacionista da Ciência	"[...] ou melhorar tudo o que nos cerca - P11 (fragmentado com 1.2)	"Ciência vem em uma forma de melhoria para todas as áreas estudadas." - P1 (P5)
<b>Total</b>	<b>14 registros</b>	<b>12 registros</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A partir do Quadro 24, é possível observar que foram identificados dez registros no questionário prévio e oito registros no posterior que compreendem a “**Ciência como conhecimento**” (UR 1.2), relacionando-a a um empreendimento de investigação, estudo, compreensão e/ou explicação de fenômenos naturais.

Foram identificados dois registros em cada questionário relacionados ao “**Entendimento polissêmico e/ou divergente em relação à Ciência**” (UR 1.3), apresentando imprecisão na explicação. Um registro foi identificado no questionário prévio referente à UR 1.5 “**Ciência como conhecimento comprovado**”.

Foi necessário elaborar uma URE, uma vez que o participante P11 (prévio) e P1 e P5 (posterior) expressaram a ideia salvacionista da Ciência, como a busca da resolução de problemas para benefícios da sociedade.

Na UC2 “**Distinção entre Ciência e outros conhecimentos**” foram unitarizados os registros referentes à **Questão 02**, que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam se as/os participantes diferenciam a Ciência de outros tipos de conhecimento. No Quadro 25 são apresentados os registros obtidos previamente e posteriormente, agrupados em suas UR correspondentes. A UR 2.6

não apresentou nenhum registro. Neste quadro estão inseridos o número de registros e um exemplar para cada uma das UR da UC2.

Quadro 25 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 2.

Unidade de Contexto 2 (UC2) — Distinção entre Ciência e outros conhecimentos.		
UR	Questionário Prévio	Questionário Posterior
<b>2.1</b>	<b>1 registro</b>	<b>2 registros</b>
Ciência possui uma epistemologia própria	"Sim, apesar de todas serem formas de investigação, cada uma analisa um ramo de uma determinada forma. A ciência busca respostas físicas, visíveis, para os fatos. Enquanto a religião busca respostas no campo de seres extraordinários (metafísica) e a filosofia em campo mais psicológico." - P4	"Sim. Uma trabalha com questões relacionadas ao universo e outra com relações humanas." - P3 (P4)
<b>2.2</b>	<b>2 registros</b>	<b>3 registros</b>
Ciência possui uma metodologia própria	"Sim, é diferente do ponto de vista do modo de investigação, a ciência se baseia em fatos e fenômenos concretos, já outras formas de investigação como a religião e a filosofia tem outras bases para realizar uma investigação." – P10 (P6)	"Diferem somente pelo seu método de explicação e de estudo." - P2 (P5, P10)
<b>2.3</b>	<b>2 registros</b>	<b>1 registros</b>
Ciência é um conhecimento comprovado	"Sim, pois [a ciência] baseia-se em, basicamente, fazer experimentos para comprovar. Diferente de outras formas que não precisam do empirismo para comprovar seus pensamentos." - P5 (P9)	"Sim, pois nela há uma ideia de comprovar ou mostrar que determinados fenômenos ocorrem por meio de experiências, inferências com conceitos sólidos." - P5
<b>2.4</b>	<b>3 registros</b>	<b>3 registros</b>
Ciência é igual a qualquer tipo de conhecimento	"Não, pois na ciência as teorias começam com suposições e pensamentos, assim como a filosofia." - P7 (P1, P11)	"Não, pois todas elas necessitam de inferência e mudam conforme o tempo se passa." - P6 ( P10, P11)
<b>2.5</b>	<b>2 registros</b>	<b>2 registros</b>
Divergência e/ou polissemias na explicação	"Diferem porque na ciência é preciso uma prova concreta e absoluta para tornar-se válida e em outras como a filosofia isso já é mais vago, por exemplo, como a pessoa entende o que leu." - P2 (P3)	"Não. Todas têm por trás de si uma teoria de início que foi usada para seguir com os estudos." - P1 (P9)
<b>URE 2.7</b>	<b>1 registro</b>	<b>1 registro</b>
A Ciência é isenta de influências	"Sim, pois a ciência tem como objetivo respostas reais sem nenhuma influência ideológica." - P8	"Sim, pois ela não deve ter influência ideológica em suas discussões." - P8
<b>Total</b>	<b>11 registros</b>	<b>12 registros</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A partir do Quadro 25, é possível observar que houve pequenas mudanças nos questionários prévio e posterior para essa questão. Para a UR 2.1 “**Ciência possui uma epistemologia própria**”, houve um registro no questionário prévio e houve dois registros no questionário posterior.

Já para a UR 2.2 — “**Ciência possui uma metodologia própria**”, foram identificados dois registros no questionário prévio e três no posterior que afirmam que a Ciência possui uma metodologia própria que a diferencia de outros conhecimentos.

Com relação à UR 2.3 — “**Ciência é um conhecimento comprovado**”, foram identificados dois registros no questionário prévio e três no posterior. Para a UR 2.4 — “**Ciência é igual a qualquer tipo de conhecimento**”, identificou-se três registros no questionário prévio e três no posterior. Na UR 2.5 “**Divergência e/ou polissemias na explicação**”, obteve-se dois registros em cada questionário.

Foi necessário elaborar uma URE, uma vez que o participante P8 (prévio e posterior) descreveu a ideia que a Ciência se diferencia de outras maneiras de conhecer o mundo por ser neutra e isenta de influências sociais.

Na UC3a “**Dinâmica na construção da Ciência**” foram unitarizados os registros referentes à **Questão 03a**, que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam se as/os participantes percebem a dinâmica da construção do conhecimento científico. No Quadro 26 são apresentados os registros obtidos previamente e posteriormente, agrupados em suas UR correspondentes. As UR 3.1a, 3.2a e 3.9a não apresentaram nenhum registro. Neste quadro estão inseridos o número de registros e um exemplar para cada uma das UR da UC3a.

Quadro 26 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 3a.

Unidade de Contexto 3a (UC3a) — Dinâmica na construção da Ciência.		
UR	Questionário Prévio	Questionário Posterior
<b>3.3a</b>	<b>4 registros</b>	<b>4 registros</b>
Novas evidências e interpretações diferentes	"As teorias mudam para se adaptar a possíveis descobertas e novas informações que em um primeiro momento ainda não existiam." - P6 (P5, P7, P11)	"Pois muitas vezes há uma explicação melhor para os fenômenos em questão, ou algo novo no fenômeno mudou, mudando assim toda a teoria." - P7 (P3, P5, P6)
<b>3.4a</b>	<b>4 registros</b>	<b>5 registros</b>

Desenvolvimento da tecnologia	"Algumas das mais conhecidas teorias foram desenvolvidas séculos atrás, com tecnologia limitada, dificuldade de obter informações. Com o avanço tecnológico muitas dessas teorias foram melhoradas. Considerando que estamos em constante evolução, muitas teorias que, para nós hoje é usual, daqui alguns anos pode ser adequada com mais detalhes. Um exemplo é Watt e a máquina a vapor." - P4 (P3, P9, P11)	"Pela necessidade das pessoas em melhor utilidade. Um exemplo é a busca de maior rendimento de uma máquina e o avanço tecnológico contribui para a mudança de teorias. [...] avanço tecnológicos e o conhecimento de vida contribuem também para mudança das teorias" - P4 (fragmentado com 3.6a) (P6, P9, P10, P11)
<b>3.5a</b>	<b>1 registro</b>	<b>0 registros</b>
Ocorrência de novas teorias	"Pode-se encontrar uma forma diferente ou melhor de explicar o evento, ou a teoria pode estar errada." - P2	
<b>3.6a</b>	<b>0 registros</b>	<b>6 registros</b>
Influência de questões sociais, culturais e políticas		"As teorias mudam devido às necessidades do momento (da época), e mudam também devido às ideologias presentes em cada época." - P8 (P3, P4, P6, P9, P10)
<b>3.7a</b>	<b>2 registros</b>	<b>2 registros</b>
Falta de compreensão de uma dada teoria	"As teorias mudam pois podem ser falhas em alguns instantes, em outras palavras, sempre pode surgir uma variável que a teoria não explica acarretando no estudo e formação de uma nova teoria." - P10 (P8)	"Mudam por conta de erros ou de lacunas ou simplesmente uma forma de melhor explicar algo." - P2 (P1)
<b>3.8a</b>	<b>1 registro</b>	<b>1 registros</b>
Divergência e/ou polissemias na explicação	"Não mudam porque mesmo que outra pessoa tenha uma nova visão do assunto, a nova versão ainda terá o princípio inicial da antiga." - P1	"[...] formas "certas" de se pensar" - P5 (fragmentado com 3.3a)
<b>Total</b>	<b>12 registros</b>	<b>18 registros</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Como pode ser observado no Quadro 26, foram identificados quatro registros no questionário prévio e no posterior, que identificam que as teorias se modificam quando novas evidências e interpretações diferenciadas surgem, produzindo novos conhecimentos, sendo esses agrupados na UR 3.3a **“Novas evidências e interpretações diferentes”**.

Foram identificados quatro registros no questionário prévio e cinco registros no posterior que justificam as alterações em teorias devido a mudanças e avanços tecnológicos, sendo agrupados na UR 3.4a — **“Desenvolvimento da tecnologia”**.

Um registro no questionário prévio foi identificado para a UR 3.5a – “**Ocorrência de novas teorias**”.

A UR 3.6a — “**Influência de questões sociais, culturais e políticas**” foi caracterizada por uma mudança significativa de registros: de nenhum registro no prévio para seis registros no posterior, o que permite inferir que os participantes passaram a entender a Ciência como um empreendimento não neutro e carregado de influências.

Foram observados dois registros nos questionários prévio e posterior para a UR 3.7 – “**Falta de compreensão de uma dada teoria**” e um registro em cada questionário para a UR 3.8a “**Divergência e/ou polissemias na explicação**”, que apresentam divergências e polissemias nas explicações de mudanças nas teorias científicas.

Na UC3b “**Aprendizagem de teorias científicas**” foram unitarizados os registros referentes à **Questão 03b**, que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam se as/os participantes compreendem a relevância de se aprender teorias científicas. No Quadro 27 são apresentados os registros obtidos previamente e posteriormente, agrupados em suas UR correspondentes. A UR 3.4b não apresentou nenhum registro. Neste quadro estão inseridos o número de registros e um exemplar para cada uma das UR da UC3b.

Quadro 27 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 3b.

Unidade de Contexto 3b (UC3b) - Aprendizagem de teorias científicas.		
UR	Questionário Prévio	Questionário Posterior
<b>3.1b</b>	<b>4 registros</b>	<b>5 registros</b>
Compreender o mundo	"Nós nos preocupamos em aprendê-las pois dentro do que sabemos elas explicam os acontecimentos para que possamos melhor entender o mundo, por exemplo a lei do eletromagnetismo." - P6 (P2, P5, P9)	"Aprendemos as teorias para poder compreender sobre o assunto e ver como foi feito o estudo." - P11 (P1, P5, P6, P10)
<b>3.2b</b>	<b>3 registros</b>	<b>4 registros</b>
Compreender e modificar o conhecimento científico	"Pois como nosso conhecimento em sociedade é o que nos limita, quanto mais estamos atualizados mais podemos progredir" - P3 (P10, P11)	"Pois as teorias são a maneira mais lógica de chegarmos a uma resposta científica de modo mais correto possível. E se por acaso a teoria mudar, nós nos adaptamos a ela novamente. Exemplos são as teorias no desenvolvimento do calor (calórico, flogístico, etc.)." - P8 (P3, P5, P9)
<b>3.3b</b>	<b>2 registros</b>	<b>2 registros</b>
Divergência e/ou	"É importante aprender pois a teoria é	"Porque esta teoria é a mais completa

polissemias na explicação	a explicação mais aceita de algo e que pode se tornar um teorema. Teorema de Pitágoras seria um exemplo de que a teoria deve ser aprendida pois pode se tornar um teorema." - P7 (P8)	que obtemos até agora." - P2 (P7)
<b>Total</b>	<b>9 registros (2 sem resposta - P1 e P3)</b>	<b>11 registros (1 sem resposta - P4)</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Como pode ser observado no Quadro 27, foram identificados quatro registros no questionário prévio e cinco registros no posterior que afirmam que teorias científicas permitem entender o mundo em que se vive e os fenômenos naturais, sendo esses agrupados na UR 3.1b — **“Compreender o mundo”**.

Foram obtidos três registros prévios e cinco posteriores referentes à UR 3.2b — **“Compreender e modificar o conhecimento científico”**. Os resultados das UR 3.1b e UR 3.2b indicam um aumento de registros de acordo com o consenso científico após a realização do curso de extensão.

Identificou-se dois registros no questionário prévio e no posterior que foram classificados na UR 3.3b **“Divergência e/ou polissemias na explicação”**, em que a explicação a respeito da importância de aprender teorias científicas estava imprecisa.

Na UC4 **“Conclusões distintas com os mesmos dados”** foram unitarizados os registros referentes à **Questão 04**, que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam se as/os participantes compreendem como um mesmo conjunto de dados pode gerar hipóteses distintas. No Quadro 28 são apresentados os registros obtidos previamente e posteriormente, agrupados em suas UR correspondentes. A UR 4.4 não apresentou nenhum registro. Neste quadro estão inseridos o número de registros e um exemplar para cada uma das UR da UC4.

Quadro 28 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 4.

Unidade de Contexto 4 (UC4) - Conclusões distintas com os mesmos dados.		
UR	Questionário Prévio	Questionário Posterior
<b>4.1</b>	<b>8 registros</b>	<b>11 registros</b>
Conhecimento da/do cientista e/ou da comunidade científica	"Com a tecnologia avançada, conseguiu-se obter para um único acontecimento várias soluções/versões. Pode ser que a crença de cada grupo tenha influenciado na conclusão." - P1 (P2, P5, P6, P7, P8, P9, P11)	"Porque a ciência tem espaço para um mesmo caso estudado chegar em diferentes inferências." - P4 (P1, P2, P3, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11)

<b>4.2</b>	<b>1 registro</b>	<b>0 registros</b>
Falta de dados	"Em certos casos, por ser há muito tempo ou por falta de informação suficiente para uma resposta única e concreta, a ciência abre espaço para diferentes interpretações. Uma agrada certo grupo, já outro grupo acha mais convincente a outra." - P4	
<b>4.3</b>	<b>1 registro</b>	<b>1 registro</b>
Divergências e/ou polissemias na explicação	"Provavelmente partiram do mesmo princípio, porém existem vários eventos e variáveis que explicam a mudança na atmosfera terrestre, acarretando em teorias diferentes." - P10	"[...] Essa criatividade é chamada de inferência." - P1 (fragmentado com 4.1)
<b>URE 4.5</b>	<b>1 registro</b>	<b>0 registros</b>
Métodos e/ou instrumentos distintos	"Por causa dos erros que podem ocorrer no método de captura de dados. Como foi dito, nossa tecnologia nos limita na busca de conhecimento e o conhecimento limita nossa tecnologia." - P3	
<b>Total</b>	<b>11 registros</b>	<b>12 registros</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Como pode ser observado no Quadro 28, foram obtidos oito registros no questionário prévio e onze registros no posterior que identificam que o conhecimento, a criatividade e a imaginação das/os cientistas interfere no modo como os dados são interpretados e as hipóteses são lançadas, sendo agrupados na UR 4.1 "**Conhecimento da/o cientista e/ou da comunidade científica**", cujo resultado mostra um número significativo de registros de acordo com o consenso científico no modo como o conhecimento científico é construído após a realização do curso de extensão. É importante ressaltar que os participantes P3, P4 e P10 inicialmente não vincularam a criatividade e a imaginação à interpretação dos dados; já no questionário posterior, todos os participantes admitiram que o conhecimento do cientista interfere na análise dos dados.

Encontrou-se um registro prévio e nenhum posterior na UR 4.2 — "**Falta de dados**" que explica que a falta de dados gera explicações distintas para um mesmo fenômeno, e um registro foi identificado em cada questionário para a UR 4.3 "**Divergências e polissemias na explicação**".

A URE 4.5 "**Métodos e/ou instrumentos distintos**", em que foram encontrados um registro no questionário prévio em que o participante P3 afirmou

que as conclusões diferentes são decorrência do uso de distintos métodos. Desta URE não foram encontrados registros posteriores.

Na UC5 “**Criatividade e imaginação na construção do conhecimento científico**” foram unitarizados os registros referentes à **Questão 05**, que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam se as/os participantes compreendem a participação da imaginação e da criatividade na construção do conhecimento científico. No Quadro 29 são apresentados os registros obtidos previamente e posteriormente, agrupados em suas UR correspondentes. As UR 5.4 e 5.5 não apresentaram nenhum registro. Neste quadro estão inseridos o número de registros e um exemplar para cada uma das UR da UC5.

Quadro 29 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 5.

Unidade de Contexto 5 (UC5) - Criatividade e imaginação na construção do conhecimento científico.		
UR	Questionário Prévio	Questionário Posterior
<b>5.1</b>	<b>1 registros</b>	<b>4 registros</b>
Imaginação e criatividade em todas as etapas da construção do conhecimento científico	"Acho que a criatividade é uma aliada da Ciência, desde o projeto e planejamento até após a coleta de dados. Imagino como exemplo de criatividade Arquimedes, que ao entrar em uma banheira cheia, relacionou a quantidade de água que saiu da banheira com a sua massa corporal." - P11	"De forma geral a criatividade e a imaginação são usadas em todas as etapas, principalmente no planejamento. Analisar um fato e tirar dele algumas inferências demonstra criatividade e imaginação." - P4 (P2, P9, P11)
<b>5.2</b>	<b>9 registros</b>	<b>7 registros</b>
Imaginação e criatividade em algumas etapas da construção do conhecimento científico	"A imaginação e criatividade podem ser aplicadas em vários estágios, o de maior exigência creio que seja na parte do projeto e planejamento, que é a parte de maior estudo onde você torna físico algo de sua imaginação." - P4 (P2, P3, P5, P6, P7, P8, P9, P10)	"Usam a imaginação e a criatividade com uma parcela de lógica durante o projeto e o planejamento. Essa parcela de imaginação e a criatividade são fundamentais devido às inúmeras possibilidades de eventos." - P10 (P1, P3, P5, P6, P7, P8)
<b>5.3</b>	<b>1 registro</b>	<b>0 registros</b>
Divergências e/ou polissemias na explicação	"Como no caso dos dinossauros é algo de muito tempo, a opção de formular os acontecimentos (tendo caído o meteorito ou causas vulcânicas) antes, durante, e depois, usariam a criatividade e imaginação." - P1	
<b>Total</b>	<b>11 registros</b>	<b>11 registros</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Foi possível identificar no questionário prévio dois registros com a noção de que a imaginação e criatividade estão presentes na construção do conhecimento

científico e no posterior foram encontrados quatro fragmentos, que foram agrupados na UR 5.1 — **“Imaginação e criatividade em todas as etapas da construção do conhecimento científico”**.

Na UR 5.2 — **“Imaginação e criatividade em algumas etapas da construção do conhecimento científico”** foram encontrados nove fragmentos prévios e sete no posterior, sendo que dois desses migraram para a UR 5.1 no questionário posterior.

Em relação à incoerência da presença da imaginação e criatividade na construção do conhecimento científico, foi obtido apenas um registro prévio (6,7%) e nenhum posterior, que foi classificado na UR 5.3

Na UC6 **“Ciência reflete valores e/ou é universal”** foram unitarizados os registros referentes à **Questão 06**, que tem o intuito de reunir fragmentos textuais que identificam se as/os participantes compreendem a Ciência como universal e/ou se essa reflete valores sociais, culturais, políticos. No Quadro 30 são apresentados os registros obtidos previamente e posteriormente à realização do curso de extensão, agrupados em suas UR correspondentes. As UR 6.2 e 6.3 não apresentaram nenhum registro. Neste quadro estão inseridos o número de registros e as frequências relativas ocorridas para cada uma das UR da UC6.

Quadro 30 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 6.

Unidade de Contexto 6 (UC6) - Ciência reflete valores e/ou é universal.		
UR	Questionário Prévio	Questionário Posterior
<b>6.1</b>	<b>4 registros</b>	<b>9 registros</b>
A Ciência é uma construção humana	"Acredito que a Ciência reflete valores sociais. O maior exemplo deste fato está na idade média, onde devido à pressão da igreja as descobertas científicas eram totalmente alteradas." - P8	"A Ciência acaba refletindo valores sociais e culturais, como tivemos como exemplo o caso de Joule, que por ter posição social mais elevada acabou ganhando a "disputa" sobre o estudo que vinha fazendo, com outros cientistas que também estudavam o mesmo conteúdo." - P11
<b>6.4</b>	<b>4 registros</b>	<b>0 registros</b>
O conhecimento científico é universal	"Acredito que seja universal, devido ao fato de ter que seguir uma linha de raciocínio que não é possível mantê-la com as variações de culturas e valores sociais" - P5	
<b>6.5</b>	<b>1 registro</b>	<b>1 registro</b>
Divergências e/ou polissemias na explicação	"Um pouco das duas. Usando a biologia/medicina como exemplo, o câncer é doença que afeta milhões no mundo inteiro e estudá-lo e buscar uma cura é de ajuda para todos. Já certas doenças como malária é um problema mais do	"Reflete. Pois há sempre um interesse em novas descobertas, como a de Galileu pela Igreja" - P2

	norte do Brasil e seria mais útil aqui (no Brasil)." - P4	
<b>6.6</b>	<b>3 registros</b>	<b>1 registro</b>
Não contempla a pergunta	"A Ciência deve estar atrelada a nada para que ocorra sua evolução, um exemplo disso é na idade média onde a igreja evitava certo desenvolvimento da Ciência porque era imoral o estudo de corpos humanos." - P2	"Como já visto, Joule foi beneficiado por causa do dinheiro que tinha e também do nível social que seu tutor tinha" - P1
<b>Total</b>	<b>12 registros</b>	<b>11 registros</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A partir do Quadro 30, é possível observar que foram identificados quatro registros no questionário prévio e nove registros no posterior que relacionam a construção da Ciência atrelada ao contexto social, cultural e/ou político em que está inserida. Este resultado permite inferir que houve um aumento de registros que se aproximam do consenso científico atual após a abordagem por meio do curso de extensão

Quatro registros foram identificados no questionário prévio referentes às UR 6.3 e 6.4, enquanto nenhum registro foi observado para estas UR no posterior, indicando que pode ter havido modificação da visão neutra, universal e imutável da Ciência, pelo menos em sua relação com o contexto social, cultural e/ou político em que está inserida.

Foram identificados três registros para a UR 6.6 “**Não contempla a pergunta**” no questionário prévio, reduzindo para um no questionário posterior.

Em relação à UR 6.5 “**Divergências e/ou polissemias na explicação**”, um participante apresentou registro no questionário de um caráter híbrido da Ciência, justificando por meio de argumento utilitarista da Ciência para explicar a relação com o contexto em que está inserida. O único participante que apresentou um registro divergente no posterior identificou a Ciência como reflexo do contexto em que está inserida, porém a exemplificou de maneira imprecisa. Não foi necessário elaborar URE para classificar os registros desta questão.

Na UC7 “**Noções a respeito do significado de Energia**” foram unitarizados os registros referentes à **Questão 07**, elaborada para reunir fragmentos textuais que identificam as noções científicas e de senso comum dos estudantes em relação ao conceito de Energia. No Quadro 31 são apresentados os registros obtidos previamente e posteriormente, agrupados em suas UR correspondentes. As UR 7.4,

7.5, 7.8 e 7.10 não apresentaram nenhum registro. Neste quadro estão inseridos o número de registros e um exemplar para cada uma das UR da UC7.

Quadro 31 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 7

Unidade de Contexto 07 (UC7), Noções a respeito do significado de Energia.		
UR	Questionário Prévio	Questionário Posterior
<b>7.1</b>	<b>2 registros</b>	<b>1 registro</b>
Noção de Energia como causa de um processo	"É uma palavra que me remete à força aplicada para que se faça algum evento." - P9 (P10)	"Uma forma de gerar calor, [...]" (fragmentado com URE 7.12) - P1
<b>7.2</b>	<b>1 registro</b>	<b>0 registros</b>
Noção de Energia como resultado de um processo	"A agitação de qualquer coisa, desde átomos [...]" - P3 (fragmentado com 7.7)	
<b>7.3</b>	<b>1 registro</b>	<b>6 registros</b>
Noção de Energia associada a algo que se conserva	"Fonte de sustentabilidade, [...]" - P10 (fragmentado com 7.1 e URE 7.11)	"A uma constância." - P3 (P4, P6, P7, P9, P10)
<b>7.6</b>	<b>2 registros</b>	<b>3 registros</b>
Noção de Energia como Trabalho	"Energia é o que é necessário para realizar trabalho, não há trabalho sem energia." - P7 (P6)	"[...]que pode ser aplicado a fim de realização de trabalho." - P6 (fragmentado com 7.3 e URE 7.12) (P8, P11)
<b>7.7</b>	<b>2 registros</b>	<b>0 registros</b>
Noção de Energia associada à atividade humana	"Força. Quando você come algo que dá energia, acaba tendo força para alguma atividade." - P1 (P3)	
<b>7.9</b>	<b>2 registros</b>	<b>0 registros</b>
Divergências e/ou polissemias na explicação	"Potencial, capacidade." - P2 (P4)	
<b>URE 7.11</b>	<b>4 registros</b>	<b>4 registros</b>
Noção de Energia associada ao movimento	"Energia está inteiramente relacionada a movimento" - P5 (P8, P10, P11)	"Atribuo a movimento." - P5 (P8, P10, P11)
<b>URE 7.12</b>	<b>0 registros</b>	<b>4 registros</b>
Noção de Energia associada a transformações e/ou conversões		"Capacidade de ser convertida em outras formas." - P2 (P1, P4, P7, P6)
<b>Total</b>	<b>14 registros</b>	<b>19 registros</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Como pode ser observado no Quadro 31, foram identificados dois registros no questionário prévio e um registro no posterior associando a Energia como causa de um processo (UR 7.1); já um participante associou a Energia como resultado de um processo no questionário prévio, enquanto não houve registro no posterior (UR 7.2).

Foram identificados um registro no questionário prévio e seis registros no posterior, para a UR 7.3 — **“Noção de Energia associada a algo que se conserva”**. Essa mudança significativa indica que os participantes passaram a caracterizar a Energia com um dos princípios da Primeira Lei da Termodinâmica, ou seja, a conservação.

A UR 7.6 — **“Noções de Energia como Trabalho”** teve dois registros no questionário prévio e três no posterior, enquanto as UR 7.7 e 7.9 apresentaram, cada uma delas, dois registros no prévio e nenhum no posterior.

Foram elaboradas duas URE para esta questão: a URE 7.11 – **“Noção de Energia associada ao movimento”** teve quatro registros em ambos os questionários e a URE 7.12 – **“Noção de Energia associada a transformações e/ou conversões”** apresentou quatro registros no questionário posterior.

Na UC8 **“Noções a respeito do conceito de Calor”** foram unitarizados os registros referentes à **Questão 08**, elaborada para reunir fragmentos textuais que identificam as ideias dos estudantes em relação ao conceito de Calor. No Quadro 32 são apresentados os registros obtidos previamente e posteriormente, agrupados em suas UR correspondentes. As UR 8.1, 8.3 e 8.7 não apresentaram nenhum registro. Neste quadro estão inseridos o número de registros e um exemplar para cada uma das UR da UC8.

Quadro 32 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 8.

Unidade de Contexto 08 (UC8), Noções a respeito do conceito de Calor.		
UR	Questionário Prévio	Questionário Posterior
<b>8.2</b>	<b>1 registro</b>	<b>0 registros</b>
Calor associado à ideia atomista	"Agitação (dos átomos, por exemplo)" - P1	
<b>8.4</b>	<b>2 registros</b>	<b>0 registros</b>
Calor associado à ideia substancialista do calórico	"Calor é uma forma de energia em que, se você aumenta o calor de um material, a sua temperatura aumenta e se você retira calor de um material a sua temperatura diminui." - P8 (P11)	
<b>8.5</b>	<b>4 registros</b>	<b>9 registros</b>
Calor associado à ideia de Energia em trânsito	"Calor é um tipo de energia (térmica) em trânsito." - P6 (P2, P3, P10)	"Energia em trânsito." - P2, (P3, P5, P6, P7, P8, P9, P10, P11)
<b>8.6</b>	<b>0 registros</b>	<b>1 registro</b>

Construção do processo histórico-filosófico do conceito de Calor		"Energia em trânsito. Começou sendo atribuído ao calor o fogo com relação aos 4 elementos, passou pelo éter, lacunas nas moléculas, máquina de Heron, pelo flogístico e pela inquisição no Renascimento, pelo conceito do calórico até chegar no conceito de energia em trânsito." - P4
<b>8.8</b>	<b>3 registros</b>	<b>0 registros</b>
Divergência conceitual entre calor e temperatura	"Grau de agitação das moléculas." - P4 (P5, P9)	
<b>8.9</b>	<b>2 registros</b>	<b>0 registros</b>
Divergências e/ou polissemias na explicação	"Forma de ganhar ou perder temperatura." - P8 (P10)	
<b>8.10</b>	<b>0 registros</b>	<b>1 registro</b>
Não contempla a pergunta		"Movimento" - P1
<b>Total</b>	<b>12 registros</b>	<b>11 registros</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Quatro UR apresentaram registros apenas no questionário prévio: a UR 8.2 (um registro), a UR 8.4 (dois registros), a UR 8.8 (dois registros) e a UR 8.9 (dois registros).

A UR 8.5 – “**Calor associado à ideia de Energia em trânsito**” apresentou quatro registros no questionário prévio e nove registros no questionário posterior (os registros dos participantes migraram para esta UR, exceto os de P1 e P4). O participante P4, por sua vez, expressou a sua ideia de Calor com o processo histórico e filosófico do conceito. Esses resultados nos mostram um significativo aumento de registros de acordo com o consenso científico em relação ao conceito de Calor após o desenvolvimento do curso de extensão.

Na UC9 “**Noções a respeito do conceito de Entalpia**” foram unitarizados os registros referentes à **Questão 09**, elaborada para reunir fragmentos textuais que identificam as interpretações de Entalpia. No Quadro 33 são apresentados os registros obtidos previamente e posteriormente, agrupados em suas UR correspondentes. A UR 9.3 não apresentou nenhum registro. Neste quadro estão inseridos o número de registros e um exemplar para cada uma das UR da UC9.

Quadro 33 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 9.

Unidade de Contexto 09 (UC9), Noções a respeito do conceito de Entalpia.		
UR	Questionário Prévio	Questionário Posterior
<b>9.1</b>	<b>0 registros</b>	<b>8 registros</b>

Entalpia como uma correlação matemática para o cálculo do Calor		"A um instrumento necessário para calcular a quantidade de calor." - P3 (P4, P5, P6, P7, P8, P9, P10)
<b>9.2</b>	<b>1 registro</b>	<b>0 registros</b>
Entalpia associada à quantificação da Energia de um sistema	"Entalpia é a quantidade de energia térmica interna de um corpo." - P6	
<b>9.4</b>	<b>1 registro</b>	<b>1 registro</b>
Entalpia associada ao Calor de reações químicas	"Estudo da reação em questão, dizendo se o sistema é endotérmico ou exotérmico." - P4	"Entalpia faz referência ao calor, lei de Hess, [..]" - P11 (fragmentado com URE 9.7)
<b>9.5</b>	<b>4 registros</b>	<b>2 registros</b>
Divergências e/ou polissemias na explicação	"Energia interna de um fluido ou um gás." - P2 (P3, P9, P11)	"Entalpia é uma fonte para poder calcular a quantidade de calor envolvida em uma reação." - P1 (P2)
<b>9.6</b>	<b>2 registros</b>	<b>0 registros</b>
Não contempla a pergunta	"Para um sistema aberto." - P1 (P8)	
<b>URE 9.7</b>	<b>2 registros</b>	<b>1 registro</b>
Entalpia representada pela sua expressão simbólica	"O "H" das questões e fórmulas." - P5 (P10)	"[...]dH" - P11 (fragmentado com 9.4)
<b>Total</b>	<b>10 registros (1 sem resposta - P10)</b>	<b>12 registros</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

A UR 9.1 – “**Entalpia como uma correlação matemática para o cálculo do Calor**” não apresentou registros no questionário prévio, e apresentou oito registros no posterior. A partir destes resultados, observou-se um significativo aumento de registros de acordo com o consenso científico, em que a Entalpia se caracteriza como uma função de estado que permite o cálculo de Calor em transformações isobáricas.

Nas UR 9.2 e UR 9.6 foram identificados apenas registros nos questionários prévios (um e dois, respectivamente). Para a UR 9.4 “**Entalpia associada ao Calor de reações químicas**” observou-se um registro em cada questionário, e quatro registros polissêmicos e/ou divergentes (UR 9.5) no questionário prévio e dois no posterior.

Foi elaborada uma unidade emergente, a URE 9.7, que contemplou um registro em cada questionário referente à representação simbólica da Entalpia.

Na UC10 “**Noções a respeito do conceito de Entropia**” foram unitarizados os registros referentes à **Questão 10**, que foi elaborada para reunir fragmentos

textuais que identificam as interpretações de Entropia expressadas pelos participantes. No Quadro 34 são apresentados os registros obtidos previamente e posteriormente à realização do curso de extensão, agrupados em suas UR correspondentes. Todas as UR tiveram pelo menos um registro, ou no questionário prévio ou no posterior. Neste quadro estão inseridos o número de registros e as frequências relativas ocorridas para cada uma das UR da UC10. O participante P4 não apresentou resposta para esta questão.

Quadro 34 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 10. Unidade de Contexto 10 (UC10), Noções a respeito do conceito de Entropia.

