

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
CENTRO INTERDISCIPLINAR DE NOVAS TECNOLOGIAS NA EDUCAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA NA EDUCAÇÃO

Rodrigo Garrett da Costa

**FORMAÇÃO DE CONCEITOS CIENTÍFICOS MEDIADA POR  
RECURSOS COMPUTACIONAIS: ESTUDO DE CASO APLICADO À  
TERMODINÂMICA.**

Porto Alegre  
2012

Rodrigo Garrett da Costa

**FORMAÇÃO DE CONCEITOS CIENTÍFICOS MEDIADA POR  
RECURSOS COMPUTACIONAIS: ESTUDO DE CASO APLICADO À  
TERMODINÂMICA.**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Informática na Educação.

Orientador: Liliana Maria Passerino  
Coorientador: Milton Antônio Zaro

Linha de Pesquisa: Ambientes Informatizados  
e Ensino à Distância

Porto Alegre

2012

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
Reitor: Prof. Carlos Alexandre Netto  
Vice-Reitor: Prof. Rui Vicente Oppermann  
Pró-Reitor de Pós-Graduação: Prof. Aldo Bolten Lucion  
Diretor do CINTED: Profa. Liane Margarida Rockenbach Tarouco  
Coordenador do PPGIE: Profa. Maria Cristina Villanova Biazus

Costa, Rodrigo Garrett da  
Formação de Conceitos Científicos Mediada por  
Recursos Computacionais: Estudo de Caso Aplicado à  
Termodinâmica / Rodrigo Garrett da Costa. -- 2012.  
268 f.

Orientador: Liliana Maria Passerino.  
Coorientador: Milton Antônio Zaro.

Tese (Doutorado) -- Universidade Federal do Rio  
Grande do Sul, Centro de Estudos Interdisciplinares  
em Novas Tecnologias na Educação, Programa de Pós-  
Graduação em Informática na Educação, Porto Alegre, BR-  
RS, 2012.

1. Teoria Histórico-Cultural. 2. Ensino e  
Aprendizagem. 3. Conceitos Científicos. 4.  
Termodinâmica. 5. Tecnologias Computacionais. I.  
Passerino, Liliana Maria, orient. II. Zaro, Milton  
Antônio, coorient. III. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os



Rodrigo Garrett da Costa

**FORMAÇÃO DE CONCEITOS CIENTÍFICOS MEDIADA POR  
RECURSOS COMPUTACIONAIS: ESTUDO DE CASO APLICADO À  
TERMODINÂMICA**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Informática na Educação do Centro Interdisciplinar de Novas Tecnologias na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como requisito para obtenção do título de Doutor em Informática na Educação.

---

Prof. Dra. Liliana Maria Passerino – UFRGS – Orientadora

---

Prof. Dr. Milton Antônio Zaro – UFRGS – Co-orientador

---

Prof. Dra. Gilse A. Morgental Falkembach – ULBRA Santa Maria

---

Prof. Dra. Mara Lucia Fernandes Carneiro – UFRGS

---

Prof. Dr. José Valdeni de Lima – UFRGS

## **DEDICATÓRIA**

*Dedico este trabalho à minha esposa Juliana, por todo o amor, cumplicidade e também pelo apoio incondicional que me fez superar todas as adversidades e seguir adiante.*

*Ao meu filho Pedro, pelos momentos em que precisei ficar ausente, mesmo estando ao seu lado. Que o cumprimento de mais essa etapa possa vir a ser motivo de orgulho para você.*

*Dedico também aos meus pais e irmãos, com os quais eu sempre pude contar nos momentos mais difíceis da minha vida.*

## **AGRADECIMENTO**

*Agradeço à Dra. Liliana Maria Passerino, minha orientadora, por compartilhar um pouco da sua experiência e conhecimento.*

*Aos colegas e amigos do DINTER, pela agradável convivência durante todos esses anos.*

*À UFRGS, e em especial aos professores do PGIE, pela competência e dedicação dispensadas durante todo o curso.*

*Ao Instituto Federal Fluminense, por acreditar no projeto do DINTER e fornecer total apoio para que pudéssemos desenvolver nossas pesquisas.*

*À CAPES, pelo apoio financeiro que custeou a nossa permanência em Porto Alegre, durante os períodos em que precisamos nos dedicar integralmente ao doutorado.*

*Aos alunos que integraram essa pesquisa, pelos momentos de aprendizado e descontração.*

*Enfim, a todos que de alguma forma contribuíram para que esse projeto se concretizasse.*