UR	Questionário Prévio	Questionário Posterior
<b>10.1</b>	<b>2 registros</b>	<b>0 registros</b>
Entropia como uma representação pura da desordem de um sistema	"A "desordem" na qual um sistema se encontra, a qual pode ser "medida" (dS). Por exemplo, as mudanças de estado físico da água quando sólida, líquida e gasosa, que descrevem um movimento de maior e menor desordem das moléculas deste sistema." - P9 (P2)	
<b>10.2</b>	<b>0 registros</b>	<b>8 registros</b>
Entropia relacionada aos microestados por meio da Termodinâmica Estatística		"A entropia pode ser vista agora como o aumento de microestados e interações. Um aumento da complexidade de um sistema." - P9 (P3, P4, P5, P6, P7, P10, P11)
<b>10.3</b>	<b>0 registros</b>	<b>3 registros</b>
Interpretação da Entropia como a degradação (ou perda de qualidade)		"Seria o cálculo da degradação da energia útil de um determinado processo. [...]" - P5 (fragmentado com 10.2) (P8, P10)
<b>10.4</b>	<b>0 registros</b>	<b>2 registros</b>
Relação da Entropia como representação de sistemas complexos além do âmbito de fenômenos da natureza		"Entropia seria um aumento do nível de complexidade das coisas." - P1 (P2)
<b>10.5</b>	<b>0 registros</b>	<b>2 registros</b>
Entropia como representação da direcionalidade de um processo ou de uma reação		"[...]A entropia é diretamente ligada a reação, podendo ser zero para reações reversíveis; quando a entropia aumenta, a desordem aumenta junto com as interações, isso faz com que haja transformações na reação." - P7 (fragmentado com 10.2) (P10)
<b>10.6</b>	<b>5 registros</b>	<b>0 registros</b>

Divergências e/ou polissemias na explicação	"Grau de agitação das moléculas internas." - P3 (P6, P7, P8, P11)	
<b>10.7</b>	<b>1 registros</b>	<b>0 registros</b>
Não contempla a pergunta	"Ocorre em um sistema fechado." - P1	
<b>URE 10.8</b>	<b>3 registros</b>	<b>0 registros</b>
Entropia representada pela sua expressão simbólica	"O "S" das questões e fórmulas." - P5 (P7, P10)	
<b>Total</b>	<b>11 registros - P4 não respondeu</b>	<b>15 registros</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Conforme pode ser observado no Quadro 7, é possível identificar dois registros que associam a Entropia direta e puramente à desordem ou desorganização de um sistema, sem mencionar as interações e alterações energéticas envolvidas no conceito, presentes na UR 10.1 “Entropia como uma representação pura da desordem de um sistema”. Já no questionário posterior não houve registrado esta associação.

Ainda no questionário prévio foram identificados cinco registros de explicações com características de **“Divergências e/ou polissemias na explicação”** (UR 10.6) do conceito de Entropia segundo consenso científico atual, associando-o, por exemplo, ao conceito de temperatura (grau de agitação de moléculas), ao de Entalpia (cálculo do Calor trocado), e ao próprio Calor (energia térmica em trânsito). Além disso, um registro foi identificado na UR 10.7 **“Não contempla a pergunta/Não respondeu”**. No questionário posterior não foram identificados registros nas UR 10.6 e 10.7.

No questionário prévio não houve identificação de registro nas UR 10.2, 10.3, 10.4 e 10.5. Os registros foram observados no questionário posterior. A UR 10.2 **“Entropia relacionada aos microestados por meio da Termodinâmica Estatística”** apresentou a maior frequência de registros no referido questionário, seguida das UR 10.3 **“Interpretação da Entropia como a degradação (ou perda de qualidade)”** e UR 10.5 **“Entropia como representação da direcionalidade de um processo ou de uma reação”**, com dois registros cada, enquanto a UR 10.4 **“Relação da Entropia como representação de sistemas complexos além do âmbito de fenômenos da natureza”** apresentou um registro. É importante ressaltar que as UR 10.2, 10.3, 10.4, 10.5 correspondem a características do conceito de Entropia aceitas pelo consenso científico atual.

Houve a necessidade da elaboração de uma Unidade de Registro Emergente (URE 10.8) “**Entropia representada pela sua expressão simbólica**”, em que foram identificados três registros no questionário prévio e nenhum no posterior.

Na UC11 “**Explicação a respeito da Primeira Lei da Termodinâmica**” foram unitarizados os registros referentes à **Questão 11**, elaborada para reunir fragmentos textuais que identificam as interpretações da Primeira Lei expressadas pelos participantes. No Quadro 35 são apresentados os registros obtidos previamente e posteriormente, agrupados em suas UR correspondentes. As UR 11.2, 11.5 e 11.7 não apresentaram nenhum registro. Neste quadro estão inseridos o número de registros e um exemplar para cada uma das UR da UC11.

Quadro 35 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 11.

Unidade de Contexto 11 (UC11), Explicação a respeito da Primeira Lei da Termodinâmica		
UR	Questionário Prévio	Questionário Posterior
<b>11.1</b>	<b>1 registro</b>	<b>2 registros</b>
Explicação da Conservação de energia com explicitação correta das grandezas	"A Primeira Lei é entendida como a conservação de energia dentro de um sistema. Há a utilização de grandezas como temperatura, massa, volume específico, pressão, energia interna." - P9	"Consiste em explicar a conservação de energia, transferida ou transformada $U(\text{energia interna})=Q(\text{quantidade de calor})-W(\text{trabalho})$ ." - P3 (P5)
<b>11.3</b>	<b>1 registro</b>	<b>7 registros</b>
Explicação da Conservação de energia com ausência de grandezas	"A natureza sempre tende a entrar em equilíbrio, e se tratando de um sistema fechado a energia nele envolvida vai sempre se conservar." - P6	"A primeira lei utiliza os conceitos de energia e da sua conservação, para explicar a transformação de energia." - P6 (P1, P2, P4, P8, P9, P10)
<b>11.4</b>	<b>1 registro</b>	<b>1 registro</b>
Atribuição da Conservação com o Calor, com ou sem grandezas	"A quantidade de calor no início do sistema é igual à do final." - P4	"A primeira lei da termodinâmica fala sobre a conservação de calor no sistema. As grandezas relacionadas são $U=Q-W$ ." - P7
<b>11.6</b>	<b>8 registros</b>	<b>1 registro</b>
Divergências e/ou polissemias na explicação	"Um conteúdo (água, gás) que sofre ação dos fenômenos naturais ou causados por algum tipo de mudança provocada por ação humana ou mecânica." - P1 (P2, P3, P5, P7, P8, P10, P11)	"A primeira lei da termodinâmica podemos relacionar com entalpia, energia interna e trabalho." - P11
<b>Total</b>	<b>11 registros</b>	<b>11 registros</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Conforme pode ser observado no Quadro 35, foi possível identificar oito registros no questionário prévio referentes à UR 11.6 “**Divergências e/ou polissemias na explicação**”, reduzindo sua quantidade para um registro no

posterior. Por sua vez, os participantes que apresentaram imprecisão em sua resposta migraram para a ideia da conservação, expressos nas UR 11.1 (um registro no prévio e dois no posterior) e UR 11.2 (um registro no prévio e sete no posterior), exceto P7 e P11. É possível inferir que os participantes priorizaram a resposta conceitual em detrimento à matematizada, o que pode ser observado pelo maior número de registros no posterior para a UR 11.2 que para a UR 11.1.

Houve um registro no prévio e um no posterior para a UR 11.4 **“Atribuição da Conservação com o Calor, com ou sem grandezas”**. Apesar do participante P7 ter apresentado a relação matemática da Primeira Lei da Termodinâmica de maneira adequada no questionário posterior, esse associou o conceito com a conservação de calor.

Na UC12 **“Explicação a respeito da Segunda Lei da Termodinâmica”** foram unitarizados os registros referentes à **Questão 12**, elaborada para reunir fragmentos textuais que identificam as interpretações da Segunda Lei da Termodinâmica expressadas pelos participantes. No Quadro 36 são apresentados os registros obtidos previamente e posteriormente, agrupados em suas UR correspondentes. As UR 12.3 e 12.6 não apresentaram nenhum registro. Neste quadro estão inseridos o número de registros e um exemplar para cada uma das UR da UC12.

Quadro 36 - Quantidades de registros e exemplos das UR referentes aos dados da Questão 12.

Unidade de Contexto 12 (UC12), Explicação a respeito da Segunda Lei da Termodinâmica.		
UR	Questionário Prévio	Questionário Posterior
<b>12.1</b>	<b>4 registros</b>	<b>3 registros</b>
Relação da Segunda Lei com a Entropia	"Explicaria pelo conceito que o grau de desordem de um sistema sempre tende a aumentar." - P6 (P7, P9, P10)	"A segunda lei está relacionada com eficiência e entropia, onde se a variação de entropia é zero, pode-se obter uma eficiência de 100%, caso contrário a eficiência é menor que 100%." - P10 (P6, P7)
<b>12.2</b>	<b>1 registro</b>	<b>7 registros</b>
Explicação da Segunda Lei com associação às Máquinas Térmicas	"Transferência de calor, com ciclos regenerativos." - P11	"Foi o estudo das máquinas térmicas buscando melhorar o desempenho, buscando a proximidade com a máquina ideal de Carnot que tinha 100% de rendimento." - P4 (P3, P5, P6, P8, P9, P11)
<b>12.4</b>	<b>0 registros</b>	<b>1 registro</b>
Explicação da Segunda Lei relacionada ao trabalho útil que se pode obter em um		"A segunda lei da termodinâmica é baseada na entropia, e mostra a perda de energia útil em uma máquina térmica. [...]" - P8

determinado processo		(fragmentado com 12.2)
<b>12.5</b>	<b>4 registros</b>	<b>3 registros</b>
Divergências e/ou polissemias na explicação	"Uma inovação da primeira." - P1 (P2, P3, P8)	"Trata da reversibilidade e da irreversibilidade, tendo como origem de trabalho a diferença de temperatura." - P1 (P2, P9)
<b>Total</b>	<b>9 registros (2 sem resposta - P4 e P5)</b>	<b>14 registros</b>

Fonte: Elaborado pelo autor (2017)

Foi possível identificar quatro registros no questionário prévio e três no posterior referentes à UR 12.1 **“Relação da Segunda Lei com a Entropia”**. Além disso, observou-se um registro no prévio e sete no posterior para a UR 12.2 **“Explicação da Segunda Lei com associação às Máquinas Térmicas”**. É possível afirmar que, exceto P1, todos os outros participantes apresentaram ideias relacionadas à Segunda Lei da Termodinâmica conforme consenso científico no questionário posterior. O participante P8 ainda complementou seu argumento com a ideia classificada na UR 12.4 **“Explicação da Segunda Lei relacionada ao trabalho útil que se pode obter em um determinado processo”**. Em relação à UR 12.5, houve quatro fragmentos no prévio e três no posterior.

Para que essa análise apresentada fosse realizada, diversas vezes os dados empíricos e os estudos teóricos foram retomados, visando detalhar melhor a análise e buscando um refinamento que atendesse ao objetivo da investigação. No próximo item, será apresentado o metatexto, momento em que se buscou interpretar os dados empíricos com o auxílio da base teórica escolhida para esta pesquisa.

## 6.2 – Metatexto: Inferências e Interpretação dos Resultados

Para a inferência e a interpretação dos resultados, Bardin (2004) propõe que, após o seu tratamento realizado por meio da unitarização e descrição, seja elaborado um texto evidenciando suas relações com a fundamentação teórica que apoia a investigação. Com base nas recomendações de Bardin, será apresentado o metatexto de análise, que consiste em um diálogo entre os referenciais e os resultados encontrados, considerando cada uma das UC e os registros das UR.

Para a construção do metatexto desta investigação, ocorreram quatro momentos de análise diferentes: o primeiro em relação às noções de NdC, seguido dos conceitos e Leis da Termodinâmica, e o terceiro momento da triangulação com os Vês de Gowin desenvolvidos nas atividades, e o quarto momento com a entrevista estruturada e unitarização das respostas de participantes que apresentaram evolução em seus registros (P3, P4 e P9).

Os estudos de Lederman *et al.* (2002) orientam que se deve realizar uma análise entre as respostas do questionário dos participantes, para que se possa compreender possíveis inconsistências nas respostas. Esse cuidado foi tomado durante as análises e inferências.

### 6.2.1 – “O que é Ciência”

Na primeira questão – o que é Ciência? – foi possível perceber que a maioria dos participantes identificou a Ciência como conhecimento em ambos os questionários (dez registros no prévio e oito no posterior). Segundo P10, a Ciência “*é o estudo de fenômenos conhecidos ou desconhecidos visando construir ou aprimorar esses conceitos, para assim entendê-los*”. A partir desses registros majoritários para a primeira questão, é possível inferir que os participantes apresentaram uma visão geral de Ciência conforme o consenso científico atual, apesar de sua formação ser pautada no tecnicismo das Ciências Exatas.

É interessante que, para essa questão, houve apenas um registro de Ciência como conhecimento comprovado (UR 1.5), “fundamentando-se em testes” (P2, prévio), que modificou seu argumento para a Ciência como “*uma forma de explicar um evento com embasamento teórico em um estudo de caso*” (P2, posterior).

Na UR 2.1, que indica que a Ciência se diferencia de outros conhecimentos pela sua comprovação, P5 admitiu que “*a Ciência se baseia em, basicamente, fazer experimentos para comprovar, diferente de outras formas que não precisam do empirismo para comprovar seus pensamentos*”, e seu argumento permaneceu relacionado à Ciência como algo em que “[...] *há uma ideia de comprovar ou mostrar que determinados fenômenos ocorrem por meio de experiências, inferências com conceitos sólidos*” (grifo nosso). Há a ideia da participação de inferências na construção do conhecimento científico, mas o futuro engenheiro a restringe e a associa a “conceitos sólidos”.

Apesar do participante P2 indicar ter mudado sua visão a respeito de Ciência, a manutenção do argumento de P5 remete à visão rígida que se tem, de maneira deformada, que Ciência esquece ou recusa a criatividade, o caráter tentativo e a dúvida no fazer Ciência (GIL PÉREZ *et al.*, 2001). Martorano e Marcondes (2009) argumentam que a visão deformada desenvolvida por estudantes é influenciada pelo tratamento dado aos conteúdos científicos nos livros didáticos. Após analisar diferentes livros didáticos de Química (especificamente o capítulo a respeito de Cinética Química), concluíram que a perspectiva empirista-indutivista é predominante nas três unidades utilizadas: noção de Ciência, desenvolvimento da Ciência e construção do conhecimento científico.

Outro aspecto que pode interferir na visão deformada da Ciência é a noção alternativa de professores. Chinelli *et al.* (2010) observaram que a maioria desses compreendem a experimentação como uma maneira de comprovar pesquisas. Autores(as) como Gil-Perez *et al.* (2001), Cudmani e Sandoval (2004), Batista (2009) afirmam que ao entender epistemologicamente alguns aspectos de NdC os/as docentes modificariam sua prática docente, e em relação e as/os estudantes proporcionariam uma compreensão mais clara a respeito da Ciência. Dessa forma, discussões em relação à Epistemologia e à NdC devem ser fomentadas em cursos de formação inicial e em serviço.

Para Chalmers (2007), o método empírico-indutivista tem propiciado a construção de uma visão simplista da experiência científica, ao utilizar os sentidos vinculados a observação livre de preconceitos, como uma base segura para a construção do conhecimento científico. Os papéis acabam se invertendo ao levar em conta a experiência para comprovação da teoria e não a importância de uma base teórica para o tratamento dos dados e a construção de novos conhecimentos. Esta visão (talvez uma das mais difíceis de romper atualmente) “defende o papel da observação e da experimentação neutra” (CACHAPUZ *et al.*, 2011, p. 43), a qual não evidencia a importância da elaboração de hipóteses a partir das teorias.

A URE 1.7 foi construída devido a um registro no questionário prévio e a dois no posterior, que trazem consigo a visão ingênua de que a Ciência é um instrumento de promoção de qualidade de vida e bem-estar para a sociedade. Argumentos semelhantes em relação à noção salvacionista da Ciência foram observados nos trabalhos de Firme e Amaral (2008), Nascimento Neto (2013) e Selli Deconto, Cavalcanti e Ostermann (2016), que identificaram compreensões confusas e

ambíguas em relação às inter-relações CTS e uma tendência de licenciandos em Física assumirem uma perspectiva salvacionista da Ciência e Tecnologia (para resolverem problemas socioambientais do planeta, por exemplo).

Auler e Delizoicov (2001) apontam como uma visão reducionista em relação à Ciência e Tecnologia, que se caracteriza basicamente em três pontos, denominados pelos autores de mitos: perspectiva salvacionista da ciência, na qual seu desenvolvimento poderá solucionar os problemas atuais e futuros; determinismo tecnológico, percepção de que o desenvolvimento da tecnologia conseqüentemente gera desenvolvimento social; e a superioridade do modelo de decisões tecnocráticas, que coloca o especialista como único nas decisões sobre questões científicas e tecnológicas. Essa é a noção de um conhecimento científico que não considera as complexas relações estabelecidas entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS).

Pedrancini, Carvalho e Silva (2017) fizeram uma investigação com a população da cidade de Maringá e concluíram que a visão salvacionista da Ciência e Tecnologia está presente no conhecimento de senso comum, porém não domina o imaginário dos respondentes, os quais revelam reconhecer, em partes, as limitações do desenvolvimento científico e tecnológico para resolver os problemas ou melhorar a vida no mundo.

Uma observação relevante durante a abordagem pedagógica foi a do participante P3, que questionou “*se nos períodos de guerra a Ciência “avançava” devido às necessidades de maior produtividade de alimentos, de estradas para a logística e da indústria bélica*”. Sua ideia também foi expressa na questão 6, em que diz que “*guerras geram uma sociedade mais unida, a qual buscam a sobrevivência*”. Essa ideia reflete a ideia ingênua e de senso comum que a Ciência, mesmo nos períodos de instabilidade política e social, é “boa e desinteressada” (HEERDT, 2014), pois promove a superação na luta pela sobrevivência e na otimização de processos.

Na questão dois, em que foi solicitado aos participantes descreverem a diferença entre a Ciência e outros modos de conhecer o mundo, houve poucas mudanças na direção de uma visão adequada, resultado encontrado também por El-Hani *et al.* (2004). No que diz respeito à demarcação entre Ciência e outras formas de conhecimento, todas as respostas que não admitiram a existência de diferenças entre modos diversos de conhecer o mundo foram consideradas insatisfatórias (três

registros em cada questionário – UR 2.4). Foram consideradas satisfatórias respostas que diferenciavam a Ciência de outras formas de conhecimento com base em seus pressupostos epistemológicos, sua metodologia e/ou sua visão de mundo.

Entre os participantes que diferenciaram a Ciência de outras formas do conhecimento, houve dois participantes que previamente admitiram que a demarcação ocorre devido a metodologias distintas. Segundo P6, a diferença acontece pois “[...] *o conteúdo das disciplinas científicas passou por um método científico para a validação do mesmo*”. Para Chalmers (2007) a utilização de um método científico tem se configurado como uma forma de demarcar Ciências da Natureza de outros conhecimentos com natureza e/ou metodologias diferentes. Martins (1999) afirma haver uma problemática em torno desta demarcação, seja pelo critério restritivo, no qual apenas algumas coisas são consideradas como Ciência, seja pela exclusão de conceitos não válidos dentro daquele paradigma que se utiliza de um método científico.

Por sua vez, a diferença epistemológica foi demarcada por um participante (P4) no prévio, que manteve sua ideia no posterior, além da migração do argumento de P3. P4 descreveu que “[...] *apesar de todas serem formas de investigação, cada uma analisa um ramo de uma determinada forma*” e considerou que “[...] *religião busca respostas no campo da metafísica*”.

Houve dois registros prévios que indicaram que a Ciência possui meios de comprovar suas afirmações em relação ao universo (UR 2.3), por sua natureza concreta, enquanto outras formas de conhecimento, por serem abstratas, não obtém tal comprovação, ou, conforme P9, “[...] *a ciência busca respostas através de experimentos e fatos empíricos no geral e suas constatações são tidas como únicas*”. No questionário posterior, somente o participante P5 manteve resistente a visão positivista e ingênua de demarcação da Ciência como conhecimento comprovado.

A URE 2.7 (A Ciência é isenta de influências) emergiu da visão distorcida do participante P8 no questionário prévio, que se apresentou resistente mesmo após o desenvolvimento do IIR, indicando em ambos os momentos a noção de neutralidade do conhecimento científico, deformação a qual não leva em consideração as dimensões essenciais para desenvolvimento da Ciência, tais como impacto no meio ambiente e na sociedade e as influências que corroboram para seu desenvolvimento.

Em relação à demarcação entre Ciência outros tipos de conhecimento, esses entendimentos são complexos e a maioria dos participantes não tiveram, em suas trajetórias escolares, discussões de cunho epistemológico. Dessa forma, houve pouca mudança em relação a essa questão, além de dois registros divergentes e/ou polissêmicos em cada questionário (UR 2.5).

### 6.2.2 – O caráter provisório da Ciência

Na questão 03, em que é discutida a possibilidade de mudanças das teorias científicas, não houve registros que identificassem que as teorias não fossem passíveis de mudança em ambos os questionários, permitindo inferir que os participantes possuíam uma visão dinâmica do conhecimento científico, ou seja, de alguma maneira afirmaram que o conhecimento é inacabado.

Também não houve alteração na quantidade de registros que admitem que novas evidências e interpretações distintas permitem que teorias mudem (quatro registros). P5 argumentou, previamente ao curso, que as teorias podem “*mudar a partir do momento em que a Ciência vai evoluindo, ou fazendo novas descobertas que possam alterar as considerações feitas*” e complementou no posterior dizendo que “[...] *com o avanço científicos temos novas ideias, novas considerações a serem feitas*”. O participante P11 não manteve sua ideia no questionário posterior, e o participante P3 migrou seu argumento para esta UR (3.3a).

Houve incidência significativa de registros que relacionaram a mudança de teorias com o desenvolvimento da tecnologia (UR 3.4a). P3 apresentou um dos quatro registros no questionário prévio, admitindo que “[...] *toda teoria é relativa. O grau de conhecimento de uma sociedade é influenciado pela sua capacidade tecnológica e vice-versa*”. A quantidade de registros no questionário posterior aumentou para cinco. A significativa incidência nesta UR pode ser explicada pela imbricada relação entre “Ciência e Tecnologia<sup>17</sup>”.

---

<sup>17</sup> A expressão ‘Ciência e Tecnologia’, na linguagem corrente, designa uma unidade e, entre o público em geral, a ciência tende a ser valorizada por suas contribuições à tecnologia. Em contraste, a tradição da ciência moderna considera a tecnologia como um mero subproduto e valoriza a Ciência primordialmente pelo entendimento do mundo que ela proporciona. Essa tradição interpreta a Ciência como algo que existe em função da apreensão da estrutura causal do mundo e da sintetização de suas possibilidades, não por causa de seus subprodutos tecnológicos (embora sempre se possa contar com eles)” (LACEY, 1998, p. 113).

A Ciência, dada sua força de explicação e transformação da tecnologia e, conseqüentemente, da estrutura social, é reconhecida como forma privilegiada de entendimento do mundo. Daí a proximidade entre a Ciência e a Tecnologia: a Ciência fornece não só a possibilidade de desenvolvimento tecnológico, vital ao movimento da modernidade<sup>18</sup>, mas também fornece, por meio de seu instrumental teórico, a possibilidade racional do entendimento dessa própria característica fundante da atualidade (CASTORIADIS, 1997; LACEY, 1998).

Em relação à ideia de associação da dinâmica do conhecimento científico com a tecnologia, Lacey identificou dois tipos de progresso ou desenvolvimento possíveis nas práticas científicas, que consistem na transformação de uma condição social presente. O primeiro deles é o “desenvolvimento modernizador” (LACEY, 1998, p. 149-50; 2005 [1999], p. 183), que envolve mudanças no atual estado de desenvolvimento tecnológico dos povos empobrecidos. Este tipo de desenvolvimento visa a transformação destas sociedades por meio do “crescimento econômico industrialização, transferência de tecnologia moderna, integração à economia capitalista mundial etc.” (LACEY, 1998, p. 150). O outro tipo de desenvolvimento é o “autêntico”, que almeja mudanças nas causas do subdesenvolvimento, com intuito de transformação das condições de opressão e dependência, a fim de modificar as “várias dimensões de sofrimento vividas pelos pobres” (LACEY, 1998, p. 150).

Aduriz-Bravo (2015) afirma que a tecnociência<sup>19</sup> seja uma Ciência virtuosamente aliada à Tecnologia, permitindo uma intervenção mais eficaz com o mundo. Essa relação virtuosa entre a Ciência e a Tecnologia se dá devido à complexidade de interações, já que tanto a Ciência se alimenta com o desenvolvimento da tecnologia, quanto a gera. A tecnologia direciona e promove o

---

<sup>18</sup> “A modernidade não é um estágio evolucionário para o qual todas as sociedades evoluem, mas uma forma específica de vida social que se originou na Europa ocidental e foi desenvolvida em um sistema global complexo” (POSTONE, 1996, p. 4).

<sup>19</sup> A tecnociência refere-se ao complexo entrelaçamento entre a ciência e a tecnologia, atualmente comum e que, onde ocorre, torna largamente arbitrária qualquer distinção entre as duas. A tecnociência incorpora práticas de pesquisa conduzidas no interior da abordagem descontextualizada ou que diretamente almejam aplicações inovadoras ou que mantêm em perspectiva o horizonte da inovação tecnológica, produzindo frequentemente resultados que informam inovações e explicam sua eficácia, e/ou cuja conduta é dependente em relação ao desenvolvimento de produtos tecnocientíficos avançados (instrumentos, aparato experimental). No segundo caso, embora a pesquisa possa almejar obter entendimento de determinados fenômenos (normalmente produtos de intervenções experimentais) sem a preocupação quanto às potenciais aplicações, a realização desse objetivo depende da persecução bem-sucedida de objetivos tecnocientíficos (LACEY, 2008b, p. 306).

desenvolvimento da Ciência. Para Aduriz-Bravo (2015), o tipo de ciência que se faz desde a Segunda Grande Guerra é baseado na tecnologia e dependente dela.

Com base nessas investigações, a ideia do progresso tecnológico e a sua intrínseca relação com a Ciência, sob o paradigma da modernidade, aparecem fortemente nos questionários prévio e posterior devido à valorização pela sociedade em que os participantes estão inseridos. É possível inferir que esta percepção esteja incorporada a eles pois se trata de um valor hegemônico na sociedade moderna.

A UR 3.6a, que relaciona a mudança de teorias com a influência social, cultural e política, não apresentou registros no questionário prévio, e houve uma incidência significativa no questionário posterior (seis registros). Pode-se inferir que a alteração na quantidade tenha ocorrido pelas discussões a respeito do papel do contexto social na construção do conhecimento científico. P9 afirmou que “[...] *como somos nós que “fazemos ciência”, a mesma evolui nos nossos passos*” no questionário posterior, o que corrobora o argumento de Gil-Pérez *et al* (2001), que é necessária a compreensão do caráter social para produção do conhecimento, no qual o trabalho científico precisa ser apresentado à sociedade como qualquer outra função exercida por homens e mulheres, influenciados por problemas e interesses sociais. Essa seria uma das maneiras de romper com uma imagem do cientista como gênio solitário desvinculado do contexto social, desenvolvendo suas teorias de forma autônoma e distante dos aspectos históricos, sociais, culturais, econômicos e políticos. A dimensão axiológica será discutida com maior aprofundamento no subcapítulo 6.2.4.

Quando foram questionados do porquê é necessário aprender teorias científicas, uma vez que estas podem sofrer modificações, sete descreveram, no questionário prévio, que é importante porque se pode conhecer melhor o mundo em que se vive, além de compreender e modificar os conhecimentos científicos e por ser um conhecimento aceito. Todas essas respostas foram consideradas coerentes. No questionário posterior, nove registros foram classificados nas unidades acima mencionadas, uma quantidade adequada de respostas satisfatórias. Apenas P7 manteve seu argumento impreciso nos dois questionários. Resultados semelhantes foram encontrados nas pesquisas de El-Hani *et al.* (2004) e Heerdt (2014).

Particularmente, aprender teorias está intimamente vinculado a tomadas de decisão em diversos momentos da vida, seja em assuntos relacionados à Ciência ou

em questões cotidianas. O conhecimento de teorias tem a função de subsidiar cognitiva e axiologicamente questões que permeiam a existência humana.

Na questão quatro se buscou identificar as noções dos participantes quando um mesmo grupo de dados gera diferentes hipóteses. Previamente à abordagem, oito participantes argumentaram que as conclusões distintas se dão por influência do conhecimento do cientista e/ou da comunidade científica, ou, como expressou P6, [...] *mesmo tendo o mesmo conjunto de dados à sua disposição é possível elaborar diferentes linhas de pensamento, que acarretam em diferentes conclusões*".

Um participante (P4 – prévio) atribuiu a natureza incompleta dos dados como razão para as diferentes interpretações (UR 4.2), pois "[...] *em certos casos, por ser há muito tempo ou por falta de informação suficiente para uma resposta única e concreta, a ciência abre espaço para diferentes interpretações*". Segundo El-Hani *et al.* (2004), que obtiveram o mesmo resultado, é possível inferir que o participante estava comprometido com uma visão próxima a uma posição empírico-indutivista ao expressar a importância primordial aos dados na construção de explicações.

Foi necessário elaborar a URE 4.5 relacionada aos aspectos tecnológicos e sua influência na obtenção de dados, pois, segundo P3 (prévio), a diferença ocorre "*por causa dos erros que podem ocorrer no método de captura de dados, [...] nossa tecnologia nos limita na busca de conhecimento e o conhecimento limita nossa tecnologia*". Novamente, assim como na terceira questão, é possível inferir a presença da imbricação entre Ciência e Tecnologia incorporada no argumento do participante.

Após a abordagem pedagógica, todos os participantes apresentaram registros coerentes, que afirmam que o conhecimento dos cientistas influencia nas inferências e que se pode obter distintas hipóteses, pois a Ciência é uma construção (apesar da imprecisão de P1 em relação à inferência e à criatividade).

### 6.2.3 – Criatividade e imaginação no fazer Ciência

Na quinta questão, todos os participantes admitiram que a criatividade e a imaginação estão presentes na construção do conhecimento científico em ambos os questionários (UR 5.1 e UR 5.2). Além disso, não foram identificados registros imprecisos (UR 5.4) ou que exprimissem que a Ciência não tem vínculo com essas características supracitadas (5.3).

No entanto, a maioria dos participantes relacionou a criatividade e a imaginação a somente algumas etapas do processo de construção do conhecimento científico (UR 5.2 - nove registros prévios e sete registros posteriores); desses registros prévios, cinco associaram à etapa de processo e planejamento, pois, conforme P10, “[...] *é necessário imaginar e criar possibilidades do que pode acontecer com as mudanças das variáveis em estudo para assim realizar experimentos em coleta de dados*”, ou na qual “[...] *você torna físico algo de sua imaginação*” (P4).

Por sua vez, P8, apesar de relacionar a criatividade e a imaginação somente à uma etapa, em sua resposta inicial, admitiu que as utilizam “[...] *para solucionarem de forma mais coerente possível um determinado problema. Exemplos são as teorias para o calor, em que o mesmo foi adotado como elemento, “amor”, e como meio de purificação, até envolvendo a alquimia. E essa criatividade é influenciada de acordo com o conhecimento e ideologia da época*”. Pode-se inferir que a discussão da composição histórico-epistemológica a respeito do Calor tenha contribuído com noção dinâmica e não-neutra da Ciência pelo participante, caracterizada pela influência de valores, de criatividade e da mudança de teorias.

Já em relação à UR 5.1, dois registros foram identificados no prévio e quatro no posterior. P4 modificou seu argumento da UR 5.2 para a UR 5.1, e expressou que “[...] *de forma geral a criatividade e a imaginação são usadas em todas as etapas, principalmente no planejamento. Analisar um fato e tirar dele algumas inferências demonstra criatividade e imaginação*”.

Por meio dos dados empíricos, é possível inferir que os participantes possuem uma noção adequada da construção do conhecimento científico em relação ao seu papel essencial no fazer Ciência, desde previamente ao curso até após a sua realização.

#### 6.2.4 – Valores no desenvolvimento da Ciência

A questão seis foi proposta com o objetivo de identificar e analisar a noção a respeito do reflexo de valores e/ou da universalidade do conhecimento científico. Houve um aumento no número de registros que admitiram que a Ciência reflete valores sociais, políticos e/ou culturais (UR 6.1, que teve aumento de quatro para

nove registros). Além disso, os fragmentos que registraram respostas que não contemplavam a pergunta (UR 6.6) caíram de quatro para um.

Durante a atividade da segunda etapa da IIR (*Panorama espontâneo*), na qual houve a discussão das características da NdC, os/as participantes foram questionados a respeito da neutralidade e da isenção de valores da construção do conhecimento científico. O participante P3 questionou “*se, por influência do contexto, que os períodos de guerra eram caracterizados por grandes avanços científicos*”, em consonância com seu registro na UR 6.6, em que admite que “*guerras geram uma sociedade mais unida, a qual buscam a sobrevivência[...]*”, permitindo inferir que poderia haver uma visão utilitarista da Ciência, diretamente relacionada ao desenvolvimento tecnológico (DRIVER *et al.*, 1996).

É possível inferir que houve um aumento nos registros que vinculam a Ciência com o contexto na qual está inserida devido à ênfase que foi dada na construção da abordagem e desenvolvimento das discussões. Essas evidências encontradas no registro posterior que corroboram a inferência trazem consigo exemplos utilizados na discussão e nas atividades. O participante P7 admite em seu argumento que a Ciência reflete valores “[...] pois como o exemplo de Joule que tinha uma maior condição financeira e tinha como tutor Lorde Kelvin, ele ganhou a tese de outros cientistas levando assim seu nome até hoje com a unidade Joule e por P1, que ainda de maneira imprecisa, exprime que “*Joule foi beneficiado por causa do dinheiro que tinha e também do nível social que seu tutor tinha*”. P9 também menciona o mérito atribuído a Joule, enquanto P11 também o vincula à sua posição social.

A partir desses fragmentos, é possível inferir que noções de NdC estão vinculadas a discussões éticas, transitando entre a sociologia e a alfabetização científica. É relevante que os/as estudantes reconheçam a Ciência como uma atividade social humana, organizada e institucionalizada que se desenvolve no sentido de construir novos conhecimentos. A presença de registros vinculados à ética permite inferir que a necessidade de constante reavaliação do sistema de valores da Ciência indica que essa está profundamente entrelaçada a todos os aspectos do fazer científico, e que pode caracterizar uma maneira de ensinar o “fazer Ciência” como uma construção humana. Os argumentos encontrados nos

registros ainda podem ser vinculados ao “efeito Mateus”<sup>20</sup>, no qual os pesquisadores mais célebres tendem a receber mais reconhecimento e recursos financeiros por suas atividades acadêmicas, enquanto os pesquisadores pouco conhecidos tendem a receber pouco ou nenhum reconhecimento por suas atividades (MERTON, 1977). Além disso, reforça a ideia de reflexividade defendida por Neves e Pinto (2013), em que uma abordagem que propõe a explicação do conhecimento por meio das variáveis sociais deve entender que essas variáveis influenciam a produção sociológica, assim a sociologia do conhecimento científico aplica princípios a si mesma.

O participante P10 admite no questionário posterior que há reflexos de valores na construção do conhecimento científico, e cita como exemplos a “[...] *revolução industrial e grande avanço tecnológico nas guerras*”, uma vez que, para ele, “[...] *a Ciência é baseada em necessidades*”. A partir desses fragmentos, é possível inferir que esteja presente, além da perspectiva utilitarista supracitada nas guerras, o argumento da Ciência como um instrumento de desenvolvimento econômico de uma determinada população, como ocorreu com a britânica na Revolução Industrial.

Há ainda fragmentos que relacionam o conhecimento científico e suas relações com a moral e com a cultura, evidenciados com a vinculação a controvérsias entre Igreja e Ciência na História da Ciência. No questionário prévio, ainda que de maneira imprecisa, P2 expressou que “[...] *a Igreja evitava certo desenvolvimento da Ciência porque era imoral o estudo de corpos humanos*”. Já no questionário posterior, P9 admitiu que “*Galileu com ideal de heliocentrismo*” foi um exemplo que segundo “*a sociedade chega até a impor um método de pensar*” P6. Essa discussão foi fomentada na atividade de Trabalho de Campo da IIR, especificamente nas propriedades “mágicas” do *alcahest* do pensamento alquímico, e a busca por “verdades absolutas” no período pós-Idade Média, além da imortalidade bastante vinculada à religião. As discussões em relação a questão moral e a momentos de dogmatização religiosa são importantes para promover o entendimento do papel da moral da Ciência, que é de incorporação dos compromissos morais de interesse geral nas normas da comunidade científica, consonante com Driver *et al.* (1996) e Lederman (2007).

---

<sup>20</sup> Como dito no capítulo 25, versículo 29, do livro de São Mateus: “Porque a todo o que tem, dar-se-lhe-á, e terá em abundância; mas ao que não tem, até aquilo que tem ser-lhe-á tirado”

A ideia de que Ciência é universal foi classificada na UR 6.4, e a diminuição dos quatro registros prévios para nenhum registro posterior permite inferir ter ocorrido uma sensibilização na noção de Ciência neutra para a noção de Ciência como um processo e produto do contexto na qual está inserida.

#### 6.2.5 – Noções a respeito de Energia e de Calor

Na sétima questão foi indagado aos participantes o significado do conceito de Energia. Inicialmente, a noção de Energia foi associada a diferentes ideias: P9 a expressou como a “[...] força aplicada para que se faça algum evento”, sendo a causa de um processo (UR 7.1). P3, por sua vez, apresenta sua ideia de Energia relacionada ao resultado da agitação.

A UR 7.6, que associa Energia ao trabalho, apresentou dois registros prévios e dois registros posteriores: segundo P7, “*Energia é o que é necessário para realizar trabalho, não há trabalho sem energia*”. Esse é um exemplo de “reducionismo conceitual” de Energia (HIERREZUELO e MOLINA, 1990, p.23), pois limita a ideia do conceito ao campo da Mecânica, não atendendo também o campo da Termodinâmica, o qual inclui também os processos associados à transferência de calor.

As pesquisas a respeito de noções alternativas (HIERREZUELO e MONTERO, 1988; DRIVER e WARRINGTON, 1985) mostram que os estudantes tendem a associar o conceito de trabalho à ideia de esforço físico, com uma clara influência da linguagem cotidiana. Isso está em consonância com o registro de P1 na UR 7.7, que relaciona Energia à “*força. Quando você come algo que dá energia, acaba tendo força para alguma atividade*”.

A Energia é uma função de estado que se modifica por meio de sua relação com o calor e o trabalho. Doménech *et al.* (2003) sugerem que se utilize também para o conceito de trabalho uma definição mais qualitativa, como por exemplo: trabalho corresponde ao ato de transformar a matéria aplicando forças, esclarecendo seu caráter de processo de transferência de energia e não o limitando apenas às situações específicas da Mecânica.

Ideias de causa, de resultado e de associação ao trabalho estão presentes também nas investigações de Higa (1988), Trumper (1991), Pérez-Landazábal *et al.* (1995) e Henrique (1996).

Uma outra noção que se mostrou incorporada e que foi resistente à abordagem é a designada por URE 7.1, na qual os participantes P5, P8, P10 e P11 associaram, em ambos os questionários, a ideia de Energia ao movimento. Segundo Bucussi (2006), essa noção identifica a Energia com tudo aquilo que demonstra atividade, movimento. Por exemplo, um brinquedo de corda só é visto como possuindo energia quando está em movimento e nunca no momento em que lhe “dão corda”. Identificações da Energia com algum tipo de exercício físico, algo que se percebe como possuindo movimento, devem ser trabalhadas de forma a aproximá-las do conceito de energia cinética, não esquecendo de se dar destaque ao caráter de latência da energia potencial. É possível inferir que seja necessário dar mais ênfase a esse caráter quando da construção conceitual de Energia junto aos futuros engenheiros, com base nos resultados.

No registro prévio, foi identificado um registro relacionado à Energia como algo que se conserva (UR 7.3), e houve uma mudança significativa no posterior (seis registros). Isso também ocorreu com os registros que associaram a ideia de transformação e convertibilidade à Energia (URE 7.12), que passou de nenhum registro no prévio para quatro no posterior.

Esses resultados estão de acordo com a proposta de introdução do conceito de Energia proposto por Bucussi (2006, p. 23), em que essa “pode ser vista como uma propriedade que expressa as alterações ocorridas nos sistemas devido aos processos de transferência e transformação realizados por meio de interações”, que “quatro formas básicas da Energia (cinética, potencial, da massa e dos campos) podem se manifestar nos mais diversos tipos de sistemas” e que existe um princípio de conservação atrelada a ela.

Atualmente, o conceito de Energia ainda é bastante debatido (além de ser de difícil definição) e tem como uma das definições consensualmente aceitas a de Feynman (SILVA, 2012):

Há certa quantidade, denominada energia, que não muda nas múltiplas modificações pelas quais passa a natureza. Trata-se de uma ideia extremamente abstrata, por ser um princípio matemático; diz que há uma grandeza numérica que não se altera quando algo acontece. Não é a descrição de um mecanismo ou de algo concreto; é apenas um fato estranho de que podemos calcular certo número e, quando terminamos de observar a natureza em suas peripécias e calculamos o número de novo, ele é o mesmo (FEYNMAN, 2009, p. 91).

Dessa forma, é possível inferir que as mudanças significativas nos registros (onze registros posteriores nas UR 7.6 e 7.12) indicam uma visão mais próxima da consensualmente aceita que os registros associados a noções alternativas identificados nos questionários prévios.

Na questão oito foi indagado aos participantes quais as noções atribuídas ao conceito de Calor. No questionário prévio, os registros se distribuíram entre diferentes UR.

P1 associou o Calor à *“agitação (dos átomos, por exemplo)”*, conforme UR 8.2. Segundo P7, *“calor é uma forma de energia em que, se você aumenta o calor de um material, a sua temperatura aumenta, e se você retira calor de um material a sua temperatura diminui”* (UR 8.4), atrelando o conceito de Calor à ideia substancialista a partir da perspectiva do calórico. Não houve registros para essas UR no questionário posterior. Essas noções alternativas também foram observadas por Silva, Neto e Carvalho (1998).

Para Chi (1992), as primeiras noções dos estudantes em relação a alguns conceitos básicos de Ciências pertencem à categoria ontológica de substância material, enquanto que para os cientistas esses pertencem à categoria de evento limitado por leis. Os estudantes usam o comportamento e propriedades da matéria para interpretar o comportamento e propriedade de eventos, ou seja, emprestam predicativos e propriedades da categoria de substância material para interpretar eventos em outra categoria alternativa. A autora ressalta a similaridade explícita entre as noções prévias dos estudantes e as ideias dos cientistas medievais, pois ambos adotam uma visão de substância material. A autora observou, a partir de revisão da literatura, que quatro conceitos são tratados pelos estudantes como entidades com características de substâncias: calor, luz, força e corrente elétrica.

De acordo com Amaral e Mortimer (2001), o substancialismo, apesar de estar fora do consenso da Ciência contemporânea, sobrevive no sutil emaranhado da linguagem e práticas da Química e da tecnologia e, como tal, pode confundir o estudante. Embora a Ciência contemporânea não atribua propriedades da substância a uma molécula individual, o substancialismo sobrevive nas formas de falar a respeito da energia dos processos químicos e das propriedades relacionais. 'calor latente de fusão' e 'capacidade calorífica' são exemplos do caráter de substância da Energia na linguagem científica. Os alimentos ou os combustíveis são referidos como algo que tem energia armazenada nas ligações químicas. Os livros

didáticos de bioquímica explicam que certa energia (substancializada) é liberada quando se quebra uma ligação P-O em uma molécula de ATP.

Como sistema de pensamento, o substancialismo seguramente já não faz parte da doutrina científica, mas não desapareceu totalmente como uma potente forma de falar a respeito o mundo (MORTIMER, 1997).

Três participantes (P4, P5 e P9) apresentaram, inicialmente, divergência conceitual entre o conceito de Calor e de temperatura. Segundo P9, “*Calor está intimamente ligado à temperatura e a conceitos relativistas como frio e quente*”. Segundo Amaral e Mortimer (2001), as relações entre Calor e temperatura encontradas nas ideias dos estudantes apontam para a influência da maneira como se pensa o Calor na vida cotidiana: comumente se diz que faz calor quando a temperatura está alta, o que pode provocar, muitas vezes, a interpretação equivocada de um conceito com o outro.

Quando os estudantes trabalham com a determinação de temperaturas utilizando o termômetro de laboratório e o termômetro clínico, eles são estimulados a pensar no funcionamento desses instrumentos, o que leva à ideia de equilíbrio térmico e de direção do calor.

Para Chi (1992), quando Black fez a diferenciação entre temperatura (a partir do aprimoramento do instrumento) e calor, o conceito de Calor mudou de categoria ontológica e manteve uma relação superficial com a ideia anterior de Calor (não diferenciado da temperatura) relacionado à sensação de quente. Essa mudança de ontologia, analisada por Chi, não resulta, entretanto, em uma distinção nítida dentro da sua categorização uma vez que, apesar de o calor não ser mais associado às sensações, ele ainda é relacionado às temperaturas altas e pode ser pensado como uma substância.

No questionário posterior, P4 modificou seu argumento para a ideia da construção histórico-epistemológica do conceito de Calor que foi trabalhada no curso de extensão. O registro do participante se refere a Calor como “*Energia em trânsito. Começou sendo atribuído ao Calor o fogo com relação aos 4 elementos, passou pelo éter, lacunas nas moléculas, máquina de Heron, pelo flogístico e pela inquisição no Renascimento, pelo conceito do calórico até chegar no conceito de energia em trânsito*”. É possível inferir que houve construção conceitual por meio da composição histórico-epistemológica, a partir de seu entendimento em episódios (e controvérsias) históricos, demonstrando os elementos conceituais que vão

compondo a explicação encontrada, e a comparação com a explicação contemporânea e cientificamente corroborada (BATISTA, 2016).

Sendo Energia e Calor os conceitos originais, frutos de um processo de evolução da interpretação de mundo feita pelas teorias científicas, e de uso bastante disseminado na sociedade atual, sabe-se que os estudantes acabam por construir noções alternativas em relação ao mesmo, não apenas por sua experiência direta com manifestações da energia no mundo físico, mas, principalmente, pela influência cultural da linguagem fortemente difundida pelos meios de comunicação em torno dos conceitos (BUCUSSI, 2006). Mortimer (2001, p.32) afirma que: “[...] nos parece inútil o esforço em mudar concepções que têm raízes profundas nas nossas formas cotidianas de falar sobre o mundo e que são compartilhadas pelos indivíduos de uma mesma cultura”.

O conceito de Energia é abstrato e como já se disse, bastante difícil de se definir com precisão, a ponto de alguns autores preferirem não o definir, a não ser matematicamente, de forma bastante operacional, apreendendo-o por meio do estudo e quantificação de suas diversas manifestações. Porém, se não se tem muita facilidade em afirmar o que é a Energia, por outro lado há boas condições de esclarecer aquilo que Energia não é.

#### 6.2.6 – Noções relacionadas à Primeira Lei da Termodinâmica e à Entalpia

Na questão onze investigou-se as noções dos participantes em relação à Primeira Lei da Termodinâmica. Oito participantes apresentaram noções divergentes no questionário prévio. Segundo P7, “*a Primeira Lei estuda a troca de calor de um sistema de maneira mais ideal que a segunda, utilizando a entalpia e o trabalho do sistema*”.

O registro de P10 se caracteriza como indício de uma relação confusa entre a Primeira Lei da Termodinâmica e a Termodinâmica Estatística, bem como entre as grandezas termodinâmicas. A Primeira Lei estaria “*relacionada com a variação de energia onde esta variação depende de uma série de acontecimentos (probabilidade), resultando em variáveis como quantidade de calor, trabalho, energia cinética e variação da energia potencial das moléculas*”.

Houve dois registros prévios com o conceito aceito consensualmente, relacionado à Conservação de Energia. Apesar de explicitar grandezas, P9 não a

apresentou de forma simbólica (UR 11.1). Já P6 trouxe, além da ideia de conservação, a noção de que “*a natureza sempre tende a entrar em equilíbrio*” (UR 11.3). No questionário posterior, nove participantes associaram a Primeira Lei da Termodinâmica à Conservação de Energia (UR 11.1 e 11.3), e dentre esses, P3 apresentou a expressão simbólica da relação entre energia interna, calor e trabalho. É possível inferir, então, que a abordagem tenha promovido a construção conceitual em detrimento à da linguagem matematizada dos participantes, cujo desenvolvimento pode ser realizado em um momento diferente dentro de uma aula, por exemplo.

Foram também obtidos um registro prévio e um posterior relacionado à conservação de calor, ao invés da Conservação da Energia. P7 explicitou corretamente a expressão simbólica da Primeira Lei, no entanto admitiu que o calor é conservado. Novamente, é possível inferir que houve similaridade explícita entre as noções prévias dos participantes e as ideias dos cientistas medievais relacionadas à conservação do calórico: o calor não se criaria e nem se destruiria, mas poderia ser transferido de um corpo para outro (MICHINEL e D’ALESSANDRO, 1994).

A partir dos dados empíricos, é possível observar que houve uma mudança significativa nos registros prévios e posteriores, permitindo inferir que houve um entendimento mais coerente com o princípio da Conservação de Energia após o desenvolvimento das atividades.

Foram observadas mudanças também em relação à nona questão, com a qual se investigou noções relacionadas ao conceito de Entalpia. No questionário prévio não foram observados registros associados ao consenso científico atual, enquanto houve oito registros no questionário posterior. “*Entalpia é uma ferramenta utilizada para calcular o valor numérico do calor em uma reação a pressão constante*”, segundo P6, em consonância com a ideia de Entalpia como um modelo matemático que permite calcular o calor trocado em um processo isobárico.

Houve quatro registros divergentes e/ou polissêmicos (UR 9.5), dois que não contemplaram a pergunta (UR 9.6) e uma ausência de resposta no questionário prévio, permitindo inferir que os participantes não possuíam o conceito construído e incorporado. Dois participantes associaram o conceito de Entalpia à sua expressão simbólica, como P5, que admitiu que essa correspondia ao “*H* das questões e fórmulas”. Isso permite inferir que há indícios de elementos matemáticos

sobrepostos ao conceito da função termodinâmica, o que é corroborado pela investigação de Nery e Maldaner (2011), que identificaram que professores não se preocupavam em construir o conceito com o aluno, em detrimento à utilização de fórmulas e linguagem simbólica inconsciente de conteúdos de Química. O reflexo disso na epistemologia do/a estudante é a redução do significado à sua fórmula, o que dificulta sua compreensão pois, segundo Davidov (1988), conceitos são o meio pelo qual se constrói o pensamento teórico em ambiente escolar.

#### 6.2.7 – Construção do conceito de Entropia e da Segunda Lei da Termodinâmica

Em relação a um dos conceitos importantes na construção das Leis da Termodinâmica, a Entropia, foi indagado aos participantes quais os significados e/ou interpretações que esses possuíam a respeito. Os fragmentos identificados nos questionários prévios se dividiram em interpretações polissêmicas ou equivocadas em relação ao conceito (UR 10.6 e UR 10.7), ou em registros que trazem consigo uma simplificação de sua interpretação pela simples “desordem” do sistema, desprezando as suas interações, ou em sua forma matematizada (UR 10.1 e 10.8). No questionário posterior, houve uma mudança para os registros classificados na UR 10.2, que relacionam a Entropia segundo a Termodinâmica Estatística e a teorização da complexidade.

No questionário prévio, é possível observar que os participantes P5 e P10 reduzem a interpretação do conceito de Entropia a sua expressão simbólica, bem como P7, que exprime a sua concepção matemática e apresenta uma imprecisão conceitual em relação ao consenso científico. Novamente, assim como no conceito de Entalpia, houve a redução conceitual da grandeza à sua expressão simbólica. No questionário posterior, foram identificados dez fragmentos relacionados à problemática e teorização da complexidade (UR 10.2 e 10.4), enquanto nenhum registro foi identificado no questionário prévio. Uma possível causa da mudança pode ser atribuída a uma evolução de paradigmas desenvolvida no material didático e desenvolvida na discussão a respeito do conceito de Entropia durante a abordagem. A Entropia, um conceito multissignificado, é característica primordial nas ideias relacionadas ao pensamento do paradigma da complexidade, em contraposição ao pensamento linear ou ao paradigma da simplicidade. Houve ainda três registros que interpretaram a Entropia como a degradação de Energia no

questionário posterior. Candel *et al.* (1984) argumentam que esta interpretação da Entropia associada com a degradação da energia é mais adequada que outra muito comum, que é de se associar Entropia com o aumento de desordem. Segundo Ferreira (2005), é muito comum se apresentar o conceito de Entropia com seu significado físico atribuído à desordem ou aleatoriedade de maneira reduzida, conforme dois registros indicam na UR 10.1.

Já no questionário posterior, foram observados dez registros relacionados ao pensamento complexo: oito em consonância com a Termodinâmica Estatística (UR 10.2) e outros dois sem a discriminação relativa à sua aplicação física (10.4). Pode-se inferir que a diferenciação ocorreu durante a atividade Trabalho de Campo, com o texto “Energia e Entropia, como diferenciá-las?”, em que foi utilizada uma analogia de Ferreira (2005, p. 40) relacionando a Entropia em um sistema físico à distribuição de dinheiro em um país. Para Duit (1991), as potencialidades do emprego desses recursos no Ensino de Ciências são várias, em uma perspectiva construtivista, dentre elas pode-se destacar: facilitam a compreensão dos abstratos, apontando para semelhanças com o mundo real; podem proporcionar a visualização do abstrato; podem provocar o interesse dos alunos, motivando-os; forçam o professor a considerar os conhecimentos prévios dos alunos; e podem revelar concepções alternativas em áreas já ensinadas.

É relevante ressaltar que o participante P10 expressou, em sua resposta no questionário posterior, três diferentes facetas que explicam o conceito de Entropia, relacionando-a à degradação de Energia, à complexidade de um sistema conforme a Termodinâmica Estatística e à direcionalidade de um processo. É possível inferir, a partir dessa resposta, que a proposta de construir um conceito com bases epistemológicas é capaz de propiciar o enriquecimento de visões multiperspectivas, e que não existem definições únicas e acabadas para um determinado conceito científico, uma vez que essas UR não são excludentes.

Em relação à questão doze, na qual foi indagada a noção relativa à Segunda Lei, foram observados, inicialmente, quatro registros divergentes e/ou polissêmicos (UR 12.5) e dois participantes não responderam. P3 demonstrou confusão ao definir a Segunda Lei com os princípios da Primeira Lei: “*Conservação da energia  $U=Q-W$ , onde a energia resultante é a soma ou a subtração de todas as energias ( $U$ =energia,  $Q$ =quantidade de calor e  $W$ =trabalho)*”. P8, por sua vez, utilizou a ideia recursiva da Entropia na construção da Segunda Lei, porém de maneira imprecisa, admitindo que

essa “*também estuda o ganho de calor de um corpo, mas diferente da Primeira Lei, esta usa a entropia*”.

P10 expressou previamente que “A Segunda Lei da Termodinâmica está relacionada com a variação de entropia, que sempre aumenta”, se esquecendo dos processos reversíveis em que a variação de entropia é nula. No questionário posterior, complementou sua argumentação com a ideia de eficiência: “*A segunda lei está relacionada com eficiência e entropia, onde se a variação de entropia é zero, pode-se obter uma eficiência de 100%, caso contrário a eficiência é menor que 100%*”. Apesar de ambas se incluírem na UR 12.1, é possível inferir que houve uma evolução no conceito construído.

Houve um registro posterior (P8) relacionado à “morte térmica do universo” (UR 12.4), quando em um enunciado para a Segunda Lei da Termodinâmica se “proíbe” a que calor se transforme integralmente em trabalho.

A mudança mais significativa observada para essa questão ocorreu na explicação e associação da Segunda Lei com as máquinas térmicas (UR 12.2), de um registro prévio para oito registros posteriores. Segundo P9, “*A Segunda Lei é muito fundamentada nos ideais de máquina térmica de Carnot e no ideal de “calórico” (mesmo que não seja tão “certo”)*”. É possível inferir que há uma ideia recursiva do participante, associando a noção de Segunda Lei com a de Calor vigente na época de alguns de seus princípios postulados. Dessa forma, a construção histórica de calórico pode ter contribuído na incorporação epistemológica do conceito pelo participante.

Pode-se inferir, também, que a mudança referente à UR 12.2 ocorreu devido às discussões de construção do Ciclo de Carnot (Figura 14) e pela afinidade dos participantes com assuntos relacionados à eficiência e à implicação em projeto de motores. Além disso, o filme *Steamboy* também contribuiu para construir a relação entre Segunda Lei, eficiência e máquinas térmicas.

A distribuição dos registros posteriores (exceto os divergentes e/ou polissêmicos – UR 12.5) ocorreu em diversos enunciados, todos condizentes da ideia de Segunda Lei, lei esta que exprime que na natureza há uma busca pelo equilíbrio térmico e que este movimento estabelece um certo sentido temporal para a ocorrência dos fenômenos.

A partir das questões analisadas, desenvolver-se-á a análise dos diagramas Vê produzidos pelos participantes a fim de investigar os indícios de aprendizagem expressos.

#### 6.2.8 – Indícios de Aprendizagem a partir dos Vês de Gowin

Os diagramas Vê produzidos em cada leitura foram avaliados conforme Gowin e Alvarez (2005). A partir dessa avaliação e pontuação, foram selecionadas para apresentação, análise e discussão as atividades dos participantes P2 (que estabeleceu relações mais imprecisas em sua construção), P3 e P5 (que associou de maneira mais adequada os juízos de conhecimento com as transformações para responder à questão-foco). As atividades foram desenvolvidas como um instrumento de organização mental da leitura de cada texto, e nelas serão analisados indícios de aprendizagem a partir do que foi expresso. Os *eventos* e *registros*, exceto o de P2 na terceira atividade, não serão analisados, pois todos os outros participantes associaram à leitura e/ou compreensão do texto. Aqui serão apresentados diagramas que foram digitados para facilitar a visualização. Os diagramas originalmente confeccionados se encontram no Apêndice C.

#### Atividade 1 – “O que é Energia?”

Na Figura 15 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P2 (e pelo participante P1) na atividade referente ao texto “O que é Energia?”. Cabe ressaltar que esta primeira atividade foi realizada em dupla, em sala de aula, durante o primeiro dia do curso, para promover as primeiras discussões na leitura e para a familiarização com o instrumento, com auxílio do professor-pesquisador. Era permitido consultar o texto para construir o diagrama, assim como na construção dos outros Vês.

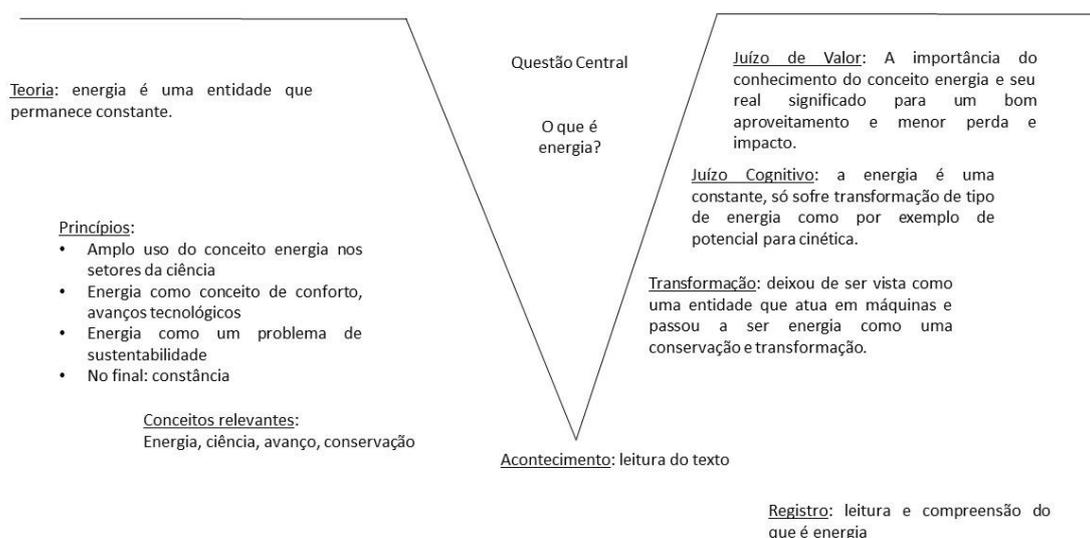


Figura 15 - Diagrama Vê construído pelos participantes P2 e P1 durante a atividade 1.

Os futuros engenheiros iniciaram sua construção adequadamente, associando como explicação *teórica* para a Energia a sua ideia de constância. Atribuíram diferentes facetas do conceito como *princípios*, dentre elas uma que expressa a visão salvacionista da Ciência (que é atrelada a um conceito integrador como Energia), em que esta entidade pode propiciar conforto e “avanços” tecnológicos, e finalizaram os princípios com a ideia de constância. Reforçaram a ideia de “avanço” nos *conceitos relevantes* propostos.

A *transformação* foi apresentada de forma divergente pelos participantes. Apesar de apresentarem propriedades relevantes da Energia, como a conservação e a transformação, a associação feita às máquinas se mostrou imprecisa. O *juízo cognitivo* também foi adequadamente proposto, com os princípios da constância e transformação, e atribuíram o valor intrínseco do conceito de Energia, associando em seu *juízo de valor* ideias de eficiência e de sustentabilidade.

Na Figura 16 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P3 (e pelo participante P6) na atividade referente ao texto “O que é Energia?”.



Figura 16 - Diagrama Vê construído pelos participantes P3 e P6 durante a atividade 1.

É possível inferir, a partir do diagrama construído para a atividade, que os futuros engenheiros identificaram a *teoria* e o *princípio* da constância como fundamental para a construção do conceito de Energia conforme a Mecânica Clássica, já associando a ela conceitos como força, massa, velocidade, altura, e as observações e as inferências a partir da queda livre e da alavanca. No *juízo cognitivo* (ou asserção de conhecimento), os participantes responderam à *questão-foco* “O que é Energia?” a partir de um exemplo histórico de proposição do conceito, o da alavanca clássica de Arquimedes. É interessante observar que os participantes construíram um argumento a partir do episódio histórico da controvérsia entre Descartes e Leibniz, além de apresentarem um dos elementos trabalhados na atividade *Tricky Tracks* desenvolvida, argumentando que a partir de uma mesma observação é possível apresentar duas diferentes inferências de interesse para a epistemologia da Ciência. Os termos empregados no *juízo cognitivo* e na *transformação* foram obtidos, em grande parte, do material histórico e da discussão promovida, permitindo inferir que houve indícios de compreensão do material didático.

No entanto, os participantes apresentaram dificuldades em relacionar valores, não estabelecendo um *juízo (ou asserção) de valor* apropriado para a leitura do texto.

Na Figura 17 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P5 (e pelo participante P4) na atividade referente ao texto “O que é Energia?”.

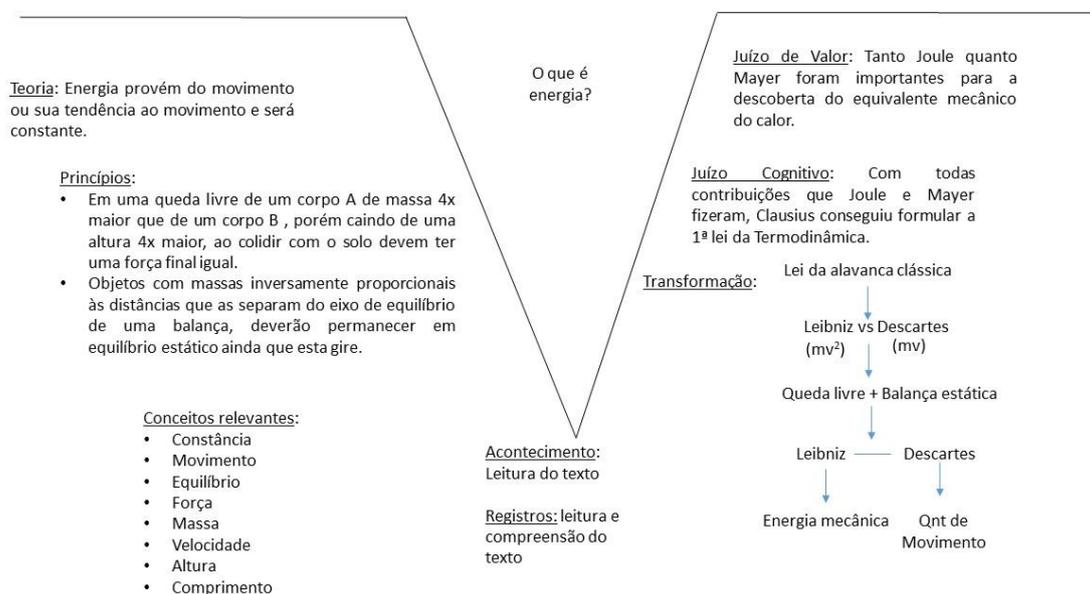


Figura 17 - Diagrama Vê construído pelos participantes P5 e P4 durante a atividade 1.

Os participantes explicaram a teoria do conceito de Energia sob uma perspectiva interessante, admitindo que “*Energia provém do movimento ou sua tendência ao movimento*”. Essa expressão está relacionada com a questão sete e com os registros da UC 7, em que diversos participantes indicaram que a Energia estava relacionada ao movimento. No entanto, os participantes não se restringiram ao conceito reduzido à Energia Cinética, mas sim indicaram existir também uma tendência, algo latente.

Em relação aos *princípios*, os participantes os associaram aos dos experimentos de Leibniz e Descartes. Também relacionaram *conceitos relevantes* pertinentes ao de Energia, como constância, movimento, velocidade, altura, comprimento (sob a perspectiva da Mecânica).

Outro elemento relevante da construção do diagrama dos participantes P4 e P5 foi a maneira em que expressaram as *transformações*. Por meio de um fluxograma, apresentaram as transformações das ideias de Energia como resultados de processos de controvérsias e de debates científicos, até culminar, por exemplo, em duas diferentes e importantes inferências para o conceito de Energia na Mecânica e na Físico-Química: a Energia Cinética por Leibniz e seus colaboradores, e a Quantidade de Movimento por Descartes e seus colaboradores. O *juízo cognitivo*

foi adequadamente construído, bem como o *juízo de valor* intrínseco que foi atribuído.

## Atividade 2 – “Como foi construído o conceito de Calor?”

Na Figura 18 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P2 na atividade referente ao texto “Como foi construído o conceito de Calor?”.



Figura 18 - Diagrama Vê construído pelo participante P2 durante a atividade 2.

Apesar de expressar no questionário posterior que Calor é “energia em trânsito”, o participante P2 construiu um diagrama Vê baseado em sua leitura com imprecisões. A sua ideia se inicia com a *teoria* de Calor como uma forma de energia mecânica relacionada ao movimento, apresentando um reducionismo conceitual. Em relação aos *princípios*, o participante atribuiu alguns princípios como o da conservação da massa, mas não fez referência ao consenso científico atualmente aceito. A relação de *conceitos relevantes* também é reduzida (calor e movimento).