## RESUMO

Este trabalho investigou como as sequências de atividades mediadas por recursos computacionais contribuem para o processo de formação dos conceitos científicos de calor, trabalho e entropia entre estudantes licenciandos em Química. Essa pesquisa atravessa diversos campos do conhecimento como educação, psicologia e computação, visando a estruturar e a analisar diferentes estratégias pedagógicas mediadas por tecnologias computacionais tais como a animação interativa, a modelagem e a simulação computacional. A fundamentação teórica do eixo didático e pedagógico encontra-se apoiada nos estudos de Zabala e Galperin, enquanto que o eixo psicológico busca inspiração na Teoria Histórico-Cultural de Vigotski e em seus estudos experimentais do desenvolvimento de conceitos científicos. Para responder esse problema de pesquisa, foi utilizado o método de investigação de estudo de casos, sob o enfoque explanatório. Os casos ou unidades de análise consistiram em dois grupos de estudantes do curso de licenciatura em Química do Instituto Federal Fluminense, RJ, Brasil, cujas ideias conceituais foram acompanhadas durante as atividades computacionais, em termos de emprego dos signos e sua aplicação não mecânica, reflexão acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos e capacidade de abstração. Com isso, foi proposto um desdobramento das ideias de Zabala e Galperin relativas às qualidades desejáveis nas sequências de atividades mediadas por recursos computacionais, bem como descrito um modelo teórico para a dinâmica do processo de formação dos conceitos científicos durante as respectivas sequências de atividades.

**Palavras-chave:** Teoria Histórico-Cultural, Ensino e Aprendizagem, Conceitos Científicos, Termodinâmica, Tecnologias Computacionais.

## ABSTRACT

This study aimed to investigate how the sequences of activities mediated by computational resources contribute to the formation process of scientific concepts of heat, work and entropy among chemistry undergraduate students. Our research goes through several fields of knowledge such as education, psychology and computing, in order to structure and analyze different teaching strategies mediated by educational technologies such as interactive animation, modeling and computer simulation. The theoretical basis for didactics and pedagogy is supported by the Zabala and Galperin studies, while the psychological framework is inspired in the Historical-cultural Theory of Vygotsky and his experimental studies on the development of scientific concepts. To answer our research problem, the case study method was used under an explanatory focus. Our cases or units of analysis consisted of two students groups from the graduate program of chemistry of Fluminense Federal Institute, RJ, Brazil, whose conceptual ideas were followed during computational activities, in terms of signs employment and its non mechanical application, reflection on the general and essential properties of objects and the capacity for abstraction. As a result, we were able to propose a deployment of Zabala and Galperin ideas focused on the qualities desirable in the sequences of activities mediated by computational resources and also describe a theoretical model for the dynamic formation process of the scientific concepts during the respective sequence of activities.

**Keywords:** Historical-cultural Theory, Teaching and Learning, Scientific Concepts, Thermodynamic, Computing Technology.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1</b> – Tela inicial do <i>software</i> de modelagem computacional Modellus versão 4.01 ..	39
<b>Figura 2.2</b> – Exemplo de uma modelagem computacional realizada no Modellus .....	40
<b>Figura 2.3</b> – Animação interativa “Primeira Lei da Termodinâmica” .....	42
<b>Figura 2.4</b> – Animação interativa “Segunda Lei da Termodinâmica” .....	42
<b>Figura 2.5</b> – Tela inicial do ambiente PBworks, modo edição de texto .....	44
<b>Figura 2.6</b> – Inserindo uma figura no ambiente PBworks .....	45
<b>Figura 3.1</b> – Esquema representativo da dinâmica de formação dos conceitos.....	55
<b>Figura 4.1</b> – Captura da tela de boas vindas do ambiente PBworks denominado Licenciatura em Química 2011 .....	88
<b>Figura 4.2</b> – Simulação computacional para o equivalente mecânico de calor .....	89
<b>Figura 4.3</b> – Captura de tela da modelagem computacional realizada com o <i>software</i> Modellus envolvendo trabalho isotérmico expansivo em sistemas de gases ideias e reais .....	91
<b>Figura 4.4</b> – Captura de tela dos objetos de aprendizagem disponíveis em: <a href="http://www.fisica.ufpb.br/~romero/">http://www.fisica.ufpb.br/~romero/</a> .....	94
(a) Segunda Lei da Termodinâmica (ciclo de Carnot); (b) Transformações Termodinâmicas; (c) Primeira Lei da Termodinâmica (Ciclo de Otto); (d) Geladeiras e Refrigeradores.	
<b>Figura 5.1</b> – Caracterização dos sujeitos de investigação: instituição de ensino de origem..	103
<b>Figura 5.2</b> – Caracterização dos sujeitos de investigação: realização de curso técnico pelos estudantes .....	103
<b>Figura 5.3</b> – Caracterização dos sujeitos de investigação: afinidade com os conteúdos abordados na disciplina de Físico-química .....	104
<b>Figura 5.4</b> – Caracterização dos sujeitos de investigação: experiência profissional .....	105
<b>Figura 5.5</b> – Exemplos de mapas conceituais construídos pelos alunos .....	107
<b>Figura 5.6</b> – Descrição da primeira sequência de atividades (simulação computacional para o equivalente mecânico de calor) - turma B .....	112
<b>Figura 5.7</b> – Descrição da segunda sequência de atividades (modelagem computacional para trabalho expansivo isotérmico de gases ideia e reais) - turma B .....	120
<b>Figura 5.8</b> – Descrição da terceira sequência de atividades (A Termodinâmica e o desenvolvimento das máquinas térmicas) - turma B .....	128
<b>Figura 5.9</b> – Mapa conceitual inicial - estudante A (2010-II) .....	146
<b>Figura 5.10</b> – Mapa conceitual final - estudante A (2010-II) .....	147
<b>Figura 5.11</b> – Atividade de modelagem computacional realizada no Modellus pelo estudante	