A *transformação* do conceito de Calor também é caracterizada por uma visão indutiva e empirista da Ciência: a mudança da perspectiva metafísica ou mística para o conceito científico “experimental”. Dessa forma, negligenciou a importância das teorias do Calor e a do processo holístico de construção histórico-epistemológica.

Além disso, a *asserção cognitiva* indica uma imprecisão em relação ao conceito e na *asserção de valor* não é estabelecida nenhuma relação axiológica.

Na Figura 19 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P3 na atividade referente ao texto “Como foi construído o conceito de Calor?”.

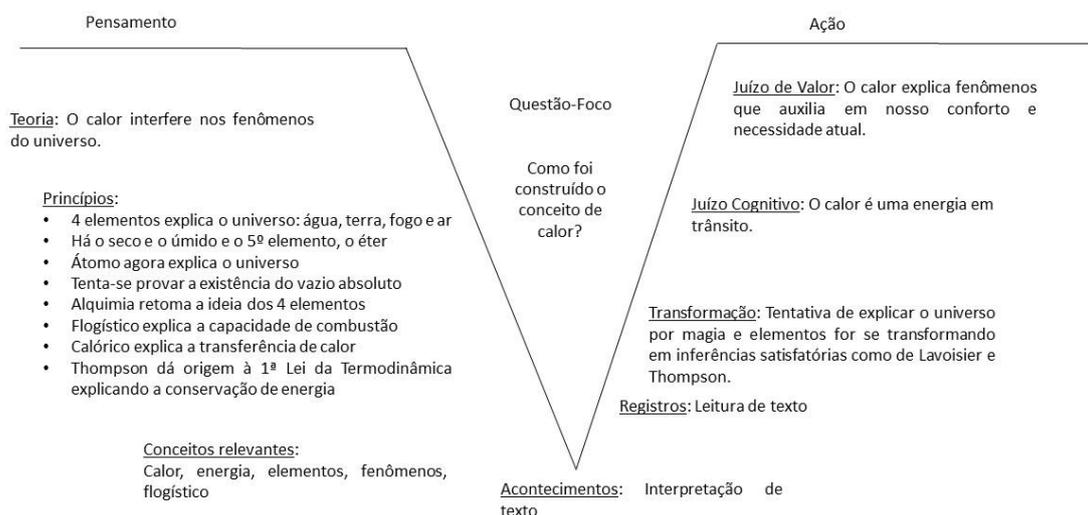


Figura 19 - Diagrama Vê construído pelo participante P3 durante a atividade 2.

A *teoria* que o participante P3 associou ao texto é que o Calor está presente em fenômenos no Universo, noção esta que pode ser inferida a partir das diferentes influências às quais o Calor foi associado durante as suas tentativas de explicação. O participante apresentou a construção histórico-epistemológica do conceito de Calor como base de seus *princípios*, diferenciando progressivamente e associando a cada estudo histórico desenvolvido uma de suas características base (Quatro Elementos, o éter como quinto Elemento, o flogístico e seu princípio combustível e o calórico e seu princípio fluido transferível), direcionando ao princípio da Primeira Lei. Cabe ressaltar que o participante associou o princípio da Primeira Lei a Thompson, e não a uma construção coletiva, indício este que permite inferir que a noção de História dos vencedores esteja incorporada em sua visão. As discussões para a desconstrução da História dos vencedores foram realizadas no texto da atividade 3 e no encontro presencial, posterior às leituras.

O participante também apresentou indícios de noção da construção histórico-epistemológica do conceito de Calor nas *transformações*, em que exprime que o

conceito apresentou uma mudança da perspectiva metafísica e da magia para uma inferência lógica proposta por Lavoisier e por Thompson, respondendo à *questão-foco* com o conceito de Calor consensualmente aceito na atualidade, como Energia em trânsito em seu *juízo cognitivo*. Novamente, os argumentos são baseados nos termos empregados na atividade, assim como na primeira. Além disso, o participante novamente apresentou imprecisão quando da *asserção de valores*, atribuindo um juízo de valor com características mais de conhecimento que de valor.

Na Figura 20 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P5 na atividade referente ao texto “Como foi construído o conceito de Calor?”.

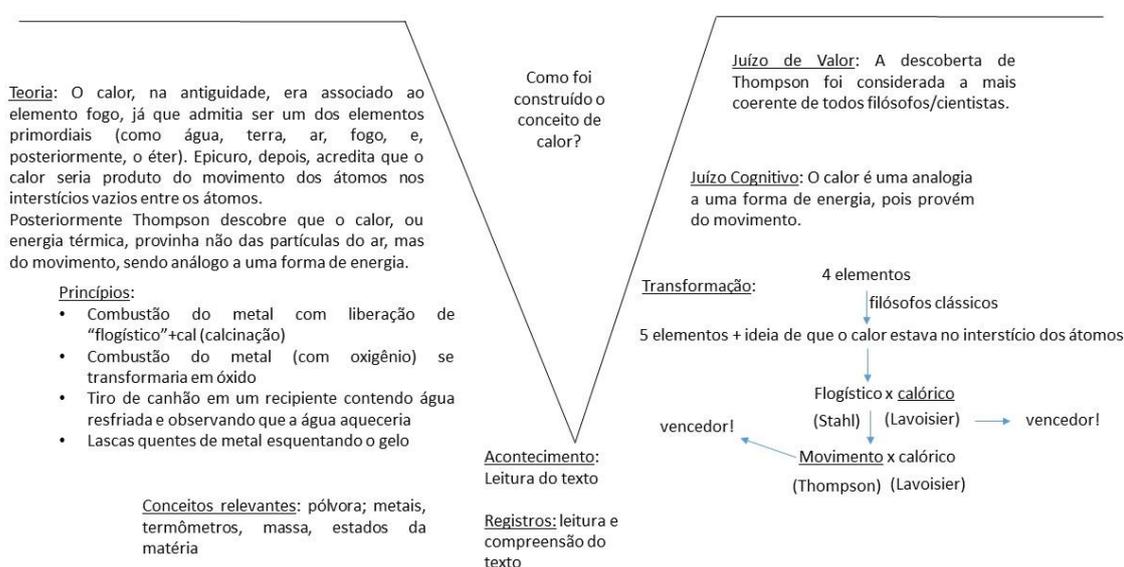


Figura 20 - Diagrama Vê construído pelo participante P5 durante a atividade 2.

O participante P5 atribuiu três *teorias* diferentes para o Calor: a primeira relacionada à ideia associada ao elemento Fogo, a segunda ao movimento dos átomos nos interstícios e a terceira ao experimento de Thompson. Os *princípios* indicados pelo participante correspondem a princípios das diferentes explicações que o conceito de Calor recebeu durante a sua evolução. Os conceitos relevantes registrados foram coerentes com a construção do Calor.

Novamente, a *transformação* organizada por P5 expressa a ideia do embate de teorias na construção de conceitos: apresenta, inicialmente, a ideia dos Quatro Elementos, a controvérsia entre flogístico e calórico e posteriormente entre calórico e a de energia em trânsito. Apesar de evidenciar “vencedores”, o participante não

omitiu que a Ciência é construída também pela mudança de teorias. O *juízo cognitivo* apresenta uma pequena imprecisão quando não menciona o caráter transitório do Calor, e é atribuído um *juízo de valor* intrínseco a Thompson.

### Atividade 3 – “A Conservação de Energia e a Primeira Lei da Termodinâmica”

Na Figura 21 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P2 na atividade referente ao texto “A Conservação de Energia e a Primeira Lei da Termodinâmica”

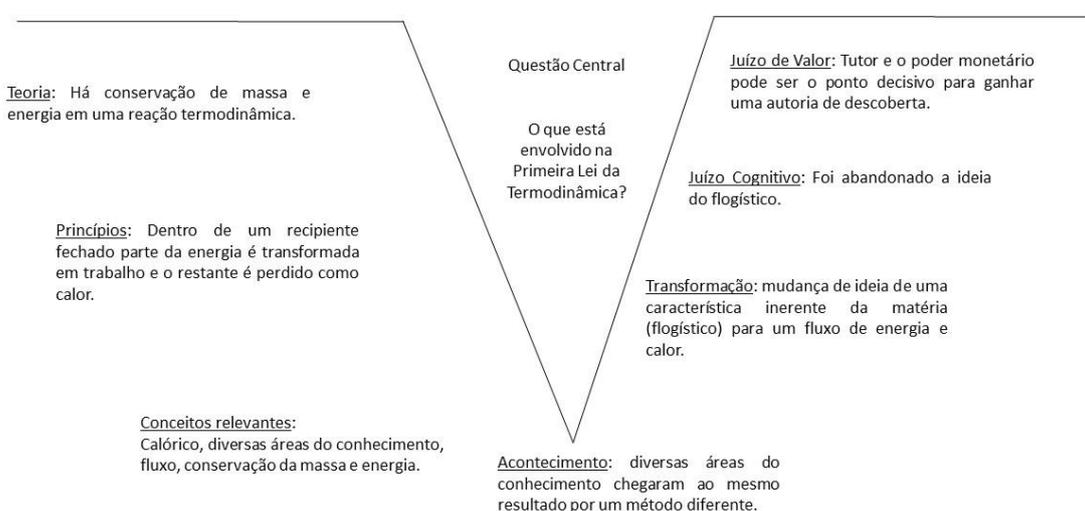


Figura 21 - Diagrama Vê construído pelo participante P2 durante a atividade 3.

O participante P2 apresentou a ideia central do texto na *teoria*, ou seja, a Conservação de Energia (e de Massa). O *princípio* também foi indicado de maneira imprecisa, porém os *conceitos relevantes* foram condizentes com a construção da Conservação de Energia, mas é necessário ter precaução com a ideia de fluxo. Bucussi (2006) orienta que se o calor é um processo de transferência de energia, enquanto processo ele não pode fluir. Deve-se, portanto, adotar a expressão fluxo de energia térmica, ou taxa de transferência de energia térmica para designar tal grandeza, ao invés do termo “fluxo de calor”.

P2 foi o único participante que associou um significado diferente aos *acontecimentos* nesta atividade: associou a Primeira Lei às “descobertas” simultâneas discutidas por Kuhn (1989). Também é um indício da ideia vinculada à

atividade *Tricky Tracks*, em que, a partir de diferentes observações, é possível se ter a mesma inferência. Na *transformação*, o participante apresentou indício de entendimento dinâmico da Ciência, em que registrou a mudança da ideia substancialista para a perspectiva Físico-Química. Novamente, é importante ressaltar que, apesar do participante apresentar a ideia de fluxo de energia, esse também expressa a noção imprecisa de fluxo de calor. A conclusão no *juízo cognitivo* foi específica à ideia do flogístico, não respondendo de maneira precisa a questão-foco.

Em relação ao *juízo de valor*, é interessante observar que há uma relação axiológica de decisão. Apesar de ser implícita, o participante expressiu que existem influências sociais e políticas na construção científica, a partir do prestígio e do poder.

Na Figura 22 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P3 na atividade referente ao texto “A Conservação de Energia e a Primeira Lei da Termodinâmica”

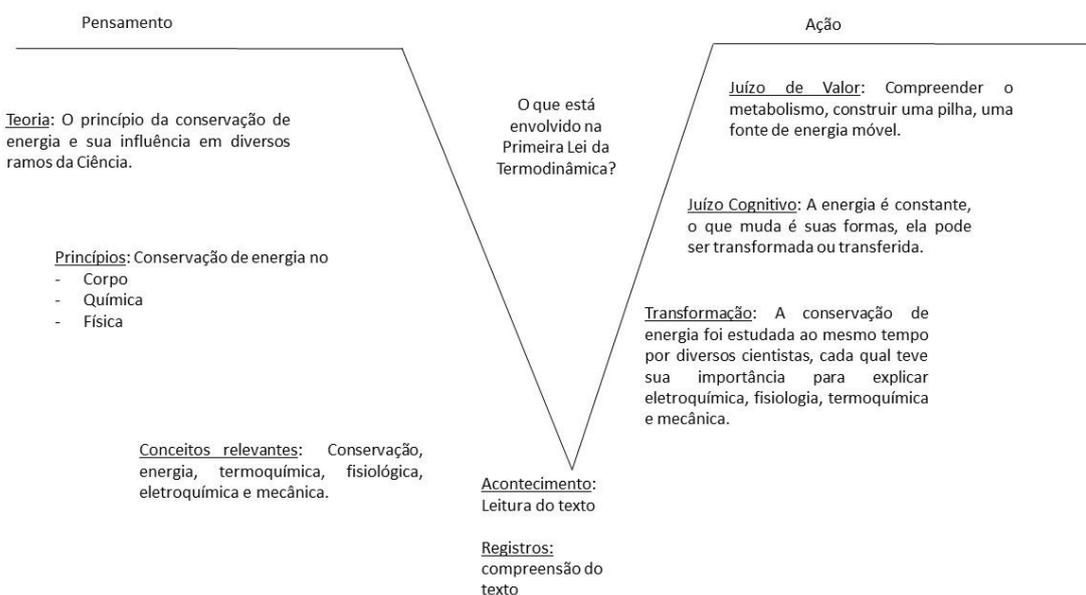


Figura 22 - Diagrama Vê construído pelo participante P3 durante a atividade 3.

O participante P3 iniciou a construção de seu terceiro diagrama atribuindo a Conservação da Energia e a influência na Ciência como *teoria* principal presente na atividade. É possível inferir que o participante entenda a Conservação de Energia como uma teoria, já que a Conservação é capaz de explicar os fenômenos, partindo

de casos particulares, até chegar a generalizações e explicar regularidades (BATISTA, SALVI e LUCAS, 2011). Segundo os autores, há uma relação direta e necessária entre os três componentes envolvidos no processo de teorização, a saber, a teoria, os modelos e os dados (mundo). As regularidades foram apresentadas no curso sob a forma de diferentes linhas de pesquisa, em que foi inferido a partir de todas que a Energia é conservativa, permitindo chegar à generalização da Primeira Lei. Tais linhas de pesquisa são identificadas pelo participante como *princípios* para a construção da Primeira Lei, associadas também a *conceitos* que o participante considerou relevante.

Nas *transformações*, as “descobertas” simultâneas discutidas por Kuhn (1989) estão presentes na construção do argumento do participante, permitindo inferir que o participante passou a apresentar indício de noção de que a Ciência é uma construção coletiva, ao invés de haver apenas um vencedor (MARTINS, 2005). A discussão já havia sido fomentada no encontro anterior, a partir da atividade de observação/inferência (*Tricky Tracks*), podendo ter fornecido recursos para a construção dessa ideia. No *juízo cognitivo*, o participante responde à *questão-foco* reconciliando o conceito de Energia discutido na primeira atividade com a sua propriedade de transformação e de transferência (sob as formas de Calor e de Trabalho), permitindo inferir que houve indícios de AS da Primeira Lei. Novamente, é possível observar e inferir que houve imprecisão do participante quando da *asserção de valor* referente ao texto lido para a atividade, não atribuindo nenhum valor.

Na Figura 23 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P5 na atividade referente ao texto “A Conservação de Energia e a Primeira Lei da Termodinâmica”

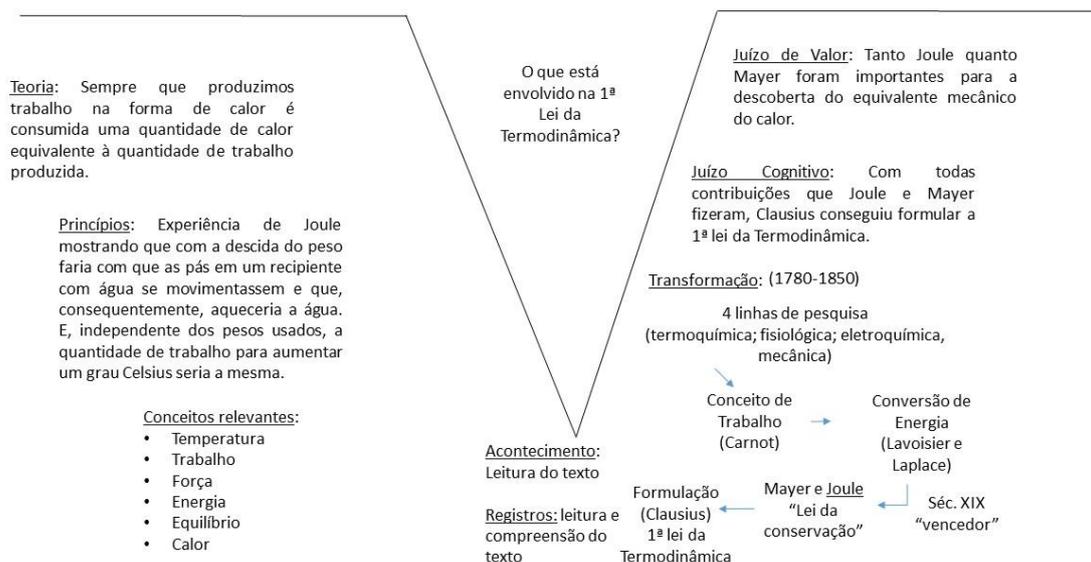


Figura 23 - Diagrama Vê construído pelo participante P5 durante a atividade 3.

A construção do diagrama se iniciou com a *teoria* relacionada à ideia de equivalência entre trabalho e calor, porém de maneira imprecisa. Porém, os *princípios* apresentados para a proposição do equivalente mecânico por Joule são coerentes, bem como os *conceitos relevantes* associados.

Novamente, o participante desenvolveu as *transformações* com base na construção histórico-epistemológica da lei, a partir das “descobertas simultâneas” de diferentes linhas de pesquisa, do embate entre Mayer e Joule, e que permitiram a formalização da lei por Clausius. O *juízo cognitivo* indicado pelo participante é condizente com o fluxograma desenvolvido nas transformações, além do juízo de valor, em que atribuiu a importância da proposição da Primeira Lei tanto para Mayer quanto para Joule.

A partir dos elementos do diagrama, é possível inferir que houve indícios de aprendizagem por parte de P5. Apesar de responder à *questão-foco* nas transformações, ao invés de fazê-lo no *juízo cognitivo*, o participante diferencia as linhas de pesquisa relacionadas à Primeira Lei, bem como identifica as contribuições de distintos pesquisadores. Além disso, reconcilia a ideia da Ciência como construção humana no seu *juízo de valor*, em que admite a importância de Joule e Mayer na proposição do equivalente mecânico, e não atribuindo a formalização somente ao vencedor.

Atividade 4 – “Entalpia e Entropia: como diferenciá-las?” conforme a leitura do participante P3

Na Figura 24 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P2 na atividade referente ao texto “Entalpia e Entropia: como diferenciá-las?”.

O participante atribuiu adequadamente a explicação para o conceito de Entropia no item *teoria*, mas demonstrou não ter aprendido o significado consensualmente aceito de Entalpia, expressando a ideia de calor.

O *princípio* indicado para a Entalpia foi o de conversão, ao invés de expressar que a construção se deu a partir da Termoquímica e da Conservação de Energia; já o *princípio* da irreversibilidade atribuído à Entropia é consensualmente aceito, assim como os *conceitos relevantes*.

O participante negligenciou o processo de *transformação* dos conceitos, mas indicou de maneira adequada que a “*Entalpia é um instrumento que possibilita o cálculo do calor envolvido em transformações isobáricas*” em seu *juízo cognitivo*. O participante não registrou um *juízo cognitivo* relacionado à Entropia.

O *juízo de valor* desenvolvido pelo participante não estabeleceu uma relação axiológica para os conceitos envolvidos na construção do diagrama

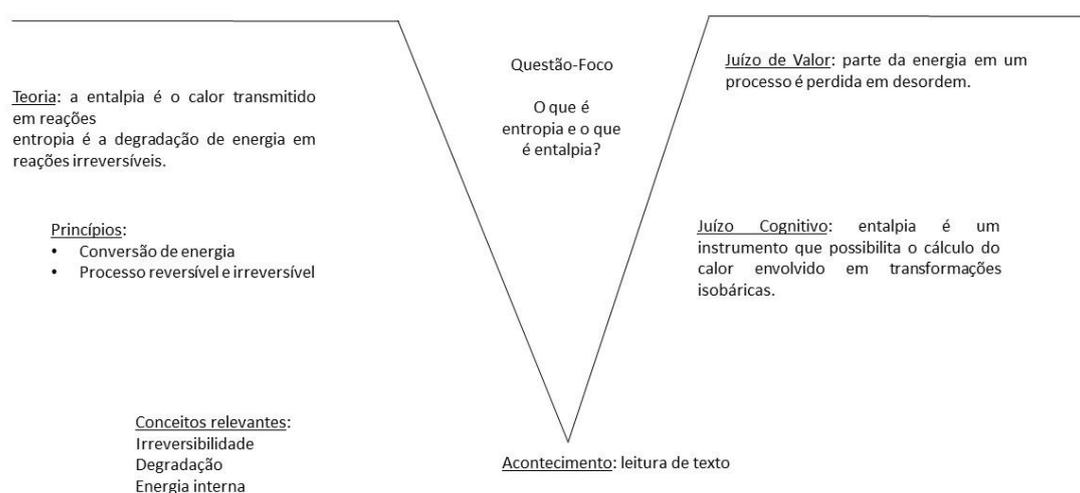


Figura 24 - Diagrama Vê construído pelo participante P2 durante a atividade 4.

Na Figura 25 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P3 na atividade referente ao texto “Entalpia e Entropia: como diferenciá-las?”

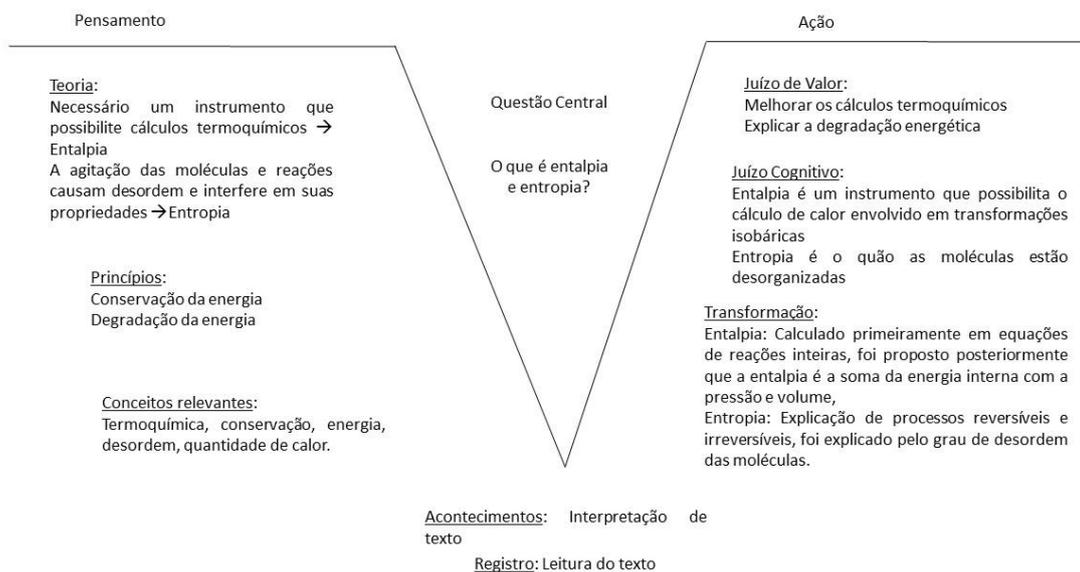


Figura 25 - Diagrama Vê construído pelo participante P3 durante a atividade 4.

O participante iniciou a construção do diagrama atribuindo a *teoria* envolvida em cada uma das funções termodinâmicas propostas: a Entalpia como um modelo matemático para possibilitar cálculos termoquímicos e a Entropia como uma medida da desordem resultante da agitação das moléculas. No entanto, após as discussões na atividade presencial, o participante complementou a sua ideia quando analisado o questionário posterior: se, até o momento da leitura a Entropia era associada puramente à desordem, após a construção coletiva do conceito o participante pode ter passado a compreender a Entropia como “a complexidade em relação a um sistema pela desordem de micro e macroestado”. Já em relação aos princípios, é possível inferir que o participante conseguiu identificar os *princípios* atribuídos a cada função: conservação da Energia (a Entalpia advém das ideias conservativas que caracterizam a Primeira Lei) e a degradação da Energia.

Nas *transformações* o participante relaciona a construção da Entalpia de maneira imprecisa com “reações inteiras”, mas, a seguir, relaciona a Entalpia como um postulado que relaciona a soma entre a Energia Interna e o produto Pressão e Volume, por meio da tradução da linguagem simbólica. Já ao conceito de Entropia o participante associa mais uma faceta (além da desordem já expressa), atribuída à

direcionalidade de um determinado processo, estabelecendo relação com a desordem anteriormente descrita. No *juízo cognitivo* o participante apresenta a diferenciação e expressa os dois conceitos conforme consenso científico atual, aprimorando a explicação da Entalpia (especificando a consideração de que a Entalpia tem seu domínio em transformações isobáricas).

Neste diagrama, o participante já foi capaz de relacionar *juízo de valor* às funções, concedendo-lhes valor intrínseco, por serem “melhores” para cálculos termodinâmicos.

Na Figura 26 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P2 na atividade referente ao texto “Entalpia e Entropia: como diferenciá-las?”

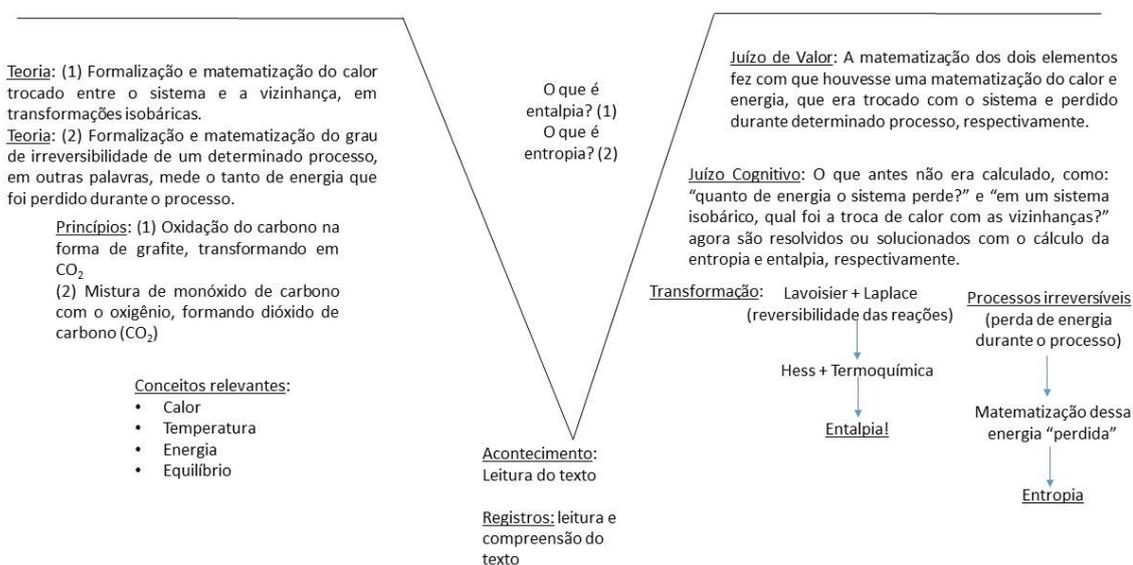


Figura 26 - Diagrama Vê construído pelo participante P5 durante a atividade 4.

Neste diagrama, o participante associa às *teorias* as duas explicações consensualmente aceitas para as respectivas grandezas: a Entalpia como a formalização e a matematização do calor trocado entre o sistema e a vizinhança em transformações isobáricas e a Entropia como a formalização e a matematização do grau de irreversibilidade de um processo. No entanto, há uma imprecisão quando o participante admite que a Entropia se refere à perda de energia, ao invés da perda da qualidade da energia (degradação).

Por sua vez, o participante expressou em seu questionário posterior que Entropia “seria o cálculo da degradação da energia útil de um determinado processo.

*Pode ser definido como sendo a interação e movimento de moléculas, átomos, íons, etc*". Dessa forma, é possível inferir que houve apropriação mais adequada do sentido da "perda de energia" compreendida pelo texto por parte de P5 após as discussões do curso, atribuindo o sentido de degradação.

Os *princípios* utilizados se caracterizam como exemplificações, porém os *conceitos relevantes* foram coerentes; novamente, o participante diferenciou as entidades em suas *transformações*, e as reconciliou no *juízo cognitivo* construído, em que as duas funções são admitidas como instrumentos de cálculo para a compreensão de fenômenos distintos (ainda que haja a imprecisão da perda de energia). No *juízo de valores* não foi identificada relação axiológica.

Atividade 5 – “O Ciclo de Carnot e o desenvolvimento da Segunda Lei da Termodinâmica” conforme a leitura do participante P3

Na Figura 27 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P2 na atividade referente ao texto “O Ciclo de Carnot e o desenvolvimento da Segunda Lei da Termodinâmica”.

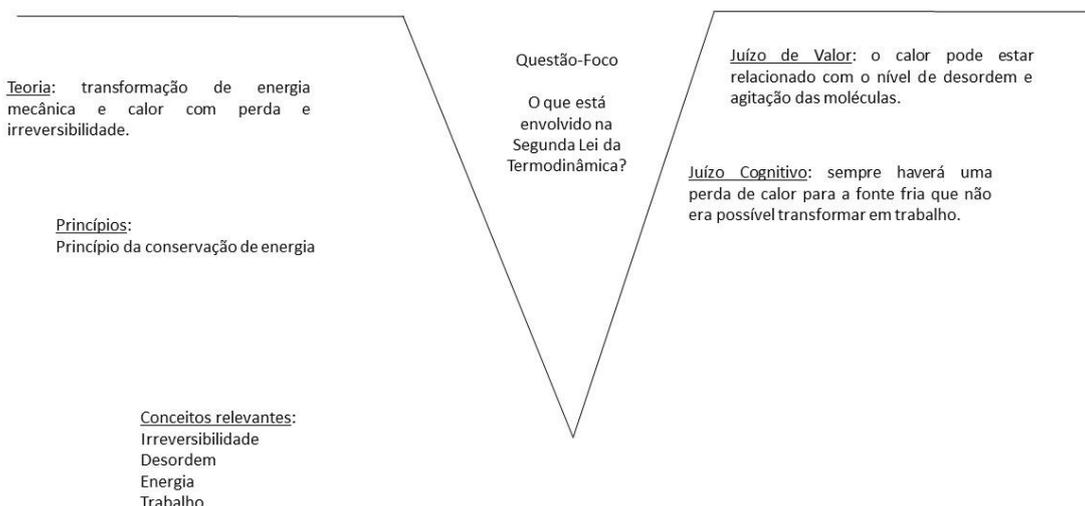


Figura 27 - Diagrama Vê construído pelo participante P2 durante a atividade 5.

O participante iniciou a construção associando a transformação da energia mecânica (sem especificar o trabalho, o que caracteriza uma imprecisão) em calor

com perda (novamente, com ausência de especificação) e irreversibilidade como *teoria*. No princípio admitido há uma divergência, uma vez que P2 confunde com o princípio da Primeira Lei. Os conceitos relevantes foram adequados.

Não houve a construção da *transformação* de teorias, conceitos e princípios que foram importantes na proposição da Segunda Lei, embora o participante tenha estabelecido o princípio da degradação da energia em seu *juízo cognitivo*. Novamente, P2 não expressou nenhuma relação axiológica em seu juízo de valor.

Na Figura 28 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P3 na atividade referente ao texto “O Ciclo de Carnot e o desenvolvimento da Segunda Lei da Termodinâmica”.

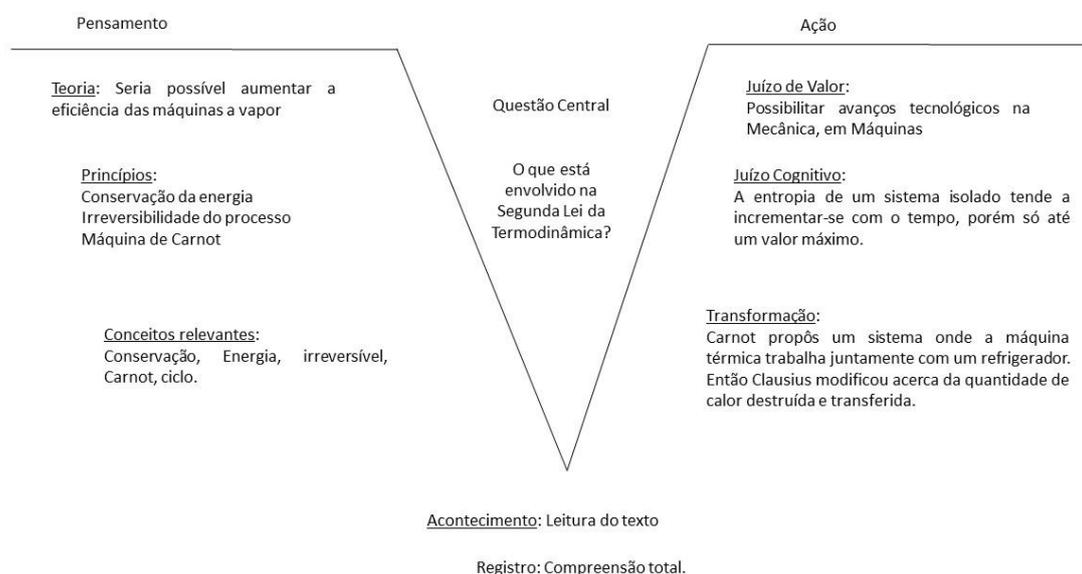


Figura 28 - Diagrama Vê construído pelo participante P3 durante a atividade 5.

O participante iniciou a construção de sua interpretação do texto associando como *teoria* o limite de eficiência da máquina de Carnot, associando como princípios os da Conservação de Energia e o da Irreversibilidade e o da máquina de Carnot. É interessante notar que nesta etapa o participante P3 conseguiu identificar princípios correlacionados da Segunda Lei segundo o consenso científico atual, ou seja, devido à degradação da Energia, o processo irreversível não atinge a máxima eficiência da máquina representada pelo ciclo de Carnot. Nas *transformações*, é possível inferir que o participante também apresentou uma ideia de complementariedade na explicação da Segunda Lei, explicando a máquina

reversível de Carnot e a ideia de Clausius que aprimorou a Segunda Lei, por meio da alteração de perspectiva do calórico para a perspectiva do Calor como Energia em trânsito.

No *juízo cognitivo*, o participante respondeu à questão-foco com outra faceta da ideia da Segunda Lei, ou seja, que a Entropia aumenta até atingir um valor máximo. Uma perspectiva para a continuidade das atividades seria a de introduzir um texto a respeito da Energia Livre de Gibbs, em que esta apresenta um valor mínimo quando a Entropia atinge seu valor máximo, atingindo, dessa forma, um estado de equilíbrio. Cabe ressaltar que o participante apresentou um indício de reconciliação do conceito de Entropia com sua importância no desenvolvimento da Segunda Lei, por meio de diferentes expressões das facetas dos conceitos. É interessante notar que, assim como no Vê anterior (atividade 4), o participante apresentou um *juízo de valor* para o texto e para a Segunda Lei, associando-os ao avanço que foi possibilitado pela proposição.

Na Figura 29 é apresentado o diagrama Vê construído pelo participante P5 na atividade referente ao texto “O Ciclo de Carnot e o desenvolvimento da Segunda Lei da Termodinâmica”.

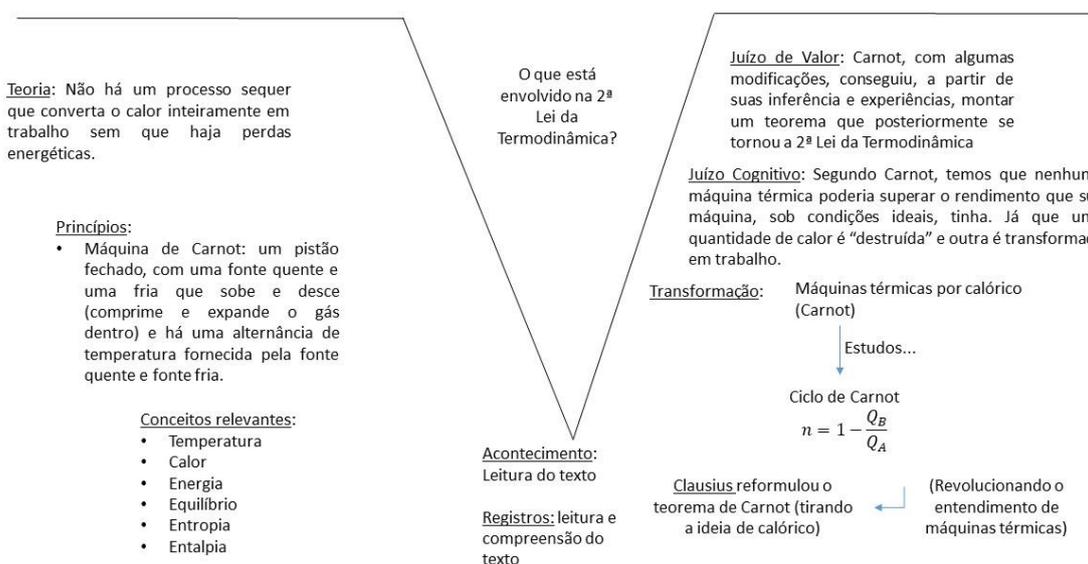


Figura 29 - Diagrama Vê construído pelo participante P5 durante a atividade 5.

O participante iniciou a expressão de seu entendimento do texto associando como *teoria* a impossibilidade de conversão integral entre calor e trabalho sem haver

perda (degradação) energética. Os *princípios* relacionados novamente se aproximam mais de uma descrição de fenômenos, todos associados à máquina de Carnot. Nas *transformações*, é possível inferir que o participante também apresentou uma ideia de complementariedade em seu fluxograma histórico-epistemológico, explicando a máquina reversível (inclusive com a respectiva expressão simbólica) de Carnot e a ideia de Clausius que aprimorou a Segunda Lei, por meio da alteração de perspectiva do calórico para a perspectiva do Calor como “energia em trânsito”.

No *juízo cognitivo*, o participante respondeu à *questão-foco* sob o mesmo viés, e também é possível inferir uma ideia de perda mais próxima à da degradação. Os indícios de aprendizagem podem ser inferidos a partir da comparação com a resposta no questionário posterior (“*A Segunda Lei da Termodinâmica diz que nenhum processo pode ter um rendimento maior que a máquina de Carnot. Todo processo tem um rendimento, energia transferida para o meio, um trabalho a ser "fornecido" ou "realizado"*”), que se assemelhou com o *juízo cognitivo*. O participante apresentou indício de reconciliação do conceito de Entropia com a importância no desenvolvimento da Segunda Lei, por meio da faceta da degradação. É interessante notar que, assim como no Vê anterior (atividade 4), o participante não apresentou um *juízo de valor* com características axiológicas.

A construção desses conhecimentos se desenvolveu com a implementação de textos com base histórica e epistemológica dos diferentes conceitos, representada por meio do Vê de Gowin. Em nenhum momento apropriou-se de livros didáticos prontos para construir com os alunos os conceitos em questão, bem como o uso do quadro de giz foi incipiente, recursos esses muito presentes e utilizados nas salas de aula em geral. Segundo Ausubel *et al.* (1980 p. 146-147) o uso de atividades que não sejam atividades realizadas tipicamente pelos alunos é uma forma de observar a AS. A construção de conceitos por meio de textos históricos e epistemológicos, bem como a utilização do Vê de Gowin, eram novos para os participantes do curso.

A análise dos Vês construídos durante as atividades desenvolvidas no decorrer da investigação permite inferir dedutivamente que o uso da História, da Filosofia e da Sociologia da Ciência causa alterações nas noções dos alunos, em especial, em relação à natureza do conhecimento científico. Os alunos que apresentavam, nos registros de conhecimentos prévios, visões deterministas e

mesmo simplistas de conceitos científicos passaram, após o trabalho com os textos históricos, a apresentar visões mais críticas do conhecimento científico.

É importante relatar que, tão importante quanto os Diagramas Vê construídos, foi o processo de construção do mesmo pelos alunos. Apesar de uma certa resistência, *a priori*, com as atividades de leitura, haja vista a maneira com que estão acostumados a estudar em seus cursos de Graduação, os participantes foram se mostrando mais dispostos a fomentar discussões, além de estarem motivados a aprender, princípio fundamental da AS.

### 6.2.9 – Análise da retenção dos conceitos após a abordagem

Após o período de dois meses e meio em relação ao fim do desenvolvimento da abordagem, os participantes P3, P4 e P9 foram entrevistados para investigar a estabilização de evoluções conceituais apresentadas no posterior, possíveis involuções ou resistência de noções alternativas. Os três participantes foram selecionados para a análise pois apresentaram mudanças significativas nos argumentos (subsunçores) e/ou alta frequência de respostas conforme consenso científico no questionário posterior.

No Quadro 37 são apresentadas as ideias expressas nos questionários prévio e posterior, além da entrevista estruturada, para o participante P3.

Quadro 37 - Comparação das respostas unitarizadas para os três diferentes momentos de investigação junto ao participante P3.

	<b>Prévio</b>	<b>Posterior</b>	<b>Entrevista</b>
<b>UR</b>	<b>1.2</b>	<b>1.3</b>	<b>1.1</b>
<b>1</b>	Ciência é todo o estudo que traz uma razão lógica para algo desconhecido, através de um método científico.	Ciência é tudo o que é aceito pela sociedade de forma lógica ou parcialmente lógica.	A Ciência é tudo o que explica o universo e seus elementos de forma a ser aprovada por uma comunidade.
<b>UR</b>	<b>2.5</b>	<b>2.1</b>	<b>2.4</b>
<b>2</b>	Sim. Pois uma relata questões as quais podemos observar direta ou indiretamente. A outra trabalha com questões humanas, criadas por nós, onde não vemos fisicamente	Sim. Uma trabalha com questões relacionadas ao universo e outra com relações humanas	Não, pois todos seguem a mesma ideia de explicar algo desconhecido, procura algo questionável, propõem uma ideia, a maioria aprova ou não, seja a comunidade científica ou popular.
<b>UR</b>	<b>3.4a</b>	<b>3.3a, 3.6a</b>	<b>3.3a</b>

<b>3a</b>	Pois toda teoria é relativa. O grau de conhecimento de uma sociedade é influenciada pela sua capacidade tecnológica e vice-versa.	Para aperfeiçoar, para explicar algo novo, para beneficiar os que dominam o poder.	As teorias mudam para se adequar às atualidades, influenciar em algo, explicar outra teoria, etc.
<b>UR</b>	<b>3.2b</b>	<b>3.2b</b>	<b>3.2b</b>
<b>3b</b>	Pois como nosso conhecimento em sociedade é o que nos limita, quanto mais estamos atualizados mais podemos progredir.	Pois é necessário conhecer o passado para entender o futuro. Como a construção da ideia do calor, com muitas teorias atuais produzidas com a ideia do calórico	Porque é necessário entender o passado para se entender o futuro, pois são dos erros antigos que se faz a Ciência, ainda que nada possa ser considerado como "verdade".
<b>UR</b>	<b>URE 4.5</b>	<b>4.1</b>	<b>4.1</b>
<b>4</b>	Por causa dos erros que podem ocorrer no método de captura de dados. Como foi dito, nossa tecnologia nos limita na busca de conhecimento e o conhecimento limita nossa tecnologia	Sim, pois a observação pode ser a mesma e ter diversas inferências, conforme a criatividade, tecnologia local, religião etc.	Pois para o mesmo conjunto de dados existem diversos caminhos para se explicar, alguns menos prováveis, outros nem tanto.
<b>UR</b>	<b>5.2</b>	<b>5.2</b>	<b>5.2</b>
<b>5</b>	Projeto e Planejamento. Essa fase muitas vezes é especulativa, pois temos uma base teórica possível, mas sem a certeza caracterizada. Logo especulamos, ou seja, imaginamos o desconhecido.	Para projeto e planejar, os cientistas seguem uma linha de pensamento que pode ainda não existir, isso é criatividade.	Projeto e planejamento, pois eles precisam imaginar o que poderia ser/acontecer para se iniciar as coletas, como, por exemplo: o que pode ter matado os dinossauros? Et's? Bomba atômica? Ou meteoro? Então a imaginação é mais viável.
<b>UR</b>	<b>6.6</b>	<b>6.1</b>	<b>6.1</b>
<b>6</b>	Guerras geram uma sociedade mais unida, a qual buscam a sobrevivência. Segue-se, então, regras rígidas, o que geral indivíduos rigorosos, tanto na busca do conhecimento quando em outras áreas humanas (habilidade com armas, eficiência no trabalho braçal, etc).	Reflete. Pois há sempre um interesse em novas descobertas, como a de Galileu pela Igreja.	Reflete, pois fatores que buscam poder, como influência, por exemplo, podem levar a manipulação de pesquisas, criando uma verdade manipulada, ou uma guerra em que a necessidade ativa nossos mecanismos de defesa, nossa capacidade de mudá-la.
<b>UR</b>	<b>7.2; 7.7</b>	<b>7.3</b>	<b>7.3</b>
<b>7</b>	A agitação de qualquer coisa, desde átomos quanto nós mesmos, filosoficamente falando.	A uma constância.	Conservação, muda suas formas, sem perdê-las.
<b>UR</b>	<b>8.5</b>	<b>8.5</b>	<b>8.5</b>
<b>8</b>	Transferência de energia de um corpo a outro.	Energia em trânsito.	Energia em movimento.
<b>UR</b>	<b>9.5</b>	<b>9.1</b>	<b>9.1</b>

9	Grau de agitação das moléculas externas.	A um instrumento necessário para calcular a quantidade de calor.	Uma grandeza criada para se calcular o calor.
UR	10.6	10.2	10.2
10	Grau de agitação das moléculas internas	A complexidade em relação a um sistema pela desordem de micro e macroestado	O grau de desordem, mas não só das moléculas, e sim devido a suas interações.
UR	11.6	11.1	11.1
11	Um corpo em contato com outro tende a entrar em equilíbrio.	Consiste em explicar a conservação de energia, transferida ou transformada $U(\text{energia interna})=Q(\text{quantidade de calor})-W(\text{trabalho})$ .	Conserva-se. $E=Q-W$ . A energia interna varia conforme a sua quantidade de calor e trabalho.
UR	12.5	12.2	12.2
12	Conservação da energia $U=Q-W$ , onde a energia resultante é a soma ou a subtração de todas as energias. $U$ =energia $Q$ =quant. De calor e $W$ =trabalho.	Ele diz que nenhuma máquina térmica tem eficiência de 100%, pois sempre há uma degradação da energia.	Diz que as máquinas térmicas não são 100% eficientes, e que a melhor máquina chega a 75%.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2017)

O participante P3 expressou, inicialmente, a ideia que a Ciência é conhecimento, ainda que houvesse a ideia positivista do *método científico*; no posterior, apresentou imprecisão no argumento, e na entrevista modificou o argumento para o consensualmente aceito, incorporando a ideia da corroboração pela comunidade científica. Pode-se inferir, então, que houve construção da NdC mesmo após o desenvolvimento das atividades da abordagem. Esse indício também pode ser observado na resposta da segunda questão. No entanto, o participante admitiu que não há diferença entre os conhecimentos na entrevista.

Na terceira questão, o participante atribuiu inicialmente a ideia da influência tecnológica na mudança de teorias, modificando seu argumento para “influências sociais, culturais e políticas” e “novas interpretações”, mantendo essa última noção na entrevista. É interessante observar que a partir da questão 3b até a questão 12, o participante apresentou registros coincidentes entre o questionário posterior e a entrevista.

Foi observado um registro em que houve involução (segunda questão), um registro em que houve alteração aprimorada do subsunçor (primeira questão) e outros onze registros em que houve estabilizações, o que permite inferir,

dedutivamente, que há indícios de conceitos retidos na estrutura cognitiva do participante no período considerado.

No Quadro 38 são apresentadas as ideias expressas nos questionários prévio e posterior, além da entrevista estruturada para o participante P4.

Quadro 38 - Comparação das respostas unitarizadas para os três diferentes momentos de investigação junto ao participante P4.

	<b>Prévio</b>	<b>Posterior</b>	<b>Entrevista</b>
<b>UR</b>	<b>1.2; 1.3</b>	<b>1.3</b>	<b>1.2</b>
<b>1</b>	Ciência é a busca de respostas para determinadas perguntas. Mais especificamente, respostas física, "visíveis", sendo as respostas obtidas por meio de estudos e práticas, em alguns casos.	Conjunto de fatos que respondem perguntas. E seus fatos devem ser corroborados para serem científicos.	Uma forma de conhecimento baseada em inferências e experiências que visa responder perguntas.
<b>UR</b>	<b>2.1</b>	<b>2.1</b>	<b>2.1</b>
<b>2</b>	Sim, apesar de todas serem formas de investigação, cada uma analisa um ramo de uma determinada forma. A ciência busca respostas físicas, visíveis, para os fatos. Enquanto a religião busca respostas no campo de seres extraordinários (metafísica) e a filosofia em campo mais psicológico.	Sim, a Ciência analisa fenômenos e analisa com conteúdo mais físico. Enquanto filosofia usa o psicológico e a religião o campo sobrenatural.	Sim, a maior diferença é no objeto de estudo, sendo a Ciência focada no campo físico e as outras citadas na metafísica.
<b>UR</b>	<b>3.4a</b>	<b>3.4a, 3.6a</b>	<b>3.4a</b>
<b>3a</b>	Algumas das mais conhecidas teorias foram desenvolvidas séculos atrás, com tecnologia limitada, dificuldade de obter informações. Com o avanço tecnológico muitas dessas teorias foram melhoradas. Considerando que estamos em constante evolução, muitas teorias que, para nós hoje é usual, daqui alguns anos pode ser adequada com mais detalhes. Um exemplo é Watt e a máquina a vapor.	Pela necessidade das pessoas em melhor utilidade. Um exemplo é a busca de maior rendimento de uma máquina e o avanço tecnológico contribui para a mudança de teorias. Assim como aspectos culturais e sociais. Avanço tecnológicos e o conhecimento de vida contribuem também para mudança das teorias	As teorias mudam porque o mundo muda, o avanço da tecnologia possibilita essas mudanças.
<b>UR</b>	<b>Sem resposta</b>	<b>Sem resposta.</b>	<b>3.2b</b>
<b>3b</b>			Devemos aprendê-las para melhor compreender o mundo.
<b>UR</b>	<b>4.2</b>	<b>4.1</b>	<b>4.1</b>

4	Em certos casos, por ser há muito tempo ou por falta de informação suficiente para uma resposta única e concreta, a ciência abre espaço para diferentes interpretações. Uma agrada certo grupo, já outro grupo acha mais convincente a outra.	Porque a ciência tem espaço para um mesmo caso estudado chegar em diferentes inferências.	Por se tratar de algo muito difícil de se estudar e chegar a uma conclusão exata e precisa (pela longa distância de tempo), cada grupo fez suas próprias inferências com o mesmo conjunto de dados, mas nenhum deles estava errado.
UR	5.2	5.1	5.1
5	A imaginação e criatividade podem ser aplicadas em vários estágios, o de maior exigência creio que seja na parte do projeto e planejamento, que é a parte de maior estudo onde você torna físico algo de sua imaginação.	De forma geral a criatividade e a imaginação são usadas em todas as etapas, principalmente no planejamento. Analisar um fato e tirar dele algumas inferências demonstra criatividade e imaginação.	Ciência e criatividade andam juntas e se complementam, a criatividade aguçada é um diferencial de um grande cientista, seja no planejamento, na coleta de dados ou após. Sem criatividade não existiria Ciência.
UR	6.5	6.1	6.1
6	Um pouco das duas. Usando a biologia/medicina como exemplo, o câncer é doença que afeta milhões no mundo inteiro e estudá-lo e buscar uma cura é de ajuda para todos. Já certas doenças como malária é um problema mais do norte do Brasil e seria mais útil aqui (no Brasil).	Sim, a Ciência reflete valores sociais. Muitos séculos atrás, quando a tecnologia era bem precária, acreditava-se na geração espontânea, que uma vida surgia espontaneamente de uma outra coisa. Por meio de experiências e com tecnologia mais avançada essa teoria foi derrubada.	Sim, a Ciência reflete valores sociais, políticos, filosóficos e culturais. Conforme as necessidades da cultura da época, a necessidade de avanços tecnológicos estimulava o uso da Ciência. Épocas de guerra, Revolução Industrial, Renascimento, cultural e com a mudança de épocas, e até mesmo de local (cultura) vemos mudança na Ciência.
UR	7.9	7.3	7.3; URE 7.11
7	Fluxo de elétrons, elétrons em movimento	Algo que se conserva e tem constância. E pode se transformar.	Algo que não pode ser criado e está diretamente ligado ao movimento.
UR	8.8	8.6	8.5
8	Grau de agitação das moléculas	Energia em trânsito. Começou sendo atribuído ao calor o fogo com relação aos 4 elementos, passou pelo éter, lacunas nas moléculas, máquina de Heron, pelo flogístico e pela inquisição no Renascimento, pelo conceito do calórico até chegar no conceito de energia em trânsito	Energia em movimento.
UR	9.4	9.1	9.1
9	Estudo da reação em questão, dizendo se o sistema é endotérmico ou exotérmico.	Método de calcular, quantificar o calor.	Representação matemática para calcular a variação de calor.

UR	Sem resposta	10.2	10.1
10		Grau de complexidade de um sistema causado pela alteração na quantidade dos microestados ou na energia.	Conceito usado para representar a desordem.
UR	11.4	11.2	11.2
11	A quantidade de calor no início do sistema é igual à do final.	Conservação da energia. Energia presente no início é igual a presente no final.	Conservação de energia.
UR	Sem resposta	12.2	12.2
12		Foi o estudo das máquinas térmicas buscando melhorar o desempenho, buscando a proximidade com a máquina ideal de Carnot que tinha 100% de rendimento.	Determina que em um ciclo é impossível termos 100% de rendimento, tendo perda de calor (irrecuperável) durante o processo termodinâmico.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2017)

O participante P4 expressou, inicialmente, a ideia que a *Ciência é conhecimento*, ainda que houvesse um fragmento polissêmico. Houve uma involução no questionário posterior, mas, na entrevista, o argumento de *Ciência como conhecimento* foi recuperado (inclusive com o termo “inferências”).

Na terceira questão, o participante expressou a importância de aprender teorias para compreender o mundo na entrevista, após dois momentos (prévio e posterior) de omissão. Houve um registro que indica uma redução conceitual, referente à questão 10, em que a Entropia foi relacionada à simples ideia de desordem, desconsiderando as interações. O participante também não expressou a construção histórico-epistemológica na questão 8 quando da entrevista.

Nas questões 2, 4, 5, 6, 7, 9, 11 e 12 o participante apresentou registros estáveis entre o questionário posterior e a entrevista, o que permite inferir que houve indícios de conceitos retidos no período analisado.

No Quadro 39 são apresentadas as ideias expressas nos questionários prévio e posterior, assim como a entrevista estruturada para o participante P9.

Quadro 39 - Comparação das respostas unitarizadas para os três diferentes momentos de investigação junto ao participante P9.

	<b>Prévio</b>	<b>Posterior</b>	<b>Entrevista</b>
<b>UR</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>	<b>1.2</b>
<b>1</b>	Na minha opinião o conceito de Ciência é a busca de respostas de diversas perguntas abrangendo área como exatas e ciências biológicas.	A Ciência visa encontrar respostas para perguntas seja de maneira metódica ou por meio de inferências. Ao contrário do que é normalmente proposto ela não é exata e indiscutível, é sempre passível de atualizações e novas teorias.	A Ciência é mistificada, com a ideia de ser totalmente imparcial e exata. Veja: há teorias científicas que não são de fato comprovadas empiricamente, porém são aceitas. Em resumo, para mim, a Ciência buscar responder diversos tipos de "porquês", mas sem ter que ser cirurgicamente exata.
<b>UR</b>	<b>2.3</b>	<b>2.5</b>	<b>2.4</b>
<b>2</b>	Acredito que sim, pois a ciência busca respostas através de experimentos e fatos empíricos no geral e suas constatações são tidas como únicas (até que se prova o contrário com uma segunda teoria). Diferente da filosofia, onde o conceito de verdade é extremamente relativo.	Em partes não. É claro que cada ciência possui as suas particularidades, o que propriamente as distingue entre si, entretanto, ambas partem de ideais não exatos, como as inferências, por exemplo.	Não. Tanto a Ciência como outros tipos de investigação buscam um mesmo fim: responder as perguntas humanas sendo que ambas as formas de estudo podem possuir seu viés empírico reproduzido categoricamente por experimentos ou mesmo serem baseados em hipótese.
<b>UR</b>	<b>3.4a</b>	<b>3.4a, 3.6a</b>	<b>3.4a; 3.6a</b>
<b>3a</b>	Eu acredito que, por às vezes estarem incompletas, as teorias possuem grande chance de serem alteradas. Como há diversos avanços tecnológicos com o passar dos anos, acredito que a Ciência evolua com os mesmos.	Pois a humanidade como um todo evolui em aspectos tecnológicos, de equipamentos e de ideais como um todo! E como somos nós que "fazemos ciência", a mesma evolui nos nossos passos.	Eu acredito que a humanidade passe diariamente por evoluções tanto nos aspectos tecnológicos quanto inteligíveis e esses fatos implicam em mudanças teóricas.
<b>UR</b>	<b>3.1b</b>	<b>3.2b</b>	<b>3.2b</b>
<b>3b</b>	Pelo fato de termos "necessidades de resposta" e principalmente como referencial de evolução tanto no aspecto educacional quanto no pessoal.	É importante aprender essas teorias pois pode ser que seja a partir delas que teremos, no futuro, embasamento para se criar uma nova	Quanto a "aprender teorias mutáveis" é algo necessário, pois para se alterar e otimizar uma teoria é necessário compreender suas bases.
<b>UR</b>	<b>4.1</b>	<b>4.1</b>	<b>4.1</b>
<b>4</b>	Porque um mesmo fato está aberto para diversas interpretações, e como cada pessoa é movida por suas convicções e experiências de vida, as interpretações tendem a ser distintas.	Pois todas as proposições partiram de inferências e as mesmas são influenciadas pela individualidade de cada pessoa, seja pelas experiências vividas ou pela criatividade.	As vivências pessoais, culturais e visão de mundo de cada pessoa interferem nas suas conclusões sobre um mesmo fato, sendo coerente, portanto, diferentes conclusões para uma mesma realidade.
<b>UR</b>	<b>5.2</b>	<b>5.1</b>	<b>5.1</b>

5	Projeto e planejamento. Podemos observar que as grandes leis da Física as quais temos como verdade hoje são resultados de experimentos simples (relativamente). Eu entendo que ao olhar um fato cotidiano razoavelmente simples e justificar a sua existência seguindo uma lógica de pensamento requer muita criatividade.	Durante todo o processo pois a criatividade, embora seja vista como não científica e um método sem muito respaldo ou crédito, é um meio pelo qual podemos fazer ciência.	Acredito que em todos os processos é requerido criatividade por parte do cientista, pois a realização de uma hipótese é algo complexo e passível de alterações.
UR	6.1	6.1	6.1
6	Eu acredito que a Ciência reflete os valores sociais e culturais de cada população. Um exemplo seria a não utilização de recombinação de DNA humano para fins científicos, atividade que poderia livrar as pessoas de doenças hereditárias e que, contudo, não é utilizado por não ser considerado ético.	A Ciência é sem dúvida induzida pela sociedade, como já discutido em dois exemplos conhecidos. Galileu com ideal de heliocentrismo (o qual foi banido pela igreja) e o mérito dado a Joule por uma teoria já proposta anteriormente por Mayer.	Acredito que existe a crença da Ciência universal, mas na realidade ela reflete uma série de valores culturais como, por exemplo, o mérito de algumas pesquisas que podem cair sobre pessoas com maiores influências.
UR	7.1	7.3	7.3; 7.6
7	É uma palavra que me remete à força aplicada para que se faça algum evento.	A energia de um modo geral é uma constante! A mesma não pode ser gerada nem destruída, é transferida (não perdida ou ganha).	Energia pode ser entendida como a realização do trabalho, sendo que a mesma é sempre conservada.
UR	8.8	8.5	8.5
8	Calor está intimamente ligado à temperatura e a conceitos relativistas como frio e quente.	O calor na verdade é descrito como uma energia em trânsito.	Acho que a melhor maneira de ser definir calor seja a ideia de energia em trânsito.
UR	9.5	9.1	9.1
9	A entrada ou saída de calor do meio analisado para a vizinhança.	Entalpia no meu ver pode ser entendida como uma "ferramenta" que quantifica a transferência de calor em uma reação.	A entalpia na realidade possui um caráter mais indicador, sendo ela um instrumento que possibilita calcular o calor.
UR	10.1	10.2	10.2
10	A "desordem" na qual um sistema se encontra, a qual pode ser "medida" (dS). Por exemplo, as mudanças de estado físico da água quando sólida, líquida e gasosa, que descrevem um movimento de maior e menor desordem das moléculas deste sistema.	A entropia pode ser vista agora como o aumento de microestados e interações. Um aumento da complexidade de um sistema.	A entropia não reflete apenas o "grau de desordem" de um meio. Ela, na realidade, diz respeito ao número de microestados, interferindo na complexidade.
UR	11.1	11.3	11.3

11	A Primeira Lei é entendida como a conservação de energia dentro de um sistema. Há a utilização de grandezas como temperatura, massa, volume específico, pressão, energia interna.	A primeira lei da termodinâmica traduz que de fato a energia é conservativa e que a mesma não é "ganhada" ou "perdida" por um sistema, mas sim transferida de diversas formas.	A Primeira Lei da Termodinâmica diz respeito à conservação da energia, no sentido de não ser criada nem destruída, mas sim transformada.
UR	12.1	12.2; 12.5	12.4
12	Ela está também relacionada com grandezas como volume específico, energia interna e entalpia, mas diferente da primeira lei, a segunda envolve a entropia.	A segunda lei é muito fundamentada nos ideais de máquina térmica de Carnot e no ideal de "calórico" (mesmo que não seja tão "certo".) Em resumo ela compreende que tendo dois corpos com temperaturas distintas, o corpo de maior temperatura TRANSFERE calor para o de menor temperatura (sendo esse o ciclo "normal"). O contrário só ocorreria com a injeção de trabalho no meio.	A Segunda Lei corresponde a ideia de que não há um processo que seja 100% eficiente, ou seja, que transforme totalmente calor em trabalho útil.

Fonte: Elaborado pelo próprio autor (2017)

Na questão 1, o participante P9 expressou nos três momentos a Ciência como conhecimento, porém, na entrevista, apresentou a argumentação sob a ótica mito da imparcialidade e da exatidão, demonstrando que a alteração do subsunçor em relação à NdC se manteve e foi incorporada à sua visão. Na segunda questão, P9 apresentou uma visão resistente, não apresentando diferenças metodológicas e/ou epistemológicas da Ciência em relação a outros corpos de conhecimento.

As mudanças do prévio para o posterior na terceira questão se mantiveram na entrevista. As respostas na quarta questão, que foram adequadas ao consenso científico atual em todas as etapas da investigação, também se mantiveram. Na quinta questão, houve uma alteração do subsunçor das noções prévias para a posterior à abordagem, que se mantiveram após o período de tempo analisado (associação da criatividade e da imaginação a todas as etapas da construção do conhecimento). A influência dos aspectos sociais, culturais e políticos foram observados por P9 nos três momentos, utilizando exemplificações diferentes e mantendo o argumento.

Em relação aos conceitos relacionados à Termodinâmica, P9 admitiu, na sétima questão, que Energia estava atrelada a uma relação de causa em seus

conhecimentos prévios; modificou o argumento para a constância, mas atribuiu, na entrevista, a ideia de trabalho e de conservação. Atrelar Energia à trabalho, conforme discutido anteriormente e de acordo com Hierrezuelo e Molina (1990), se trata de um reducionismo conceitual de Energia à Mecânica. Essa involução também caracterizou uma resistência conceitual, visto que se associa com o conhecimento prévio expresso.

Na oitava questão a mudança da noção prévia (Divergência conceitual entre Calor e temperatura) para a consensualmente adequada (Calor como Energia em trânsito) se manteve no período compreendido entre a abordagem e a entrevista. Na nona questão, a mesma observação da questão anterior: a mudança de um argumento conceitualmente divergente para o consenso científico, também estabilizado e retido no intervalo de tempo.

Na décima questão, P9 apresentou ampliação da perspectiva do conceito de Entropia (da desordem pura para a Termodinâmica Estatística) do prévio para o posterior, estabilizado e retido. Na décima primeira questão, o participante manteve o argumento do posterior para a entrevista, e não associou as grandezas à Primeira Lei. Na décima segunda questão, houve mudança de perspectiva em cada etapa, mas manteve argumentos condizentes com o consenso científico.

P9 apresentou registros estáveis em relação ao consenso científico em todas as questões (quando comparados questionário posterior e entrevista). Somente na questão dois o participante apresentou argumentos divergentes do consenso científico, mesmo após a abordagem e entrevista.

É possível observar a interação entre as ideias da IIR e as ideias ancoradas, sendo que o significado provém dessa interação. Além disso, pode-se inferir que durante o período de dois meses e meio entre a abordagem e a entrevista os novos conhecimentos permaneceram, em boa parte, ligados à estrutura cognitiva dos participantes.

Finalmente, foi questionado aos participantes da entrevista se eles consideravam a maneira em que haviam sido ensinados a Termodinâmica tradicionalmente diferente da abordagem constituída pela IIR.

P4 respondeu que havia muitas diferenças, pois

Atualmente, no curso de Engenharia, a Termodinâmica é apenas mais um curso repleto de números e fórmulas onde os alunos cada vez mais sabem menos da origem do conceito que estão estudando. Na disciplina específica, vemos um monte de tabelas, gráficos e de equipamentos; serpentina, por exemplo. Uma vez, eu estava usando uma tabela eletrônica

e tinha a palavra *superheated* (superaquecido) lá, mas eu não sabia nem o que era isso, só pegava de lá a informação e usava. Se todos esses conceitos fossem explorados junto com os cálculos termodinâmicos acho que ficaria bem mais fácil e claro de entender. Porque às vezes é bem vago e rápido a teoria. Essa construção de conceito é muito boa porque te dá segurança, parece. Você fica feliz em saber e chegar num consenso sobre o que é aquilo. Porque quando é só apresentado você só aceita (P4, 2017).

Por sua vez, P3 (2017) que “sim, pois os conceitos são apenas lançados sem questionamentos dos porquês. No curso de extensão, nos questionamos o tempo todo a filosofia por trás dos conceitos”, e P9 também apresentou percepção semelhante, admitindo que

Sim, pois na Termodinâmica tradicional a definição e o entendimento dos conceitos e procedimentos não são requisitados, visto que este curso visa a solução de equações e “respostas”, ao invés do entendimento teórico do que está acontecendo de maneira geral (P9, 2017).

A percepção dos participantes se aproximou da hipótese inicial desta investigação. Também há similaridade com o discurso da professora entrevistada por Nery e Maldaner (2011), que diz ensinar sem entender a construção conceitual, conforme citado anteriormente nesta pesquisa. Dessa forma, pode-se inferir que os participantes entenderam o propósito de uma abordagem diferenciada, pois os mesmos admitiram que existem diversos momentos em que é necessário buscar os fundamentos históricos e epistemológicos para os conceitos terem significado. Além disso, P4, ao admitir que “*fica feliz em saber e chegar em um consenso [...] porque te dá segurança*” expressa um dos princípios da AS em sua ideia: a motivação e a disposição para aprender, em um ambiente que seja confortável para tal.

A análise qualitativa dos três participantes entrevistados permite inferir de maneira dedutiva que o Ensino contextualizado, aliado a uma abordagem interdisciplinar com base na História e Filosofia da Ciência, pode promover a AS, a partir de enriquecimento dos conceitos integrados, favorecimento do pensamento criativo e da aprendizagem como construção do conhecimento.

## 7 – CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre as diversas possibilidades de investigação dentro da área interdisciplinar da Físico-Química, a Termodinâmica se caracteriza como um assunto com resistentes obstáculos no processo de Ensino e Aprendizagem. A investigação apresentada, que abrangeu desde o conceito inicial de Energia até os princípios da Segunda Lei da Termodinâmica, é inédita, uma vez que as pesquisas levantadas durante o processo de construção indicaram estudos de um único conceito ou Lei, de maneira pontual.

No entanto, apesar do desafio de tratar os conceitos de Energia, Calor, Entalpia, Entropia, Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica conjuntamente ser complexo, essa dinâmica propiciou articular de maneira recursiva as entidades, a fim de promover a aprendizagem significativa de futuros engenheiros.

A partir da hipótese que o Ensino tradicional prioriza a linguagem puramente simbólica, matematizada e fragmentada na Termodinâmica, o objetivo foi de desenvolver uma proposta didático-metodológica baseada em uma composição histórico-epistemológica que pudesse promover a aprendizagem significativa de conceitos e de Leis, além de sensibilizar futuros engenheiros em relação às noções da visão consensual de NdC. Com base nos pressupostos da teoria da AS, esta pesquisa avaliou prévia e posteriormente as noções dos futuros engenheiros, além da análise processual da aprendizagem por meio do Vê de Gowin.

Para atingir o objetivo, foi construída uma unidade didática com base nas etapas da IIR, em que elementos da NdC foram articulados recursivamente com construções conceituais interdisciplinares. A abordagem foi destinada a graduandos do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Cornélio Procópio que estavam cursando entre o terceiro e o quinto semestre da graduação. A pesquisa se desenvolveu em três encontros presenciais e atividades à distância mediadas pelo professor-pesquisador, totalizando 20 horas-aula de atividade, e teve a participação de onze futuros engenheiros em todas as atividades. Participantes foram entrevistados após dois meses e meio para análise de retenção das evoluções conceituais apresentadas após o curso.

É importante ressaltar que em três encontros, período de implementação da IIR, não há como falar em conclusão. Entretanto, pode-se falar em observações e

inferências a partir das análises feitas no decorrer da abordagem, interpretadas no metatexto e que se considera relevante citar aqui.

Nesse contexto, pode-se dizer que a problemática da pesquisa foi respondida durante o desenvolvimento da investigação.

- Como trabalhar epistemologicamente as bases científicas da Termodinâmica?

Para fundamentar a proposta, foi desenvolvido um trabalho de articulação dos princípios da AS, do Humanismo, da HFC, da NdC e da interdisciplinaridade. Os princípios articulados foram incorporados em uma IIR. A articulação das teorizações abordadas nesta investigação evidenciou indícios de aprendizagem significativa por parte dos futuros engenheiros a partir de conhecimentos advindos do senso comum, porém nem sempre completamente divergentes. Dessa maneira, não é necessário abandonar completamente um conceito presente na estrutura cognitiva, mas sim aperfeiçoá-lo com metodologias e materiais que sejam adequados.

- Como relacionar a Termodinâmica e a Química de maneira contextualizada, interdisciplinar e significativa?

A compreensão dos futuros engenheiros a respeito da articulação de conceitos e de Leis da Termodinâmica pôde ser viabilizada mediante uma unidade didática interdisciplinar para o desenvolvimento pessoal e social desses estudantes. Os conceitos aprendidos se mostraram estáveis após um período de tempo de dois meses e meio, por meio de uma análise qualitativa. Dessa forma, foi possível observar três etapas distintas no processo de construção de conceitos conforme a AS: a ancoragem seletiva do material às ideias relevantes na estrutura cognitiva, a interação entre as ideias recém-introduzidas e as ideias ancoradas, e a ligação dos novos conhecimentos com as ideias ancoradas no intervalo de memória.

A participação efetiva dos futuros engenheiros foi relevante em relação à aprendizagem do conceito, pois, com a sensibilização para a HFC, os estudantes se interessaram pelos conceitos, conferindo significado a suas noções. Nesse aspecto, a abordagem também foi contemplativa aos aspectos humanistas, promovendo um espaço de debate de ideias, de exposição de argumentos e empatia entre os participantes e o pesquisador.

- Como é possível construir uma abordagem que seja potencial para evidenciar indícios de aprendizagem nos educandos?

Como consequência, observou-se, nos diferentes instrumentos de tomada de dados, que os conhecimentos construídos pelos futuros engenheiros foram ampliados e contextualizados, possibilitando identificar a diferenciação progressiva de conceitos e reconciliação integrativa desses em princípios e Leis.

Os diagramas Vê contribuíram para a organização do conhecimento dos participantes a partir da compreensão dos textos propostos, evidenciando a potencialidade de materiais epistemologicamente coerentes na construção conceitual. Essa inferência pôde ser feita a partir da observação, em diversos casos, de similaridades entre os registros dos diagramas e do questionário posterior.

É importante ressaltar que os participantes, mesmo não acostumados com atividades de leitura e de um Ensino contextualizado, não apresentaram dificuldades em construir os diagramas, principalmente devido aos primeiros diagramas confeccionados coletivamente, a partir de exemplos mais fáceis.

Existem aprimoramentos que podem ser feitos à IIR proposta nessa investigação. Mesmo após a abordagem, houve uma considerável incidência de registros que não diferenciaram a Ciência de outras formas de conhecimento. Além disso, houve uma incidência alta de registros que associaram a criatividade e imaginação a algumas etapas do processo científico, em detrimento à presença em todas as etapas. A proposta seria a de incluir atividades em que haja a participação ativa dos educandos, como por exemplo, o *Tricky Tracks* que compôs a IIR.

Um desafio para próximas investigações e para a implementação em sala de aula é a adequação da proposta para a realidade do Ensino Superior atual. O “piloto” desenvolvido com onze participantes (pré-dispostos) pode ser adaptado para aulas práticas (que estão contempladas na carga horária do curso de Engenharia Mecânica da UTFPR-CP), em que algumas práticas laboratoriais podem ser substituídas por momentos de discussão e de construção coletiva de conceitos. Nas atividades de laboratório, a turma de 44 futuros engenheiros se divide em duas turmas de 22. Obviamente, é necessário desenvolver, paulatinamente, adequações à realidade cotidiana. Como esta abordagem contemplou a NdC e a Termodinâmica em um curso de extensão único, uma proposta seria a de apresentar elementos da NdC desde o início do semestre letivo (relacionando, por exemplo, à construção humana e mudanças de teorias na atomística), para que resistências e noções distorcidas sejam sensibilizadas e reconstruídas em um per

Um desdobramento deste trabalho é a investigação e abordagem epistemológica de colegas professores, seja de disciplina básica ou de disciplina específica, a respeito da natureza da Termodinâmica e de NdC. Da maneira que foi construída, a abordagem tem potencial de ser capaz de sensibilizar tanto professores da Educação Básica quanto professores do Ensino Superior, e pode ser oferecida como um curso de extensão em núcleos docentes, como proposta de formação em serviço. Para isso, seria interessante também incluir fundamentos de Saberes Docentes (como, por exemplo, a avaliação) para melhor preparar os professores na construção de conceitos junto aos estudantes de ambos os níveis de ensino, ao invés da mera apresentação desses.

Diante dos resultados, espera-se que o presente estudo contribua para o Ensino de Termodinâmica, para que essa não seja ensinada de maneira superficial como geralmente costuma ser. Por fim, valho-me, nestas últimas palavras, do uso da primeira pessoa, para admitir que, mais que um pesquisador, fui um aprendiz durante o desenvolvimento desta Tese de Doutorado: com um trabalho de investigação teórica e um trabalho de campo bastante intensos, pude, enfim, compreender a Natureza da Ciência e estabelecer relações com a Termodinâmica. Após mais de uma década, o emaranhado de fórmulas e equações passou a ter uma construção significativa para mim (e espero que para os sensacionais participantes da abordagem e para meus futuros alunos engenheiros). Afinal, mais do que professores, somos eternos aprendizes.

## REFERÊNCIAS

ABD-EL-KHALICK, F. **The influence of history of science courses on students' conceptions of the nature of science**. Oregon State University. Oregon. 1998.

\_\_\_\_\_. Examining the Sources for our Understandings about Science: Enduring confluences and critical issues in research on nature of science in science education. **International Journal of Science Education**, v. 34, n. 3, p. 353–374, 2012.

ABD-EL-KHALICK, F.; BOUJAOUDE, S. An exploratory study of the knowledge base for science teaching. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 34, n. 7, p. 673-699, 1997.

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. The influence of history of science course on students' view of nature of science., v. 37, n. 10, p. 1050-1095, 2000.

ADURIZ-BRAVO, A. **Como o estudo da filosofia da ciência atua na formação de professores e cientistas?**. TV Unesp. Publicada em 07/04/2015. Acessado em 21/10/2017 <http://www.tv.unesp.br/4080>

ALEGRO, R. C. **Conhecimento Prévio e Aprendizagem Significativa de conceitos históricos no ensino médio**. UNESP. [S.I.]. 2008.

ALOMÁ, E.; MALAVER, M. Análisis de los conceptos de energía, Calor, trabajo e el teorema de Carnot em textos universitarios de termodinâmica. **Enseñanza de las ciencias**, v. 25, n. 3, p. 387-400, 2007.

ALTERS, B. J. Whose nature of Science?, v. 34, n. 1, p. 39-55, 1997.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências. Belo Horizonte**. v.1 n.3 p. 1-16. 2001.

ARAMAN, E. M. D. O. **Uma proposta para o uso da História da Ciência para a aprendizagem de conceitos físicos nas séries iniciais do Ensino Fundamental**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática), Universidade Estadual de Londrina, Londrina. 2006.

ASTOLFI, J. P. Los obstáculos para el aprendizaje de conceptos en ciencias: la forma de franquearlos didácticamente. In: PALÁCIOS, C.; ANSOLEAGA, D.; AJO, A. **Diez años de investigación e innovación en enseñanza de las ciencias**. Madrid: CIDE, 1993.

\_\_\_\_\_. El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 12, n. 2, p. 206-216, 1994.

AULER, D.; DELIZOICOV, D. Alfabetização Científico-Tecnológica para quê? **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 3, n. 2, p. 17-29, jun 2001.

AURANI, K. M. **Ensino de conceitos: estudo das origens da 2ª lei da termodinâmica e do conceito de entropia a partir do século XVIII**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1986.

AUSUBEL, D. P. **Aquisição e Retenção de conhecimentos**: uma perspectiva cognitiva. New York: Platano, 2003.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia Educacional**. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

BACHELARD, G. **A formação do espírito científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BARBARINI, A. T. **Clausius, Rudolf (1822-1888)**. UNICAMP. Campinas. 2017.

BARNETT, M. K. The development of the concept of heat. **The Scientific Monthly**, New York, v. 65, n. 2, p. 165-172, 1946.

\_\_\_\_\_. The development of thermometry and the temperature concept. **Osiris**, New York, v. 12, p. 269-341, 1965.

BARROS, M. A.; CARVALHO, A. M. P. A história da ciência iluminando o ensino de visão. **Ciência & Educação**, v. 5, n. 1, p. 83-94, 1998.

BATISTA, I. L.; SALVI, R. F. Perspectiva Pós-moderna e Interdisciplinaridade Educativa: Pensamento Complexo e Reconciliação Integrativa. **Revista Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 8, n. 2, p. 147-159, 2006.

BATISTA, I. L. **A teoria universal de Fermi: da sua formulação inicial à reformulação**. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 122. 1999.

BATISTA, I. L. O Ensino de Teorias Físicas Mediante uma Estrutura Histórico-Filosófica. **Ciência e Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 461-476, 2004.

BATISTA, I. L. Reconstruções histórico-filosóficas e a pesquisa interdisciplinar em Educação Científica e Matemática. In: BATISTA, I. L.; SALVI, R. F. (Org.). **Pós-graduação em ensino de ciências e educação matemática: perfil de pesquisas**. Londrina: EDUEL, 2009, p.167-181.

BATISTA, I. L. Uma adoção da História e Filosofia da Ciência no desenvolvimento de saberes docentes interdisciplinares. In: BATISTA, Irinéa de Lourdes (Org.). **Conhecimentos e Saberes na Educação em Ciências e Matemática**. Editora UEL, Londrina-Pr, p.157-167, 2016.

BATISTA, I. L.; SALVI, R. F.; LUCAS, L. B. **Modelos Científicos e suas relações com a Epistemologia da Ciência e a Educação Científica**. Atas do ENPEC. Campinas: [s.n.]. 2011.

BATISTA, R. P.; MOHR, A.; FERRARI, N. **Análise da história da ciência em livros didáticos do Ensino Fundamental em Santa Catarina**. ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS. Florianópolis: ABRAPEC. 2007.

BEJAN, A. **Advanced Engineering Thermodynamics**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 1988. 1-41 p.

BEKTAS, O.; EKIZ, B.; TUYSUZ, M.; KUTUCU, E. S.; TARKIN, A.; UZUNTIRYAKI-KONDAKCI, E. Pre-service chemistry teachers pedagogical content knowledge of the nature

of science in the particle nature of matter. **Chemistry Education Research and Practice**, v. 14, p. 201-213, 2013.

BEN-ZVI, R., EYLON, B., SILBERSTEIN, J. Students' visualisation of chemical reaction. **Educational in Chemistry**, 24(4), 117-120, 1987.

BEVILACQUA, F.; BORDONI, S. New contents for new media: Pavia project physics. **Science and Education**, v. 7, p. 451-469, 1998.

BLISS, J.; OGBORN, J. Children's choices of uses of energy. **European Journal of Science Education**, v. 7, n. 2, p. 195-203.

BLOOR, D. **Conhecimento e imaginário social**. São Paulo: EDUNESP, 2009.

BOGDAN, R. C.; BIKLEN, A. K. **Qualitative research for education: an introduction to theory and methods**. 2. ed. Boston: Allyn & Bacon, 1994.

BOMFIM, J. M.; REIS, J. C. **Máquinas Térmicas no cinema: Uma proposta para abordar a HFC e a NdC no ensino básico**. X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. Águas de Lindóia, SP: Atas do X Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências. 2015.

BOMFIM, J. M.; REIS, J. C.; GUERRA, A.. Problematizando a ideia de gênios isolados: Mayer e Joule no episódio da conservação da energia. **Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología**, v. extra, p. 1075-1081, 2016.

BOO, H. K. Students' understandings of chemical bonds and the energetics of chemical reactions. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 35, p. 569-581, 1998.

BOREL, 1. **Thermodynamique et Energétique**. 3. ed. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1991.

BRAIBANTE, M. E. F.; PAZINATO, M. S. O Ensino de Química através de temáticas: contribuições do LAEQUI para a área. **Revista Ciência e Natura**, v. 36, n. Especial II, p. 819-826, 2014.

BRANDRIET, A. R.; WARD, R. M.; BRETZ, S. L. Modeling Meaningful Learning in Chemistry using Structural Equation Modeling. **Chemistry Education and Practice**, v. 14, n. 4, p. 421-430, 2013.

BRANDRIET, A. R.; WARD, R. M.; BRETZ, S. L. Modeling meaningful learning in chemistry using structural equation modeling. **Chemical Education Research and Practice**, v. 14, p. 421-430, 2013.

BRASIL. **Orientações curriculares para o ensino médio: ciências da natureza, matemática e suas tecnologias**. Ministério da Educação. Brasília. 2006.

BRASIL. **Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional**. 6. ed. Brasília: Câmara dos Deputados, 2011.

BROSSEAU, G. **Os obstáculos epistemológicos e os problemas em matemática**. [S.l.]. 1976.

BROSSEAU, G. Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. Recherches en Didactique des Mathématiques. In: ALMOULOU, S. **Fundamentos da Didática da Matemática**. Curitiba: Editora UFPR, 2007.

BROWN, S. Count Rumford and the caloric theory of heat. **Proceedings of the American Philosophical Society**, Philadelphia, v. 93, n. 4, p. 316-325, 1949.

BROWN, S. The caloric theory of heat. **American Journal of Physics**, College Park, v. 19, p. 367-373, 1951.

BRUHAT, G. **Thermodynamique**. [S.l.]: Masson & Cie, 1968. 37-75 p.

BRUSH, S. G. Why chemistry needs history - and how it can get some. **Journal of College Science Teaching**, v. 7, p. 288-291, 1978.

BUCUSSI, A. A. **Introdução ao Conceito de Energia**. (Texto de Apoio ao Professor de Física, v.17, n.3), Porto Alegre: Instituto de Física da UFRGS, 2006.

CACHAPUZ, A.; GIL-PÉREZ, D.; CARVALHO, A. M. P.; PRAIA, J.; VILCHES, A. A **necessária renovação do Ensino das Ciências**. 3.ed. São Paulo: Cortez, 2011.

CAGGY, R. C. D. S. S.; FISCHER, T. M. D. Interdisciplinaridade Revisitada: Analisando a Prática Interdisciplinar em uma Faculdade de Administração na Bahia. **Administração: Ensino e Pesquisa**, v. 15, n. 3, jul/ago/set 2014.

CALENDAR, H. L. The nature of heat. **Science**, New York, v. 36, n. 924, p. 321-336, 1912.

CAMPANARIO, J. M.; OTERO, J. M. ¿ás allá de las ideas previas como dificultades de aprendizaje: las pautas de pensamiento. **Enseñanza de las Ciencias**, 18, n. 2, 2000.

CANDEL, A. R.; SATOCA, J. V.; SOLER, J. B. L. Interpretación errónea del concepto de entropía (revisión del concepto de orden). **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 15, n. 2, p. 198-201, jun. 1984.

CANEVA, K. L. **Robert Mayer and the Conservation of Energy**. Princeton: Princeton University Press, 1993.

CARDILLO, P. A history of thermochemistry through the tribulations of its devotees. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, 7, n. 72, 2003.

CARLETTO, M. R.; PINHEIRO, N. A. M. Subsídios para uma prática pedagógica transformadora: contribuições do enfoque CTS. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 13, n. 3, p. 507-525, 2010.

CARNOT, N. L. S. **Réflexions Sur la Puissance Motrice du Feu et Sur les Machines Propres a Développer Cette Puissance**. Paris: Chez Bachelier, 1824.

CARRILHO, A. Desenvolvimento Curricular. In: \_\_\_\_\_ **O Currículo como domínio**. 8. ed. Lisboa: [s.n.], 1999.

CARVALHO, A. M. P.; VANNUCHI, A. I. O currículo de Física: inovações e tendências nos anos noventa. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, 1, n. 1, 1996. 3-19.

- CASTI, J. **Would Be World**. New York: John Wiley and Sons, 1997.
- CASTORIADIS, C. **As encruzilhadas do labirinto**. 2a. ed. Tradução C. S. Guedes & R. M. Boaventura. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1997. v. 1.
- CASTRO, C. A. **Da Interdisciplinaridade hipotética de um currículo a um currículo interdisciplinarmente materializado**. 30ª Reunião Anual da Anped. [S.l.]: [s.n.]. 2007.
- CAVALLO, A. Experiencing the nature of science: An interactive, beginning-of-semester activity. **Journal of College Science Teaching**, v. 37, n. 5, p. 12-15, 2008.
- CHAGAS, A. P. Mémoire sur la chaleur' de Lavoisier e Laplace e os inícios da Termodinâmica Química. **Química Nova (Impresso)**, v. 15, p. 269, 1992.
- CHALMERS, A. F. **O que é Ciência, afinal?** São Paulo: Editora Brasiliense, 2007.
- CHAN, J. Y. K.; BAUER, C. F. Identifying at-risk students in general chemistry via cluster analysis of affective characteristics. **Journal of Chemical Education**, 91, 2014. 1417-1425.
- CHASSOT, A. I. **Catalisando transformações na educação**. Ijuí: Unijuí, 1993.
- CHEVALLARD, Y. **La Transposición Didáctica: del saber sabio al saber enseñado** (Traducción: Claudia Gilman). [S.l.]: AIQUE, 1991. 196 p.
- CHI, M.T.H. Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In: R. Giere (Ed.). **Cognitive models of Science: Minnesota Studies in the philosophy of Science**. Minnesota: University of Minnesota Press, 1992.
- CLAGETT, M. **The Science of Mechanics in the Middle Ages**. Madison: University of Wisconsin Press, 1959. 477 p.
- CLAUSIUS, R. On the application of the Theorem of the equivalence of transformations to the internal work of a mass of matter. **Philosophical Magazine**, v. 24, n. 4, p. 81-97, 1862.
- CLAUSIUS, R. Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie". **Annalen der Physik und Chemie**, v. 125, p. 353-400, 1865.
- CNRS. **Table Ronde du Centre National de la Recherche Scientifique: Sadi Carnot et l'Essor de la Thermodynamique**. École Polytechnique. [S.l.]: Éditions du CNRS. 1976.
- COELHO, R. L. On the concept of energy: how understanding its history can improve physics teaching. **Science & Education**, v. 18, p. 961-983, 2009.
- \_\_\_\_\_. On the concept of energy: conservation and transformation versus equivalence. **Review of Science, Mathematics and ICT Education**, v. 6, n. 1, p. 7-19, 2012.
- COHEN, M. R.; DRABKIN, I. E. **A source book in Greek science**. Cambridge: Harvard University Press, 1958.

COSTA BEBER, L. C.; KOGLER, J. T. S.; FRISON, M. D. O ensino e a formação escolar: algumas implicações de modelos de ensino vivenciados em processos educativos. **Revista da SBENBIO.**, v. 5, n. 7, 2014.

CUDMANI, L.C; SANDOVAL, J. S. Historia y Epistemologia de las Ciencias: ¿es importante la epistemología de las ciencias en la formación de investigadores y de profesores en física? **Enseñanza de las Ciencias**, v.22, n.3, p. 455-462, 2004.

DALGETY, J.; COLL, R. K.; JONES, A. Development of chemistry attitudes and experiences questionnaire (CAEQ). **Journal of Research in Science Teaching**, 2003. 649-668.

DAMASIO, F. et al. **Mapas Conceituais e Diagramas V como Ferramentas para a autoavaliação na formação de professores de Física**. IV ENCONTRO ESTADUAL DE ENSINO DE FÍSICA. Porto Alegre: [s.n.]. 2011. p. 47-58.

DANIELS, F. **Outlines of physical chemistry**. New York: John Wiley and Sons, 1948.

DAVIDOV, V. **La enseñanza escolar y el desarrollo psíquico**: investigación psicológica teórica y experimental. Moscou: Editorial Progreso, 1988.

DE VOS, W., e VERDONK, A. H. (1986). A new road to reaction - Part III. **Journal of Chemical Education**, 63(11), 972-974.

DIAS, R. A.; MATTOS, C. R. D.; BALESTIERI, J. A. P. **O paradigma do ensino da Segunda Lei da Termodinâmica**. Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. Rio de Janeiro: Proceedings of the 10th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. 2004. p. 1-10.

DIAS SOBRINHO, J. Avaliação ética e política em função da educação como direito público ou como mercadoria? **Educação & Sociedade**, Campinas, v. 25, n. 88, p. 703-725, out. 2004

D'LAMBERT. **Traité de Dynamique**. Paris: [s.n.], 1743.

DOMÉNECH, J., PÉREZ, D., MARTI, A., ARANZABAL, J., TORREGROSA, J., SALINAS, J., TRUMPER, R., e VALDÉS, P. La enseñanza de la energía: una propuesta de debate para un replanteamiento global. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 20, n. 3, p. 285-311, dez. 2003

DRIVER, R.; LEACH, J.; MILLAR, R., e SCOTT, P. **Young people's images of science**. Buckingham: Open University Press, 1996.

DRIVER, R.; WARRINGTON, L. **Students' use of the principle of energy conservation in problem situations**. **Physics Education**, London, v. 20, n. 4, p.171-176, Jul. 1985.

DUGAS, R. **A History of Mechanics (Transl. by J. R. Maddox)**. New York: Switzerland and Central Book Company, 1953.

DUGDALE, J. S. **Entropy and its Physical Meaning**. [S.I.]: Taylor & Francia, 1996.

DUHEM, P. **Les Origines de la Statique**. Paris: [s.n.], v. 1, 1905. 177 p.

DUIT, R. On the role of analogies and metaphors in learning science. **Science Education**, 75, 1991. 649-672.

ENCYCLOPÆDIA BRITANNICA, **Encyclopædia Britannica**, Disponível em <https://www.britannica.com/technology/aeolipile>>, acesso em 30 de março de 2017.

EL HANI, C. N.; TAVARES, E. J. M. P.; ROCHA, L. B. Concepções epistemológicas de estudantes de biologia e sua transformação por uma proposta explícita de ensino sobre História e Filosofia das Ciências. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 9, n. 3, p. 265-313, 2004.

ERDURAN, S.; SCERRI, E. The nature of chemical knowledge and chemical education. In: GILBERT, J. K., et al. **Chemical education: Towards research-based practice**. Dodrecht: Kluwer, 2002.

FARIAS, T.; SIMÕES, B. S.; TRINDADE, E. C. A. Tentativa de Superar Obstáculos de Aprendizagem. **Alexandria Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, v. 6, n. 3, p. 121-150, 2013.

FAZENDA, I. C. **A Integração e interdisciplinaridade no ensino brasileiro: efetividade ou ideologia?** São Paulo: Loyola, 1992.

FAZENDA, I. C. **Interdisciplinaridade: história, teoria e pesquisa**. 4. ed. Campinas: Papirus, 1994.

FAZENDA, I.C; GODOY, H. P. **Pensar, pesquisar e interagir**. São Paulo : Cortez Editora, 2014.

FERMI, E. **Thermodynamics**. New York: Dover Publications, 1937.

FERREIRA, J. P. M. Como interpretar a entropia? **Boletim Química SPQ**, v. 96, p. 38-42, 2005.

FERREIRA, M. M. . Gender issues related to graduate student attrition in two science departments. **International Journal of Science Education**, v. 25, n. 8, p. 969-989, 2005.

FEYERABEND, P. **Contra o Método**. São Paulo: Editoria Unesp, 2011.

FEYNMAN, R. P. **12 lições de física**. Rio de Janeiro, Ediouro, 2009.

FILGUEIRAS, C. A. L. A revolução química de Lavoisier: uma verdadeira revolução? **Química Nova**, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 219-224, 1995.

FILHO, O. M. S. **Evolução da idéia de conservação de energia: um exemplo de história da ciência no ensino de física**. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências. Instituto de Física, Faculdade de Educação, USP, São Paulo, 1987.

FIRME, R. N.; AMARAL, E. M. R. Concepções de Professores de Química sobre Ciência, Tecnologia, Sociedade e suas inter-relações: um estudo preliminar para o desenvolvimento de abordagens CTS em sala de aula. **Ciência & Educação**, v.14, n.2, p.251-169, 2008.

FORATO, T. C. M. **A Natureza da Ciência como Saber Escolar: um estudo de caso a partir da história da luz**. Tese de Doutorado. USP. São Paulo, p. 442. 2006.

FOUREZ, G. Qu'entendre par 'îlot de rationalité' et par 'îlot interdisciplinaire de rationalité, 1997. Disponível em: <<http://ife.enslyon.fr/publications/editionelectronique/aster/RA025-10.pdf>>. Acesso em: 25 janeiro 2017.

\_\_\_\_\_. **Pour une interdisciplinarité concrète et rigoureuse.** Conférence sur l'interdisciplinarité pour des infirmiers. [S.l.]: [s.n.]. 1998.

\_\_\_\_\_. Se représenter et mettre en oeuvre l'interdisciplinarité à l'école. In **Revue des sciences de l'éducation**, 1998. Disponível em: <<http://www.fundp.ac.be/institution/autser/interfaces/publications/gerard/txt/GF970618%20interdisc%20Lenoir.pdf>>. Acesso em: 31 janeiro 2017.

\_\_\_\_\_. Interdisciplinarité et îlots de rationalité. **Revue**, v. 1, n. 3, julho 2001. Disponível em: <<http://www.fundp.ac.be/institution/autser/interfaces/publications/gerard/txt/gf00>>. Acesso em: 1 fevereiro 2017.

FOUREZ, G. Crise no Ensino de Ciências? **Revista Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 109-123, agosto 2003.

FOUREZ, G.; ENGLEBERT LECOMPTE, V.; GROOTAERS, D.; MATHY, P. E TILMAN, F. **Alfabetización científica y tecnológica. Acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias.** Buenos Aires: Ediciones Colihue, 1997.

FOX, R. **Sadi Carnot: Reflexions sur la Puissance Motrice du Feu.** Paris: Librairie Philosophique J. Vrin, 1978.

GALILEI, G. **Dialogues Concerning Two New Sciences (Transl. by Henry Crew and Alfonso).** Evanston: Northwestern University Press, 1939.

GALLEGO, D. E. **Recontextualización del principio de conservación de la energía a través de la teoría de sistemas.** 5º Congreso Nacional de Enseñanza de la Física. Ponencia: Revista Científica. 2011.

GALVÃO, R. C. S. Francis Bacon: teoria, método e contribuições para a educação. **InterThesis**, Florianópolis, v. 4, p. 32-41, julho/dezembro 2007.

GIBBS, J. W. On the equilibrium of heterogeneous substances. In: GIBBS, J. W. **The scientific papers of J. Willard Gibbs.** New York: Dover, v. 1, 1987.

GIERE, R. N. **Science without laws.** Chicago: University of Chicago Press, 1999.

\_\_\_\_\_. **Scientific perspectivism.** Chicago: University of Chicago Press, 2006.

GIL-PÉREZ, D. E. A. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

GIROUX, H. A. **Ideology, Culture and the Process of Schooling.** Numa London, The Falmer Press, 1981 (a).

\_\_\_\_\_. "Hegemony. Resistance and the Paradox of Educational Reform" in **Curriculum and Instruction**. H.A. Giroux, A.N. Penna e W.F. Pinar (Eds) Berkeley, Mc Artchan Publishing Co., 1981 (b).

GIROUX, H. A. **Pedagogia Radical - Subsídios**. São Paulo, Editora Associados e Cortez Editora, 1983.

GLASSTONE, S. **Thermodynamics for chemists**. New York: D. Van Nostrand, 1953.

GLEICK, J. **Chaos**. London: Abacus, 1987.

GOWIN, D. B. **Educating**. Ithaca: Cornell University Press, 1981.

GOWIN, D. B.; ALVAREZ, M. A. **The art of educanting with V diagrams**. [S.l.]: Cambridge University Press, 2005.

GOWIN, D. B.; GREEN, T. **The Evaluation Document: Philosophic Structure**. Portland: Northwest Regional Educational Laboratory, 1980.

GUIDETTI, E. N. **A formação inicial em ciências para atuação no ensino fundamental**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Educação Matemática). Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2008.

GUIDETTI, E.; BATISTA, I. L. União da História da Ciência com o Vê de Gowin: um estudo na formação de professores nas séries iniciais. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 11, n. 2, p. 41-66, 2011.

HAASE, R. Survey of fundamental laws. In: JOST, W. **Physical chemistry: An advance treatise**. New York: Academic Press, v. 1, 1971.

HALMENSCHLAGER, K. R. Abordagem temática no Ensino de Ciências. **Vivências (URI Erechim)**, Erechim, v. 7, p. 10-21, out 2011.

HEERDT, B. **SABERES DOCENTES: GÊNERO, NATUREZA DA CIÊNCIA E EDUCAÇÃO CIENTÍFICA**. Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2014.

HENRIQUE, K. F. **O pensamento físico e o pensamento do senso comum: a energia no 2o grau**. Universidade de São Paulo. [S.l.]. 1996.

HIEBERT, E. N. **Historical Roots of the Principle of Conservation of Energy**. Madison: University of Wiscosin Press, 1962.

HIERREZUELO, J. M.; MOLINA, E. G. Una propuesta para la introducción del concepto de energía en el bachillerato. **Enseñaza de las Ciencias**, Barcelona, v. 8, n. 1, p. 23-30, 1990.

HIERREZUELO, J. M; MONTERO, A. M. **La ciencia de los alumnos: su utilización en la didáctica de la física y química**. Barcelona: Ed. Laia, 1988.

HIGA, T. T. **Conservação de Energia: estudo histórico e levantamento conceitual dos alunos**. Universidade de São Paulo. [S.l.]. 1988.

HOGBEN, L. Primeira parte: A Conquista da Energia. In: \_\_\_\_\_ **O Homem e a Ciência**. Porto Alegre: Editora Globo, 1952. p. 3-93.

HOLTON, G. Einstein and the 'crucial' experiment. **American Journal of Physics**, v. 37, p. 968-982, 1969.

HÖTTECKE, D.; SILVA, C. C. Why implementing history and philosophy in school science education is a challenge. **Science & Education**, v. 20, p. 293-316, 2011.

HUME, D. **Investigação Sobre o Entendimento Humano**. São Paulo: Editora Escala, 2012.

HUYGENS, C. **Horologium Oscillatorium**. Paris: [s.n.], 1673.

IRZIK, G.; NOLA, R. A. A family resemblance approach to the nature of Science for Science education. **Science & Education**, v. 20, p. 591-607, 2011.

JAPIASSU, H. **Interdisciplinaridade e patologia do saber**. Rio de Janeiro: Imago, 1976.

JONES, L. L.; ATKINS, P. W. **Chemistry - Molecules, Matter, and Change**. 4. ed. New York: W. H. Freeman, 2000.

JONNAERT, P. Dévolution versus contre-devolution! Um tandem incontournable pour le contrat didactique. In: RAISKY, C.; CAILLOT, M. **Au-delà des didactiques, le didactique: débats autour de concepts fédérateurs**. France: De Boeck Université, 1996.

JOSHUA, S. Le concept de contrat didactique et l'approche vygotkienne. In: RAISKY, C.; CAILLOT, M. **au-delà des didactiques, le didactique: débats autour de concepts fédérateurs**. France: De Boeck Université, 1996.

JOULE, J. P. On Specific Heat. In: JOULE, J. P. **The Scientific Papers of James Prescott Joule (1978)**. London: Taylor & Francis, 1844. p. 189-192.

\_\_\_\_\_. "On the Existence of an Equivalent Relation Between Heat and the Ordinary Forms of Mechanical Power. In: JOULE, J. P. **The Scientific Papers of James Prescott Joule (1978)**. London: Taylor & Francis, 1845. p. 192-200.

\_\_\_\_\_. New Determination of the Mechanical Equivalent of Heat. In: JOULE, J. P. **The Scientific Papers of James Prescott Joule (1978)**. [S.l.]: [s.n.], 1845. p. 632-657.

\_\_\_\_\_. On a New Method for Ascertaining the Specific Heat of Bodies. In: JOULE, J. P. **The Scientific Papers of James Prescott Joule (1978)**. London: Taylor & Francis, 1845. p. 192-200.

\_\_\_\_\_. **Joule, Joint Scientific Papers of James Prescott**. London: Taylor & Francis, 1887.

\_\_\_\_\_. On the Mechanical Equivalent of Heat. In: JOULE, J. P. **The Scientific Papers of James Prescott Joule (1978)**. London: Taylor & Francis, 1978. p. 298-328.

KITCHER, P. **Living with Darwin: Evolution, design and the future of faith**. New York: Oxford University Press, 2007.

KRATHWOHL, D.; BLOOM, B.; E MASIA, B. **Taxonomy of educational objectives: Handbook II: Affective domain**. New York: David McKay Co., 1964.

KUHN, T. S. A Conservação da Energia como Exemplo da Descoberta Simultânea (Artigo original publicado em 1959). In: KUHN, T. S. **Tensão Essencial (R. Pacheco, trad.)**. Lisboa: Edições 70, 1989. p. 101-141.

KUHN, T. S. **A estrutura das revoluções científicas**. Tradução: B. V. Boeira e N. Boeira. São Paulo: Perspectiva, 2007.

LACEY, H. **Valores e atividade científica**. São Paulo: Discurso Editorial, 1998.

\_\_\_\_\_. Existe uma distinção relevante entre valores cognitivos e sociais? **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 1, n. 2, p. 121-149, 2003.

\_\_\_\_\_. **Is Science Value Free? Values and scientific understanding**. London/New York: Routledge, 2005 [1999].

LAKATOS, I. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa.. In: LAKATOS, I.; MUSGRAVE, A. **A crítica e o desenvolvimento do conhecimento**. São Paulo: Editora Cultrix, 1979.

LAMBERT, F. L. Shuffled cards, messy desks, and disorderly dorm rooms - examples of. **Journal of Chemical Education**, v. 76, p. 1385-1387, 1999.

\_\_\_\_\_, F. L. Disorder - a cracked crutch for supporting entropy discussions. **Journal of Chemical Education**, v. 79, p. 187-192, 2002.

LAPLACE, P. S.; LAVOISIER, A. Memoire sur la chaleur. [S.l.]: [s.n.], 1780.

LAUDAN, L. L. The vis viva controversy in a post mortem. **Isis: a Journal of the History of Science**, 1968. 130-143.

LEDERMAN, N. G. Nature of Science: part, present, and future.. In: ABELL, S. K.; LEDERMAN, N. G. **Handbook of research on science education**. Mahwah – NJ: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 2007. p. 831-880.

LEDERMAN, N.; ABD-EL-KHALICK, F.; BELL, R.; e SCHWARTZ, R. Views of nature of science questionnaire: Toward valid and meaningful assessment of learners' conceptions of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 39, p. 497-521, 2002.

LEICESTER, H. M.; KLICKSTEIN, H. S. **A source book in chemistry 1400-1900**. New York: McGraw-Hill Book, v. 1, 1952.

LEITE, F. S.; BENICIO, J. Interdisciplinaridade no Ensino Superior: proposta de um novo método. **AMPLIANDO- Revista Científica da Faculdade Cenecista de Rio Bonito**, 2015.

LEMKE, J. Articulating communities: Sociocultural perspectives on science education. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 38, p. 296-316, 2001.

LEVERE, T. H. What history can teach us about science: Theory and experiment, data and evidence. **Interchange**, v. 37, p. 115-128, 2006.

LEWIS, G.; RANDALL, M. T. **Thermodynamics and the free energy of chemical substances**. New York: McGraw-Hill, 1923.

LINDSAY, R. B. The Concept of Energy and its Early Historical Development. **Foundations of Physics**, v. 4, n. 1, p. 383-393, 1971.

LOPES, C. V. M.; KRUGER, V.; DEL PINO, J. C. Educação continuada de professores de química no Rio Grande do Sul, Brasil. **Educación Química**, v. 11, n. 2, p. 214-219, 2000.

LUZ, M. L. G. S. **Material Extra relacionado à Entropia**. [S.l.]. 2017.

LUCCAS, S.; BATISTA, I. L. O papel da matematização em um contexto interdisciplinar no ensino superior. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 17, n. 2, p. 451-468, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S1516-73132011000200013>>. Acesso em: 9 out. 2017.

MARTINS, L. A. C. P. História da Ciência: objetos, métodos e problemas. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 11, n. 2, p. 305-317, agosto 2005.

MARTINS, R. A. Mayer e a conservação da energia. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, Campinas, v. 6, p. 63-95, 1984.

\_\_\_\_\_. O que é Ciência do ponto de vista da Epistemologia? **Caderno de Metodologia e Técnica de Pesquisa**, n.9, p. 5-20, 1999.

\_\_\_\_\_. Como não escrever sobre história da física: um manifesto historiográfico. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n. 1, p. 113-129, 2001.

\_\_\_\_\_. A história das ciências e seus usos na educação.. In: SILVA, C. C. ( . ). **Estudos de história e filosofia das ciências: subsídios para aplicação no ensino**. São Paulo: Livraria da Física, 2006.

\_\_\_\_\_. **O Universo: teorias sobre sua origem e evolução**. 2. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2012.

MARTINS, R. A.; MARTINS, L. A. P. Lavoisier e a conservação da massa. **Química Nova**, São Paulo, v. 16, n. 3, p. 245-256, 1993.

MASINI, E. F. S.; MOREIRA, M. A. **Aprendizagem Significativa. Condições para a ocorrência e lacunas que levam ao comprometimento**. São Paulo: Vetor. 2008. 295 p

MATTHEWS, M. R. **Science teaching: The contribution of history and philosophy of science**. New York: Routledge, 1994.

\_\_\_\_\_. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, n. 3, p. 164-214, 1995.

\_\_\_\_\_. **Science teaching: The contribution of history and philosophy of science (20th Anniversary revised and expanded edition)**. New York: Routledge, 2015.

MAURY, J. P. **Carnot et la Machine a Vapeur**. Paris: Presse Universitaire de France, 1986.

MCCOMAS, W. F. The principal elements of the nature of science: Dispelling the myths. In: MCCOMAS, W. F. **In W. F. McComas (Ed.), The nature of science in science education: Rationales and strategies**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998.

MCCOMAS, W. F.; CLOUGH, M. P.; ALMAZROA, H. The role and character of the nature of science in science education. In: MCCOMAS, W. F. **The nature of science in science education: Rationales and strategies**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1998.

MCKEON, R. **The Basic Works of Aristotle**. New York: Random House, 1941. 353 p.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E CULTURA - MEC. Conselho Nacional de Educação. Resolução CNE/CES n. 1362/2001, de 12 de dezembro de 2001: Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais dos Cursos de Graduação em Engenharia, **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, D.F., 25 fev. 2002. Seção 1, p. 3.

MEDARD, L.; TACHOIRE, H. **Histoire de la thermochimie**. Aix-en-Provence: Publications de l'Université de Provence, 1994.

MELO, M. T. R. R. H. D. **Energia e medicina em Robert Mayer**. Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa. Lisboa. 2010.

MENDONÇA, M. F. C. **Diagrama V modificado como instrumento avaliativo da aprendizagem de alunos de um curso de Licenciatura em Química**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Alfenas. Alfenas. 2014.

MERRY, U. **Organizational Lifespan LO17822**. [S.l.]. 1998.

MICHINEL, J. L. M.; D'ALESSANDRO, A. M. El concepto de energía en los libros de textos: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 12, n. 3, p. 369-380, nov. 1994

MOODY, E. A.; CLAGETT, M. **The Medieval Science of Weights**. Madison: University of Wisconsin Press, 1952.

MORAES, R.; GALIAZZI, M. C. **Análise textual discursiva**. Ijuí: Unijuí, 2007.

MOREIRA, A. F. B.; MACEDO, E. F. Faz sentido ainda o conceito de transferência educacional? In: MOREIRA, A. F. B. **Currículo: políticas e práticas**. 9. ed. Campinas: Papyrus, 2006. p. 11-28.

MOREIRA, M. A.; DOMINGUEZ, M. E. Misconceptions in electricity among college students. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 39, n. 10, p. 955-961, 1987.

MOREIRA, M. A. **A teoria da aprendizagem significativa e sua implementação em sala de aula**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2006.

MOREIRA, M. A.; MASINI, E. F. S. **Aprendizagem Significativa: a Teoria de David Ausubel**. São Paulo: Centauro, 2001.

MORETTO, V. P. **Prova: Um momento privilegiado de estudo, não um acerto de contas**. 9. ed. Rio de Janeiro: Lamparina, 2010.

MORGAN, M. S.; MORRISON, M. **Model as Mediators: perspectives on natural and social science**. New York: Cambridge University Press, 1999.

MORRISON, K. R. B. **School Leadership and Complexity Theory**. London: Routledge, 2002.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e formação de conceitos no ensino de Ciências**. Belo Horizonte: UFMG, 2000.

MOURA, B. A. O que é natureza da ciência e qual sua relação com a história e filosofia da ciência? **Revista Brasileira de História da Ciência**, v. 7, n. 1, p. 32-46, 2014.

NASCIMENTO, F. D.; FERNANDES, H. L.; MENDONÇA, V. M. O Ensino de Ciências no Brasil: história, formação de professores e desafios atuais. **HISTEDBR (on-line)**, Campinas, v. 39, p. 225-249, 2010.

NASCIMENTO NETO, M. C.; **Percepções de licenciados em física a respeito das inter-relações entre ciência-tecnologia e sociedade**, Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática), Universidade Federal de Sergipe, Alagoas, 2013.

NERY, B. K.; MALDANER, O. A. Processo formativo FOLHAS: constituição subjetiva de conhecimento de professor de química. **Revista Brasileira de Pesquisa sobre Formação Docente**, Belo Horizonte, v. 3, n. 5, p. 109-126, agosto/dezembro 2011.

NEUMAN, K.; FRIEDMAN, B. Affective learning: A taxonomy for teaching social work values. **Journal of Social Work Values and Ethics**, v. 7, n. 2, 2010.

NEVES, F. M.; PINTO, V. T. A carta de intenções de David Bloor.. **Hist. cienc. saude-Manguinhos**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 346-350, março 2013.

NIAZ, M. **Innovating science teacher education: A history and philosophy of science perspective**. New York: Routledge, 2011.

NIAZ, M.; RODRÍGUEZ, M. A. Do we have to introduce history and philosophy of science or is it already 'inside' chemistry? **Chemistry Education: Research and Practice in Europe**, v. 2, p. 159-164, 2001.

NICOLETTI, E. R.; SEPEL, L. M. N. Organização inicial de uma Ilha Interdisciplinar de Racionalidade a partir de um tema específico da biologia. **Ciência e Natura**, v. 37, n. 3, 2015.

NOVAK, J. D. **Uma teoria de educação**. São Paulo: Pioneira, 1980.

\_\_\_\_\_. **Learning, Creating, and Using Knowledge**. 2. ed. [S.l.]: Routledge, 2012.

NOVAK, J. D.; GOWIN, D. B. **Aprendendo a Aprender**. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

OKI, M. C. M. A eletricidade e a química.. **Química Nova na Escola**, v. 12, p. 34-37, 2000.

\_\_\_\_\_. **A história da química possibilitando o conhecimento da natureza da ciência e uma abordagem contextualizada de conceitos químicos: um estudo de caso numa disciplina do curso de química da UFBA**. Universidade Federal da Bahia. Salvador, p. 254. 2006.

OKI, M. C. M.; MORADILLO, E. F. O ensino de história da química contribuindo para a compreensão da natureza da ciência.. **Ciência & Educação**, v. 14, n. 1, p. 67-89, 2008.

OLIOSI, E. C. **Joseph Priestley (1733-1804):** uma seleção dos experimentos que revelam a presença do flogístico. PUC. São Paulo, p. 85. 2004.

\_\_\_\_\_. **Os estudos de Joseph Priestley (1733-1804) sobre a teoria da eletricidade.** PUC. São Paulo, p. 122. 2010.

OLIVEIRA, P. M. C. D.; DECHOUM, K. Facilitando a compreensão da segunda lei da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 4, p. 359-363, dezembro 2003.

OSBORNE, J.. What “ideas-about-science” should be taught in school science? A Delphi study of the expert community. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 40, n. 7, p. 692-720, 2003.

PAREDE, J. B. B. **Aproximações teórico-metodológicas para a elaboração de um currículo indígena próprio:** a experiência na educação escolar indígena na Área indígena Krikati, em Mato Grosso. Cuiabá: Estrelinhas, 1997.

PARISI, G. **Complex Systems:** a Physicist's Viewpoint. [S.l.]: [s.n.], 2002.

PASSOS, J. C. Em torno de Carnot e sobre a segunda lei da termodinâmica. **CONEM-2002**, CD-ROM, 2002. 1-10.

\_\_\_\_\_. Aspectos Históricos Referentes à Primeira Lei da Termodinâmica. **Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**, Belém-PA, 2004. 1-11.

\_\_\_\_\_. Os experimentos de Joule e a primeira lei da termodinâmica. **Revista Brasileira de Ensino de Física [online]**, v. 31, n. 3, p. 3603.1-3603.8, 2009.

PEDRANCINI, V.D.; CARVALHO, W.L.P.D.; SILVA, E.S.; **Percepção pública da Ciência e da Tecnologia dos medicamentos:** reflexões para o Ensino de Ciências. XI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências – XI ENPEC. Florianópolis, 2017.

PÉREZ, D. G. Contribución de la historia y de la filosofía de las ciencias al desarrollo de un modelo de enseñanza/aprendizaje como investigación. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 2, p. 197-212, 1993.

PÉREZ, D. G. et al. Para uma visão não deformada do pensamento científico. **Ciência & Educação**, v. 7, n. 2, p. 125-153, 2001.

PÉREZ-LANDEZÁBAL, M. C., FAVIERES, A., MANRIQUE, M. J., E VARELA, P L. La energía como núcleo en el diseño curricular de la física. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 13, n. 1, p. 55-65, 1995.

PITZER, K. S.; BREWER, L. **Thermodynamics**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1961.

POINCARÉ, J. H. **Cours de Physique Mathématique:** Thermodynamique. Paris: George Carré, 1892.

PONTES NETO, J. A. D. S. Sobre a aprendizagem significativa na escola. In: MARTINS, E. J. S. E. A. **Diferentes faces da educação.** São Paulo: Arte & Ciência, 2001. p. 13-37.

PONTES NETO, J. A. S.; CARPENTIERI, N. M.; MARTINS, E. J. S.; CRUZ, S. G. F. P. **Diferentes faces da educação**. São Paulo: Arte & Ciência Villipress, 2001.

POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica**. São Paulo: Cultrix, 1993.

PORTO, P. A. "Summus atque felicissimus salium": the medical relevance of the liquor alkahest. **Bulletin of the history of Medicine**, Baltimore, v. 76, n. 1, p. 1-29, 2002.

POSTONE, M. **Time, labor, and social domination. A reinterpretation of Marx's critical theory**. Cambridge: Cambridge University Press, 1996 [1993].

PRAXEDES, G.; JACQUES, V. **O princípio de conservação da energia**: a convergência dos diferentes sentidos. Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em ciências. Florianópolis: [s.n.]. 2009. p. 1-10.

PRIESTLEY, J. **Experiments and observations on different kinds of air, and other branches of Natural Philosophy, connected with the subject**. Birmingham: Thomas Pearson, v. 2, 1790.

PRIGOGINE, I.; KONDEPUDI, D. **Thermodynamique**: Des moteurs thermiques aux structures dissipatives. [S.I.]: Editora Odile Jacob, 1999.

P3. **Questionário NdC e Termodinâmica**. Entrevista concedida a Walter Anibal Rammazzina Filho. Cornélio Procópio, 2017.

P4. **Questionário NdC e Termodinâmica**. Entrevista concedida a Walter Anibal Rammazzina Filho. Cornélio Procópio, 2017.

P9. **Questionário NdC e Termodinâmica**. Entrevista concedida a Walter Anibal Rammazzina Filho. Cornélio Procópio, 2017.

FREITAS, Rafael. Entrevista concedida a Alejandro Knaesel Arrabal. Blumenau, 9 jun. 2015.

PUMFREY, S. History of Science in the National Science Curriculum: A critical review of resources and their aims. **British Journal for the History of Science**, v. 24, n. 1, p. 61-78, 1991.

REINMUTH, O. Editor's outlook. **Journal of Chemical Education**, v. 9, p. 1139-1140., 1932.

REIS, P. G. R. **Controvérsias sócio-científicas**: discutir ou não discutir? Percursos de aprendizagem na disciplina de Ciências da Terra e da Vida. Universidade de Lisboa. Lisboa. 2004.

REZENDE JUNIOR, F. M. **O processo de conceitualização em situações diferenciadas na formação inicial do professor de ensino médio**. Tese (Doutorado em Educação Científica e Tecnológica). Florianópolis. 2006.

RICARDO, E. **As Relações com os Saberes nas Situações Didáticas e os Obstáculos à Aprendizagem**. Atas do XV Simpósio Nacional de Ensino de Física. Curitiba: [s.n.]. 2003.

ROCHA, T. L.; PARANOS, R. D. Sequências de Diagramas V de Gowin no Planejamento e Avaliação de Atividade Educativas em Ciências e Biologia. **Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer**, Goiânia, v. 7, n. 13, p. 1664-1674, 2011.

ROGERS, C. R. **Liberdade para Aprender**. 2. ed. Belo Horizonte: Interlivros, 1973.

\_\_\_\_\_. **Liberdade de Aprender em Nossa Década**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1987.

\_\_\_\_\_. **Tornar-se Pessoa**. 5. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1997.

ROGERS, C. R.; ROSENBERG, R. L. **A Pessoa como Centro**. 2. ed. São Paulo: EPU, 1977.

SANTOMÉ, J. T. **Globalização e interdisciplinaridade: o currículo integrado**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

SANTOS, B. D. S. **A Crítica da razão indolente: contra o desperdício da experiência**. São Paulo: Cortez, 2002.

SANTOS, L. L. D. C. P. História das disciplinas escolares: outras perspectivas de análise. **Educação e Realidade**, v. 20, n. 2, p. 60-68, julho/dezembro 1996.

SANTOS, R. P. **A Energia do Senso Comum**. [S.l.]. 1999.

SAYÃO, L. F. Modelos teóricos em ciência da informação – abstração e método científico. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 30, n. 1, p. 82-91, jan./abr. 2001.

SCHLOGLMANN, W. **Categories of affect—Some remarks**. Proceedings of CERME 6. Lyon: INRP. 2010.

SELLI DECONTO, D. C.; CAVALCANTI, C. J. H.; OSTERMANN, F.. A perspectiva ciência, tecnologia e sociedade na formação inicial de professores de física: estudando concepções a partir de uma análise bakhtiniana. **Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia**, Florianópolis, v. 9, n. 2, p. 87-119, nov. 2016.

SCHMITZ, C. **Desafio docente: as ilhas de racionalidade e seus elementos interdisciplinares**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, p. 277. 2004.

SHULTZ, M. J. Why equilibrium? Understanding the role of entropy of mixing. **Journal of Chemical Education**, v. 76, p. 1391-1393, 1999.

SILVA, A. P. B.; FORATO, T. C. D. M.; GOMES, J. L. D. A. M. C. Concepções sobre a natureza do Calor em diferentes contextos históricos. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 30, n. 3, p. 492-537, outubro 2013.

SILVA, D., NETO, V. F., e CARVALHO, A. M. P. C. Ensino da distinção entre calor e temperatura: uma visão construtivista. In R. Nardi (Ed.), **Questões atuais no ensino de ciências**. São Paulo: Escrituras Editora, 1998, p. 61-75.

SILVA, D. N. D. **A termodinâmica no ensino médio** : ênfase nos processos irreversíveis. Dissertação de Mestrado em Ensino de Física - Universidade de São Paulo. São Paulo. 2008.

SILVA, D. N. D. **Ensino e aprendizagem da termodinâmica** : questões didáticas e contribuições da história da ciência. Universidade de São Paulo. São Paulo. 2013.

SILVA, D. P. G., **O Ensino de Energia e o Livro Didático de Física: um olhar através do construtivismo humano** Dissertação de Mestrado profissional (Ensino de Ciências e matemática) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

SILVA, J. L. P. B. Porque Não Estudar Entalpia no Ensino Médio. **Química Nova na Escola**, n. 22, novembro 2005.

SILVA, J. L. P. B.; MORADILLO, E. F. E., PENHA, A. F. **Interpretação microscópica do Calor de reação**. Livro de Resumos da 25ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. São Paulo: SBQ. 2002.

SILVA, M. A. E.; PITOMBO, L. R. M. Como os alunos entendem Queima e Combustão: Contribuições a partir das Representações Sociais. **Química Nova na Escola**, n. 23, p. 23-26, maio 2006.

SILVA JUNIOR, C. N.. **A energia e suas implicações no ensino-aprendizagem da química**. 190 f. Tese (Doutorado em Físico-Química; Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

SIMÕES NETO, J. E.; AMARAL, E. M. R. **Energia e energia química em foco**: o que pensam estudantes no Ensino Superior de química. XVII Encontro Nacional de Ensino de Química. Ouro Preto: [s.n.]. p. 2014.

SMITH, C. **The science of energy**: A cultural history of energy physics in victorian Britai. Chicago: The University of Chicago Press, 1998.

SOLOMON, J. Teaching the conservation of energy. **Physics Education**, v. 20, p. 165-170, 1985.

SONNTAG, R. E.; BORGNACKE, C.; VAN WYLEN, G. J. **Fundamentals of Thermodynamics**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

SOUZA, V. C. D. A. **Os desafios da energia no contexto da termoquímica**: modelando uma nova idéia para aquecer o ensino de química. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte. 2007.

STEVIN, S. **De Beghinselen der Weeghconst**. Leiden: [s.n.], 1596.

STEVIN, S. **Hypomnomata Mathematica**. Leiden: [s.n.], 1608.

TEIXEIRA, E. S.; GRECA, I. M.; FREIRE, O. Uma revisão sistemática das pesquisas publicadas no Brasil sobre o uso didático de História e Filosofia da Ciência no ensino de Física.. In: PEDUZZI, L. O. Q.; MARTINS, A. F. P.; FERREIRA, J. M. H. ( . ). **Temas de História e Filosofia da Ciência no ensino**. [S.l.]: EDUFERN, 2012. p. 372.

TEO, T. W.; GOH, M. T.; YEO, L. W. Chemistry education research trends: 2004–2013. **Chemistry Education Research and Practice (in press)**, 2014.

THIESEN, J. D. S. A interdisciplinaridade como um movimento articulador no processo ensino-aprendizagem. **Rev. Bras. Educ.**, Rio de Janeiro, v. 13, n. 39, p. 545-554, dezembro 2008.

THOMPSON, B. An inquiry concerning the source of the heat which is excited by friction. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**, Londres, v. 88, p. 80-102, 1798.

TOSI, L. Lavoisier: uma revolução na química. **Química Nova**, São Paulo, v. 12, n. 1, p. 33-56, 1989.

TRINDADE SOUZA, J. R. D. E. A. Ilhas interdisciplinares de racionalidade no ensino de ciências: uma experiência didática no PARFOR na Ilha do Marajó, Pará, Brasil.. **Revista de Educação em Ciências e Matemáticas**, Amazônia, v. 12, n. 24, setembro 2016.

TRUMPER, R. Being constructive: an alternative approach to the teaching of the energy concept - part two. **International Journal of Science Education**, p. 1-10, 1991.

TYMMS, P. Theories, models and simulations: school effectiveness at an impasse. In: GRAY, J., et al. **Merging Traditions: The Future of Research on School Effectiveness and School Improvement**. London: Cassel, 1996. p. 121-135.

UNESCO. **Declaração de Budapeste – marco geral de ação**. [S.l.]. 1999.

UNESCO. **A ciência para o século XXI: uma nova visão e uma base de ação**. 3. ed. [S.l.]: [s.n.], 2000.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ-CAMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO. **Projeto Pedagógico do Curso de Graduação em Engenharia Industrial Mecânica**. [S.l.]. 2011.

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ-CAMPUS CORNÉLIO PROCÓPIO. **PROPOSTA DE AJUSTE DO CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**. [S.l.]. 2015.

VALADARES, J. A. Da história ao ensino de ciências : o exemplo clarificador da construção da teoria da relatividade restrita. **Enseñanza de las Ciencias**, n. Extra, 2005.

VAN WYLEN, G. . S. R. . B. C. **Fundamentos da Termodinâmica**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher Ltda, 1997.

VERÍSSIMO, M. R. A. Do paradigma disciplinar ao paradigma interdisciplinar: uma questão para a universidade. **Educação e Filosofia**, v. 15, n. 29, p. 105-127, janeiro/junho 2001.

VESTERINEN, V. M. **Nature of science for chemistry education** : Design of chemistry teacher education course. Helsinki. 2012.

WATANABE, M. The development of the dynamic theory of heat in early nineteenth century England. **Annals Of The Japan Association For Philosophy of Science**, Tokio, v. 2, n. 2, p. 70-89, 1962.

WISNIAK, J. Phlogiston: the rise and fall of a theory. **Indian Journal of Chemical Technology**, New Delho, v. 11, n. 5, p. 732-743, set 2004.

XU, X.; VILLAFANE, S. M.; LEWIS, J. E. College students' attitudes toward chemistry, conceptual knowledge and achievement: Structural equation model analysis.. **Chem. Educ. Res. Pract.**, v. 14, p. 188-200, 2013.

ZUSHO, A.; PINTRICH, P. R.; COPPOLA, B. Skill and will: The role of motivation and cognition in the learning of college chemistry.. **Int. J. Sci. Educ.**, v. 25, p. 1081-1094, 2003.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A – Questões para os Questionários Prévio e Posterior (Questionário NdC e Termodinâmica)

1. Na sua compreensão, o que é Ciência?
2. A Ciência (ou uma disciplina científica como a física, a biologia etc.) é diferente de outras formas de investigação, por exemplo, religião, filosofia? Explique.
3. Após os cientistas terem desenvolvido uma teoria científica (por exemplo, a Teoria Atômica, a Teoria da Evolução), a teoria pode transformar-se?  
( ) SIM ( ) NÃO
  - a) Se você acredita que as teorias científicas não mudam, explique por quê. Defenda sua resposta com exemplos.
  - b) Se você acredita que as teorias científicas de fato mudam:
    - (b1) Explique por que as teorias mudam.
    - (b2) Explique por que nos preocupamos em aprender teorias científicas, considerando que as teorias que aprendemos poderão mudar. Defenda sua resposta com exemplos.
4. Acredita-se que há cerca de 65 milhões de anos os dinossauros se extinguiram. Entre as hipóteses formuladas pelos cientistas para explicar a extinção, duas recebem maior apoio. A primeira, formulada por um grupo de cientistas, sugere que um imenso meteorito atingiu a Terra há 65 milhões de anos e acarretou uma série de eventos que causou a extinção. A segunda hipótese, formulada por outro grupo de cientistas, sugere que grandes e violentas erupções vulcânicas foram responsáveis pela extinção. Como essas conclusões diferentes são possíveis se os cientistas de ambos os grupos tiveram acesso e utilizaram o mesmo conjunto de dados para obter suas conclusões?
5. Os cientistas realizam experimentos/investigações científicas quando estão tentando encontrar respostas para as questões que eles propuseram. Os cientistas usam sua criatividade e imaginação durante suas investigações?  
( ) SIM ( ) NÃO
  - a) Se sim, então em que estágios das investigações você acredita que os cientistas utilizam sua imaginação e criatividade: projeto e planejamento; coleta de dados; após a coleta de dados? Por gentileza, explique o porquê os cientistas usam a imaginação e a criatividade. Forneça exemplos se for apropriado.
  - b) Se você acredita que cientistas não usam a imaginação e a criatividade, por favor, explique o porquê. Forneça exemplos se for apropriado.
6. Alguns autores afirmam que a ciência é impregnada por valores sociais e culturais, isto é, a ciência reflete os valores sociais e políticos, as suposições filosóficas e as normas intelectuais da cultura na qual ela é praticada. Outras pessoas afirmam que a

ciência é universal. Isto é, a ciência transcende as fronteiras nacionais e culturais e não é afetada por valores sociais, políticos e filosóficos e pelas normas intelectuais da cultura na qual ela é praticada.

a) Se você acredita que a ciência reflete valores sociais e culturais, explique por que e como. Defenda sua resposta com exemplos.

b) Se você acredita que a ciência é universal, explique por que e como. Defenda sua resposta com exemplos.

7. Quando você utiliza a palavra ENERGIA, que significado(s) você atribui a ela?
8. Quando você utiliza a palavra CALOR, que significado(s) você atribui a ela?
9. Quando lhe é apresentada a palavra ENTALPIA, que significado(s) você atribui a ela?
10. Quando lhe é apresentada a palavra ENTROPIA, que significado(s) você atribui a ela?
11. Como você explica a Primeira Lei da Termodinâmica? Utilize as grandezas envolvidas, se desejar.
12. Como você explica a Segunda Lei da Termodinâmica?
13. Você considera que a maneira que você foi ensinado/a Termodinâmica foi diferente da desenvolvida pelo curso?\*

\*somente na entrevista estruturada

## APÊNDICE B – Termo de Consentimento

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

Prezado(a):

Este Termo de Consentimento Livre e Esclarecido refere-se aos dados coletados no minicurso vinculado ao projeto de pesquisa intitulado, provisoriamente, “Abordagem histórica e conceitual para a promoção da aprendizagem significativa de conceitos e de leis da Termodinâmica” de responsabilidade do pesquisador Me. Walter Anibal Rammazzina Filho, referente à Tese de Doutorado no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática da Universidade Estadual de Londrina/PR, sob orientação da Dra. Irinéa de Lourdes Batista. O objetivo desta pesquisa é investigar a implementação de uma abordagem para promover a aprendizagem significativa de conceitos e de leis da Termodinâmica.

Para participar da pesquisa, é preciso que você preencha o questionário a seguir, bem como, a autorização para a publicação das respostas e suas respectivas análises. Ao autorizá-lo, estará contribuindo com a pesquisa e concordando com futuras publicações dos dados fornecidos.

Sua decisão de participar é voluntária e você pode se recusar a participar, ou mesmo desistir a qualquer momento, sem que isto acarrete qualquer ônus ou prejuízo à sua pessoa. Esclarecemos que os dados pessoais coletados serão utilizados somente para fins de pesquisa e serão tratados com sigilo e confidencialidade, por meio de códigos, de modo a preservar sua identidade.

Eu, \_\_\_\_\_, declaro ter sido informado(a) e concordo em participar, como voluntário(a), do projeto de pesquisa acima descrito.

---

ASSINATURA

## APÊNDICE C – Diagramas Vê construídos pelos participantes

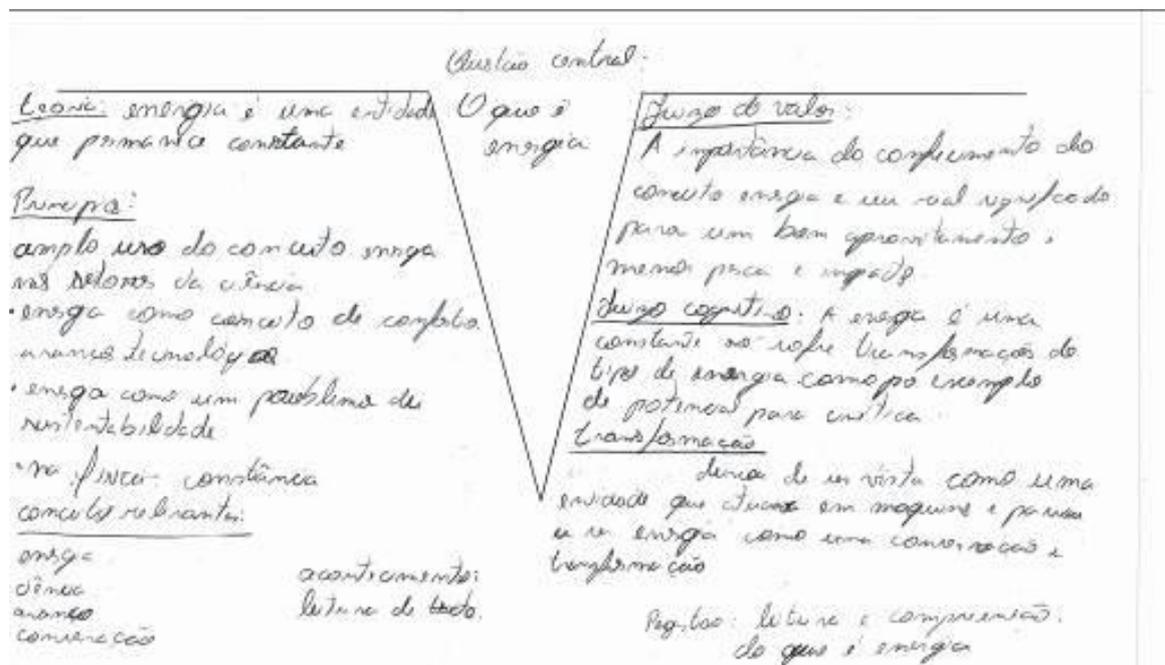


Figura 30 - Diagrama Vê confeccionado pelos participantes P2 e P1 durante a atividade 1.

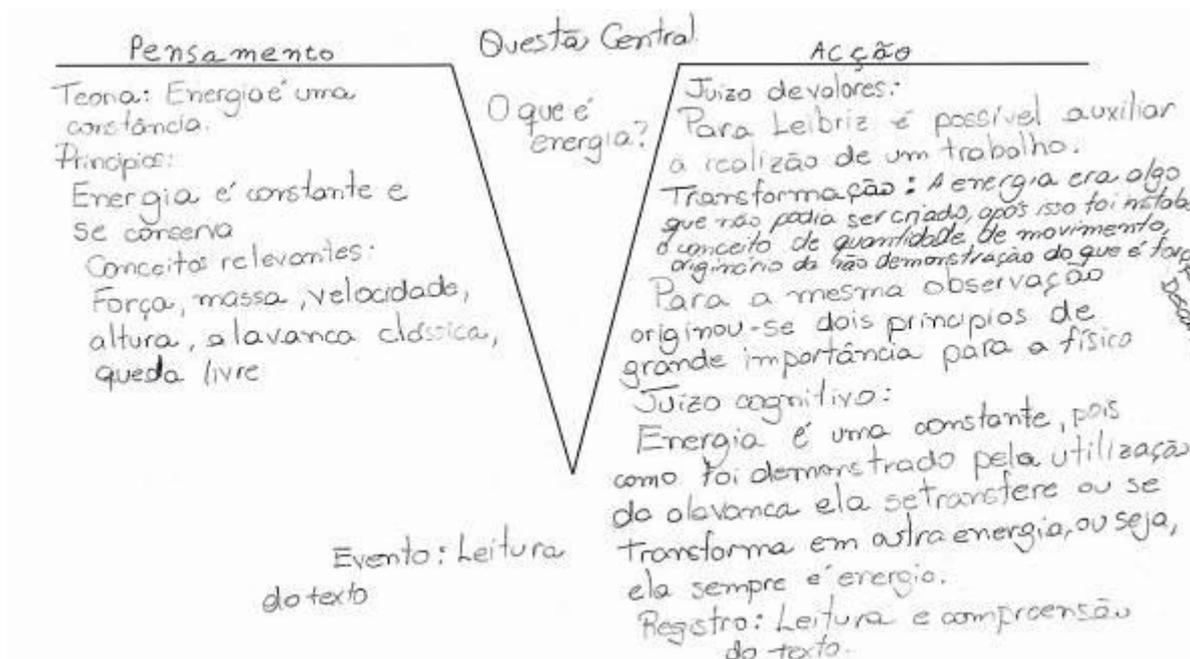


Figura 31 - Diagrama Vê confeccionado pelos participantes P3 e P6 durante a atividade 1.

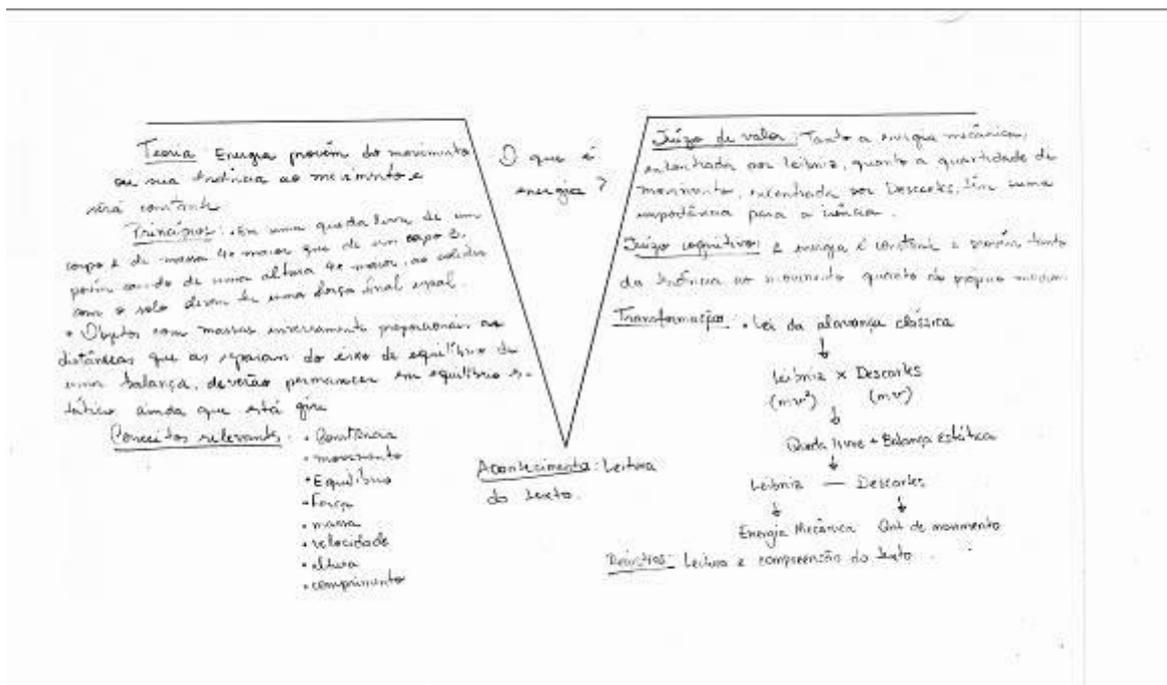


Figura 32 - Diagrama Vê confeccionado pelos participantes P5 e P4 durante a atividade 1.

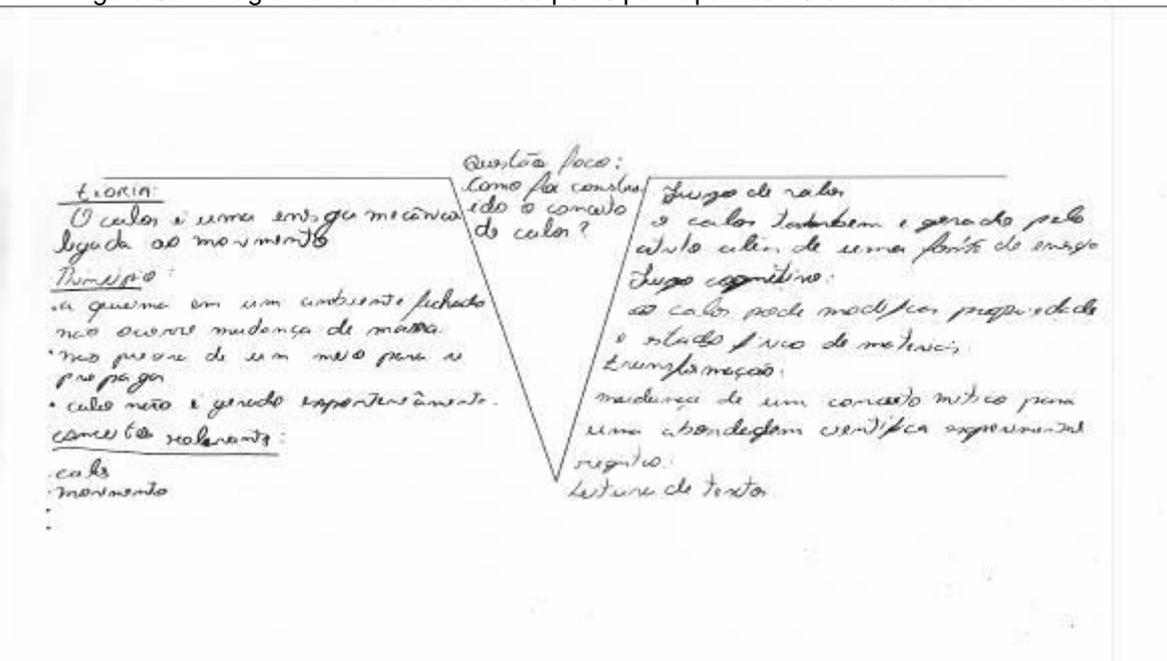


Figura 33 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P2 durante a atividade 2.

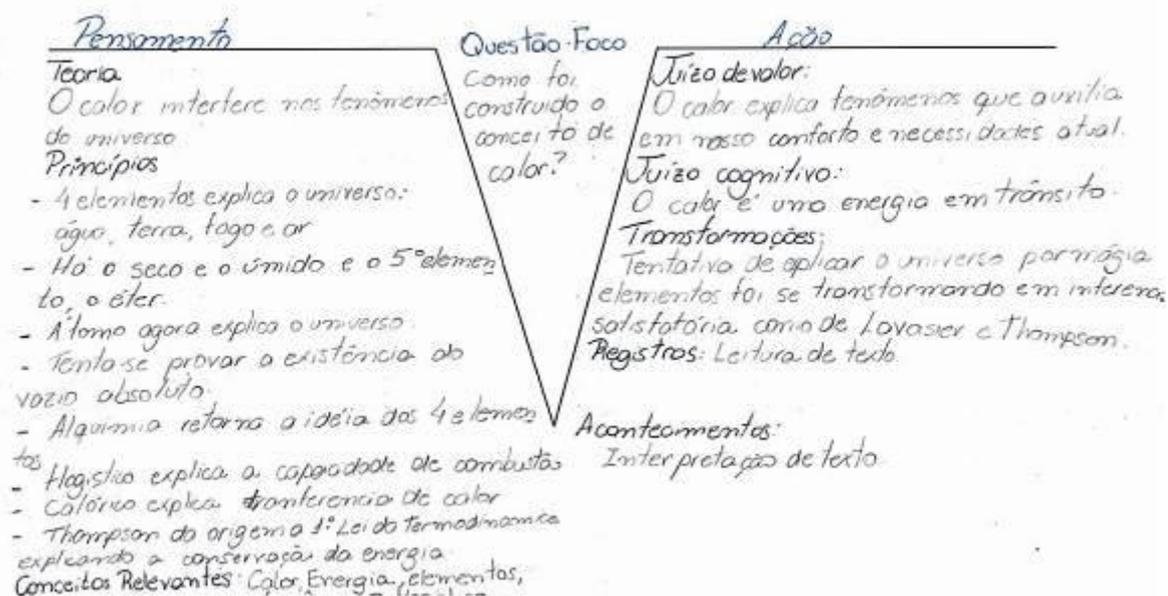


Figura 34 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P3 durante a atividade 2.

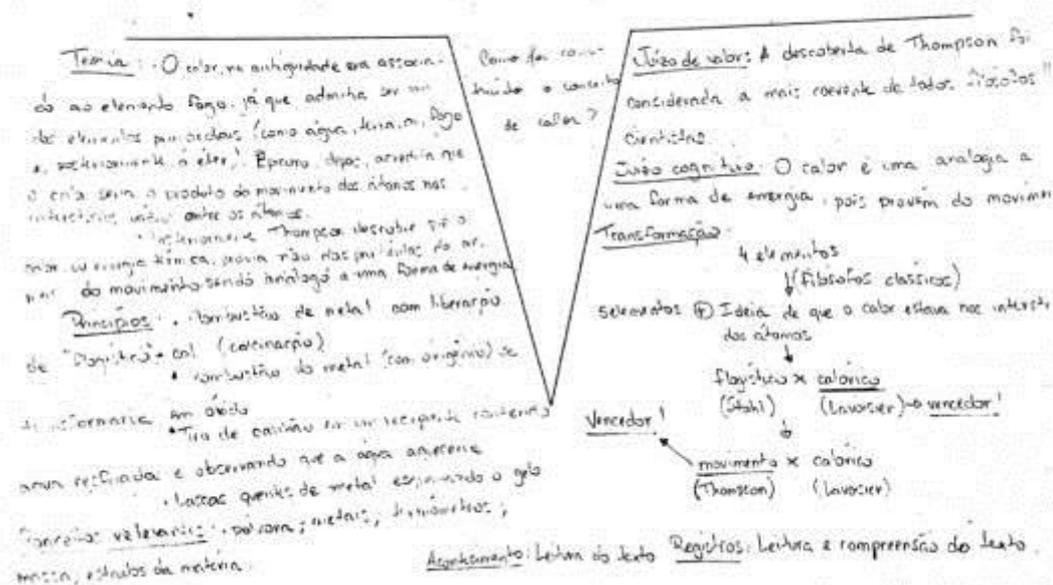


Figura 35 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P5 durante a atividade 2.

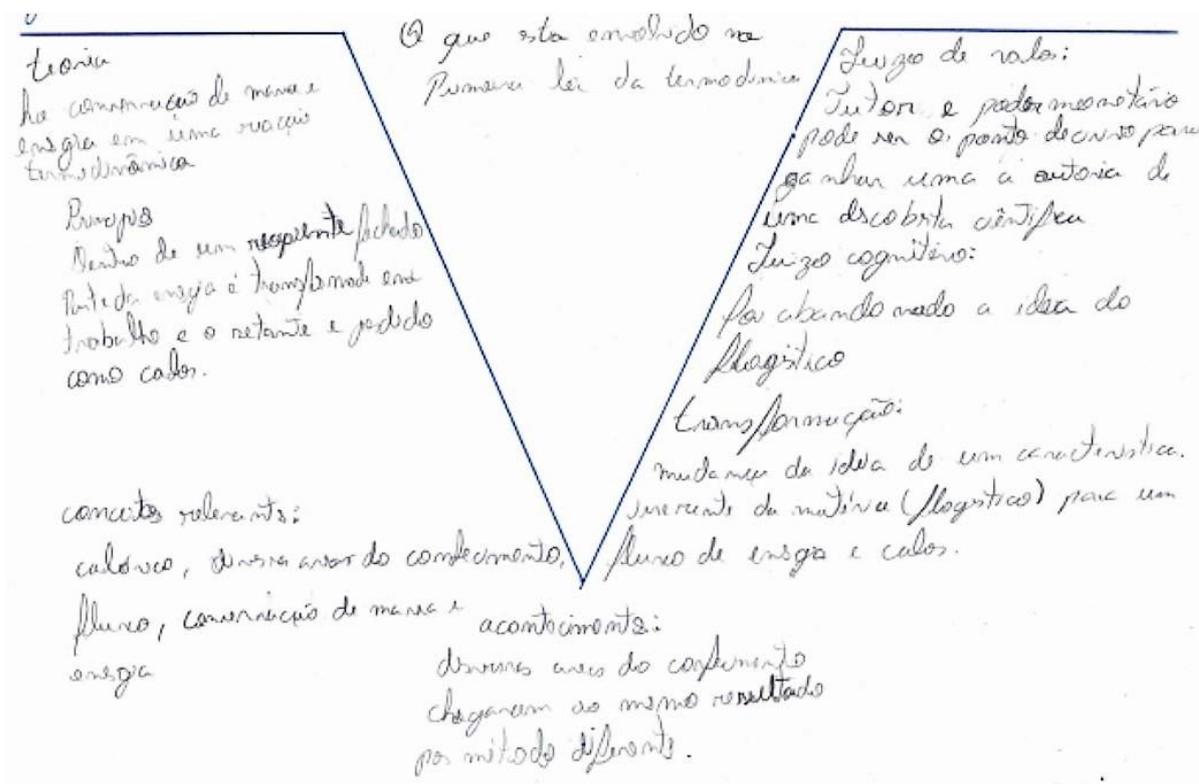


Figura 36 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P2 durante a atividade 3.



Figura 37 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P3 durante a atividade 3.

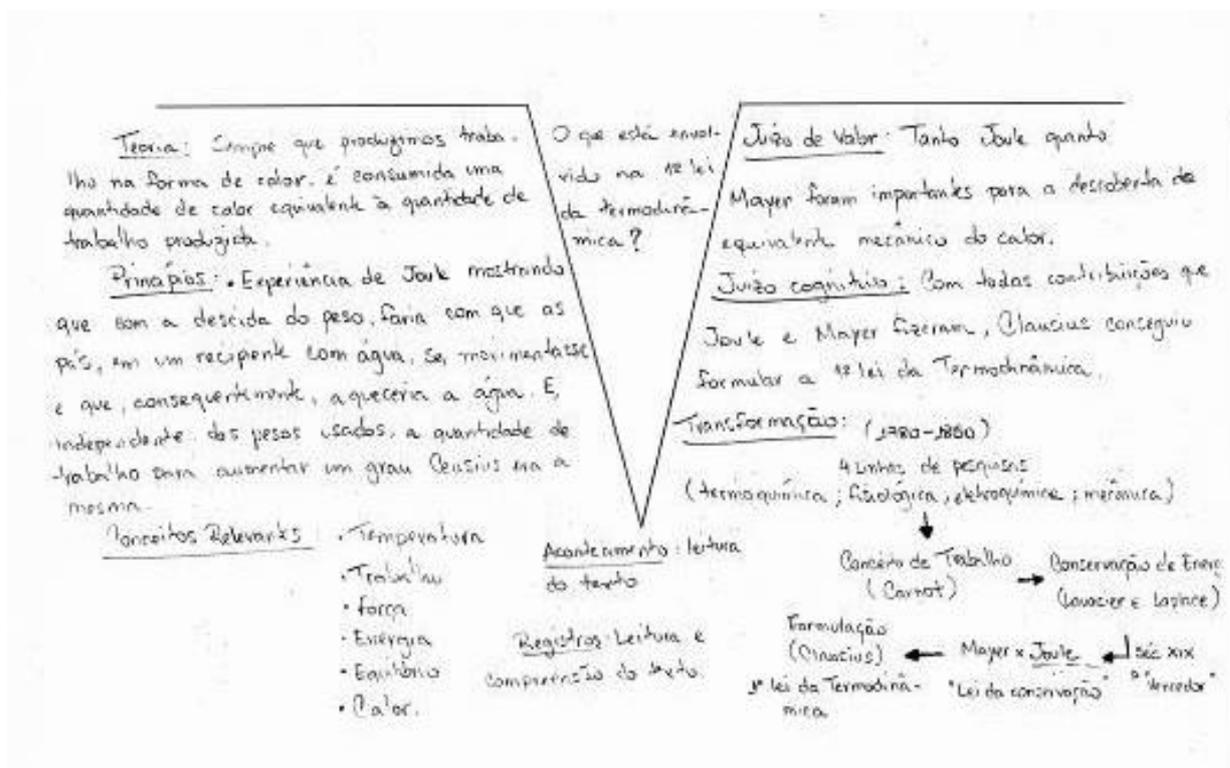


Figura 38 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P5 durante a atividade 3.

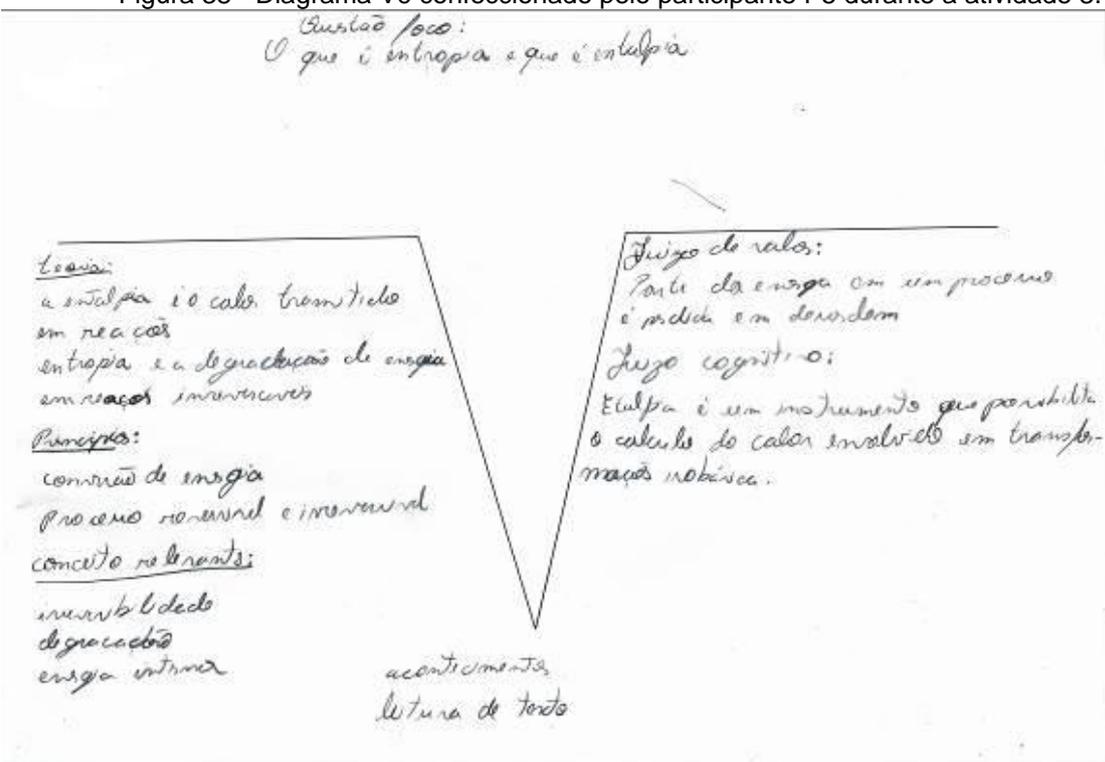


Figura 39 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P2 durante a atividade 4.

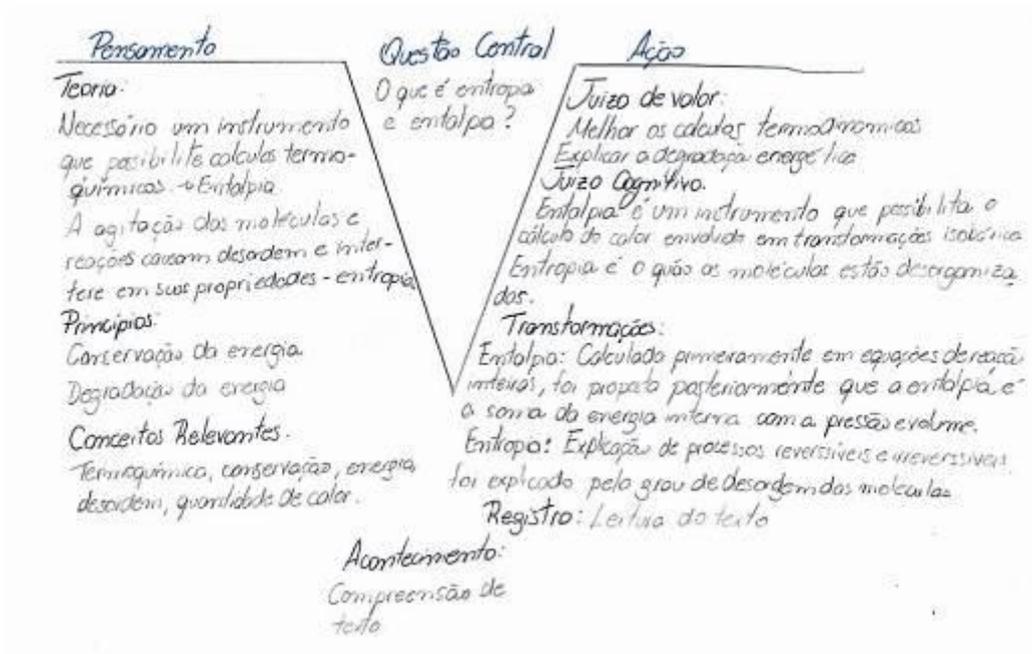


Figura 40 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P3 durante a atividade 4.

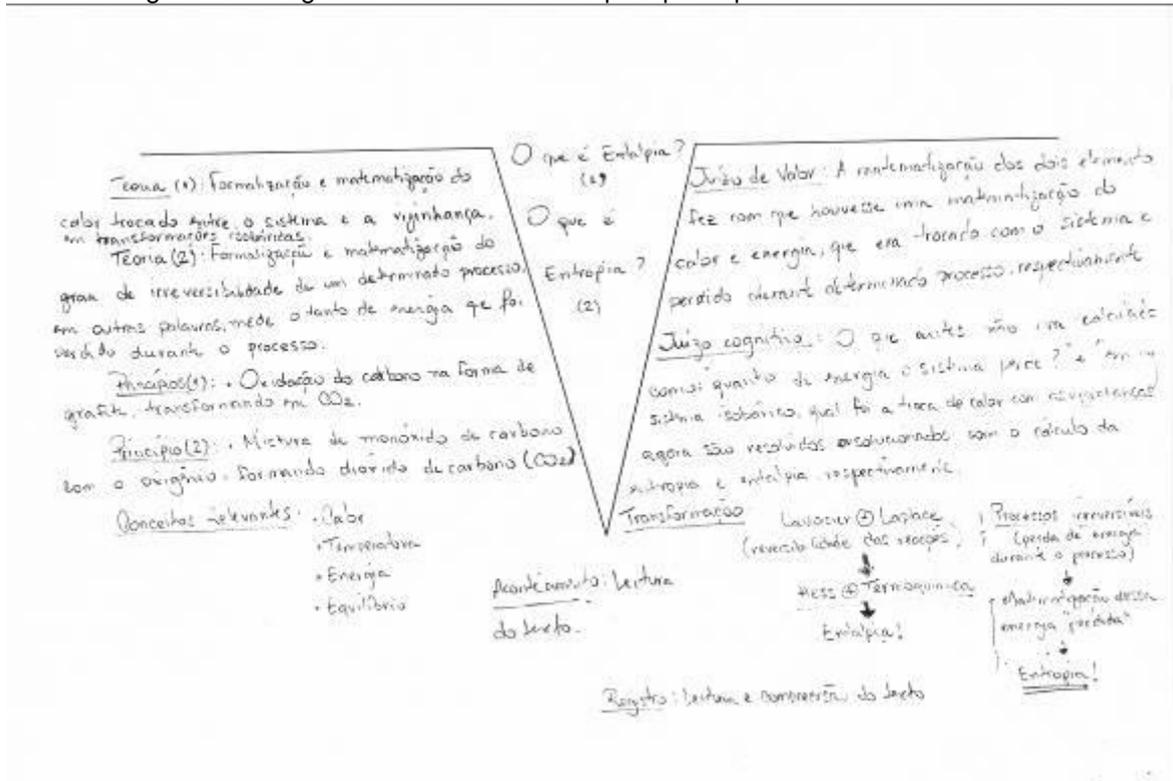


Figura 41 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P5 durante a atividade 4.

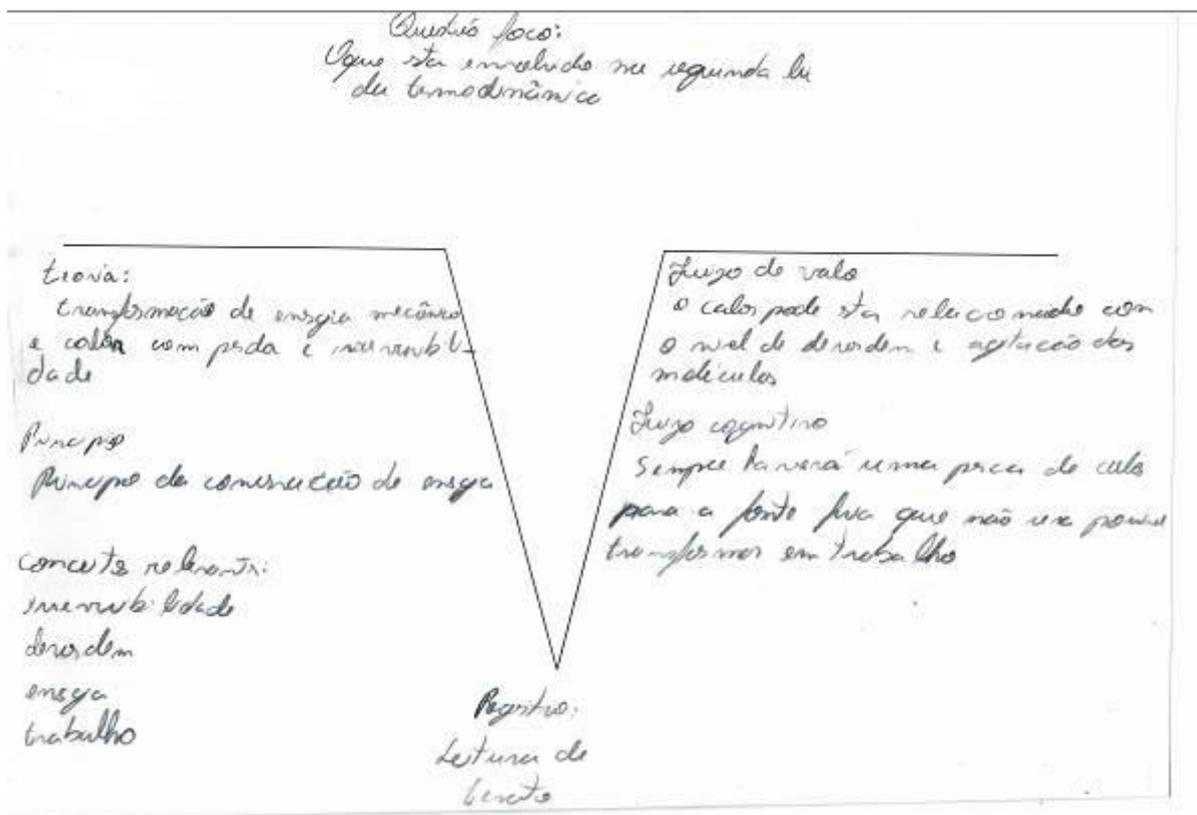


Figura 42 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P2 durante a atividade 5.



Figura 43 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P3 durante a atividade 5.

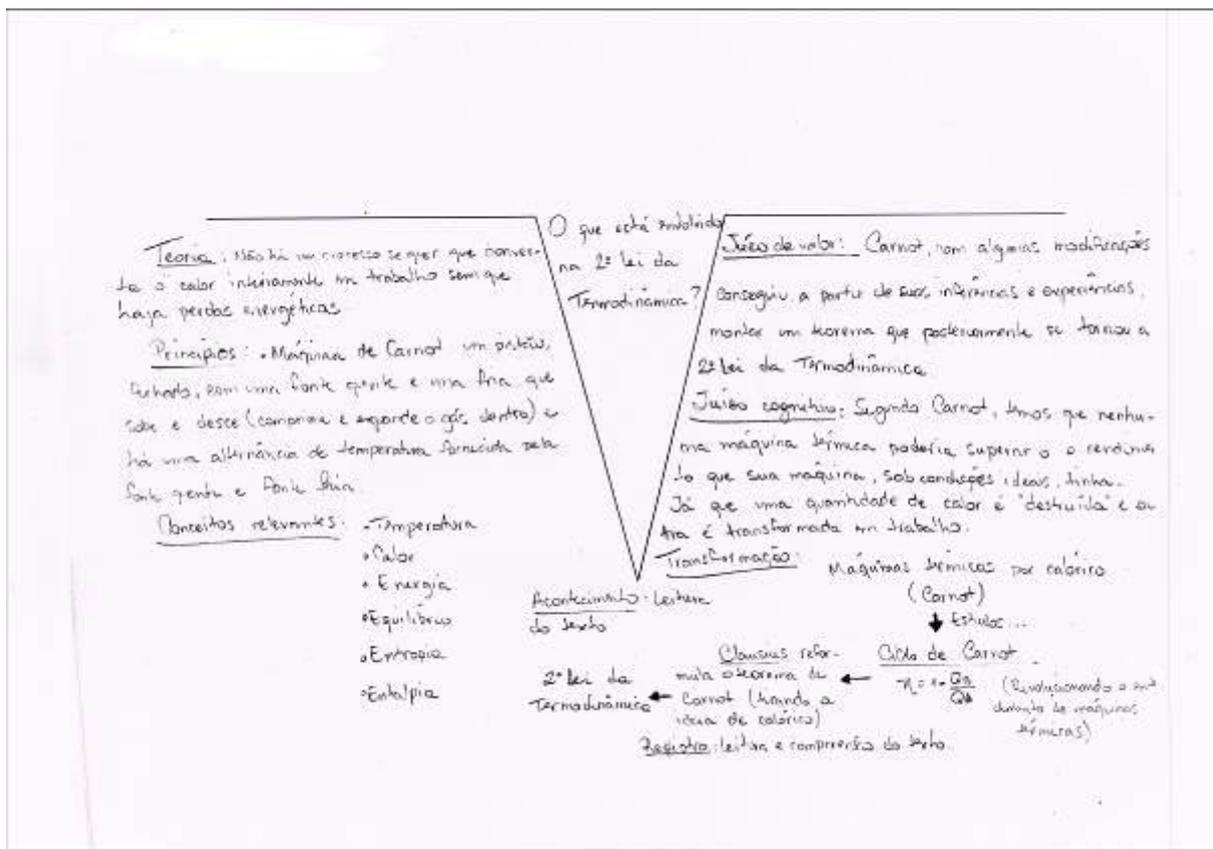


Figura 44 - Diagrama Vê confeccionado pelo participante P5 durante a atividade 5.

## **APÊNDICE D – Unidades de Contexto e de Registro**

Os dados obtidos por meio da abordagem pedagógica e unitarizados nas unidades de contexto e registro foram disponibilizados para a banca, a fim de conferir transparência no processo de qualificação e defesa. Na versão final foram retirados dos apêndices, uma vez que os autores utilizarão esses dados para a elaboração de artigos científicos. No entanto, os dados ficarão disponíveis para consulta e para pesquisas científicas, e para isso, entrar em contato com os pesquisadores.