A (2010-II) .....	149
<b>Figura 5.12</b> – Resposta à questão de número 1 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q1) - estudante A .....	150
<b>Figura 5.13</b> – Resposta à questão de número 3 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q3) - estudante A .....	151
<b>Figura 5.14</b> – Resposta à questão de número 4 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q4) - estudante A .....	152
<b>Figura 5.15</b> – Resposta à questão de número 5, item a, do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q5) - estudante A .....	153
<b>Figura 5.16</b> – Resposta à questão de número 1 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q1) - estudante A .....	154
<b>Figura 5.17</b> – Resposta à questão de número 2 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q2) - estudante A .....	155
<b>Figura 5.18</b> – Resposta à questão de número 4 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q4) - estudante A .....	156
<b>Figura 5.19</b> – Mapa conceitual inicial - estudante J (2010-II) .....	163
<b>Figura 5.20</b> – Mapa conceitual final - estudante J (2010-II) .....	164
<b>Figura 5.21</b> – Atividade de modelagem computacional realizada no Modellus pelo estudante J (2010-II) .....	165
<b>Figura 5.22</b> – Resposta à questão de número 1 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q1) - estudante J .....	166
<b>Figura 5.23</b> – Resposta à questão de número 2 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q2) - estudante J .....	167
<b>Figura 5.24</b> – Resposta à questão de número 3 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q3) - estudante J .....	168
<b>Figura 5.25</b> – Resposta à questão de número 4 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q4) - estudante J .....	169
<b>Figura 5.26</b> – Resposta à questão de número 5 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q5) - estudante J .....	170
<b>Figura 5.27</b> – Resposta à questão de número 1 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q1) - estudante J .....	171
<b>Figura 5.28</b> – Resposta à questão de número 2 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q2) - estudante J .....	172
<b>Figura 5.29</b> – Resposta à questão de número 3 do teste final envolvendo a segunda lei da	

Termodinâmica (T2-q3) - estudante J .....	173
<b>Figura 5.30</b> – Resposta à questão de número 4 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q4) - estudante J .....	174
<b>Figura 5.31</b> – Resposta à questão de número 5 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q5) - estudante J .....	175
<b>Figura 5.32</b> – Mapa conceitual inicial - estudante Ma (2011-I) .....	192
<b>Figura 5.33</b> – Captura de tela do ambiente PBworks - grupo 2 (2011-I) .....	193
<b>Figura 5.34</b> – Atividade de modelagem computacional realizada no Modellus pelo estudante Ma (2011-I) .....	194
<b>Figura 5.35</b> – Resposta à questão de número 1 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q1) - estudante Ma .....	195
<b>Figura 5.36</b> – Resposta à questão de número 2 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q2) - estudante Ma .....	196
<b>Figura 5.37</b> – Resposta à questão de número 3 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q3) - estudante Ma .....	197
<b>Figura 5.38</b> – Resposta à questão de número 4 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q4) - estudante Ma .....	198
<b>Figura 5.39</b> – Mapa conceitual inicial - estudante Lu (2011-I) .....	204
<b>Figura 5.40</b> – Captura de tela do ambiente PBworks - grupo 1 (2011-I) .....	205
<b>Figura 5.41</b> – Atividade de modelagem computacional realizada no Modellus pelo estudante Lu (2011-I) .....	206
<b>Figura 5.42</b> – Resposta à questão de número 1 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q1) - estudante Lu .....	207
<b>Figura 5.43</b> – Resposta à questão de número 2 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q2) - estudante Lu .....	208
<b>Figura 5.44</b> – Resposta à questão de número 3 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q3) - estudante Lu .....	209
<b>Figura 5.45</b> – Resposta à questão de número 5 item a do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q5) - estudante Lu .....	209
<b>Figura 5.46</b> – Resposta à questão de número 4 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q4) - estudante Lu .....	210



## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 5.1</b> – Consolidação das respostas dos alunos ao questionário sócio acadêmico .....	106
<b>Tabela 5.2</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 4 do relatório referente à primeira sequência de atividades .....	109
<b>Tabela 5.3</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 6 do relatório referente à primeira sequência de atividades .....	110
<b>Tabela 5.4</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 1 do relatório referente à primeira sequência de atividades .....	112
<b>Tabela 5.5</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 2 do relatório referente à primeira sequência de atividades .....	114
<b>Tabela 5.6</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 3 do relatório referente à primeira sequência de atividades .....	114
<b>Tabela 5.7</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 5 do relatório referente à primeira sequência de atividades .....	115
<b>Tabela 5.8</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 4 do relatório referente à segunda sequência de atividades .....	119
<b>Tabela 5.9</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 6 do relatório referente à segunda sequência de atividades .....	119
<b>Tabela 5.10</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 1 do relatório referente à segunda sequência de atividades .....	121
<b>Tabela 5.11</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 2 do relatório referente à segunda sequência de atividades .....	122
<b>Tabela 5.12</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 3 do relatório referente à segunda sequência de atividades .....	122
<b>Tabela 5.13</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 5 do relatório referente à segunda sequência de atividades .....	123
<b>Tabela 5.14</b> - Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 4 do relatório referente à terceira sequência de atividades .....	126
<b>Tabela 5.15</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 6 do relatório referente à terceira sequência de atividades .....	127
<b>Tabela 5.16</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 1 do relatório referente à terceira sequência de atividades .....	129
<b>Tabela 5.17</b> – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 2 do relatório	

referente à terceira sequência de atividades .....130

**Tabela 5.18** – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 3 do relatório

referente à terceira sequência de atividades .....131

**Tabela 5.19** – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 5 do relatório

referente à terceira sequência de atividades .....131

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 2.1</b> – Caracterização das Zonas de Perfil Conceitual para o conceito de calor. Adaptado de Amaral e Mortimer (2001).....	32
<b>Quadro 2.2</b> – Classificação e exemplos de ferramentas de modelagem matemática com aplicação no ensino de Física .....	37
<b>Quadro 3.1</b> – Análise comparativa entre os conhecimentos empíricos e os teóricos .....	69
<b>Quadro 3.2</b> – Características presentes nos quatro tipos de unidades didáticas .....	82
<b>Quadro 4.1</b> – Descrição e classificação das sequências de atividades .....	99
<b>Quadro 4.2</b> – Esquema geral das estratégias utilizadas durante a pesquisa .....	101
<b>Quadro 5.1</b> – Análise comparativa das respostas à questão de número 1 do relatório referente às três sequências de atividades .....	133
<b>Quadro 5.2</b> – Análise comparativa das respostas à questão de número 4 do relatório referente às três sequências de atividades .....	135
<b>Quadro 5.3</b> – Análise comparativa das respostas à questão de número 5 do relatório referente às três sequências de atividades .....	136
<b>Quadro 5.4</b> – Descrição dos instrumentos ou fontes de dados utilizados nas diferentes fases de estudo do processo de formação de conceitos .....	141
<b>Quadro 5.5</b> – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de calor - estudante A (2010-II) .....	159
<b>Quadro 5.6</b> – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de trabalho de expansão - estudante A (2010-II) .....	160
<b>Quadro 5.7</b> – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de entropia - estudante A (2010-II) .....	161
<b>Quadro 5.8</b> – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de calor - estudante J (2010-II) .....	176
<b>Quadro 5.9</b> – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de trabalho de expansão - estudante J (2010-II) .....	177
<b>Quadro 5.10</b> – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de entropia - estudante J (2010-II) .....	178
<b>Quadro 5.11</b> – Síntese da análise da formação do conceito de calor - turma A .....	180
<b>Quadro 5.12</b> – Síntese da análise da formação do conceito de trabalho de expansão - turma A .....	182
<b>Quadro 5.13</b> – Síntese da análise da formação do conceito de entropia - turma A .....	184

<b>Quadro 5.14</b> – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de calor - estudante Ma (2011-I) .....	200
<b>Quadro 5.15</b> – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de trabalho de expansão - estudante Ma (2011-I) .....	201
<b>Quadro 5.16</b> – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de entropia - estudante Ma (2011-I) .....	202
<b>Quadro 5.17</b> – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de calor - estudante Lu (2011-I) .....	211
<b>Quadro 5.18</b> – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de trabalho de expansão - estudante Lu (2011-I) .....	212
<b>Quadro 5.19</b> – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de entropia - estudante Lu (2011-I) .....	213
<b>Quadro 5.20</b> – Síntese da análise da formação do conceito de calor - turma B .....	214
<b>Quadro 5.21</b> – Síntese da análise da formação do conceito de trabalho de expansão - turma B .....	216
<b>Quadro 5.22</b> – Síntese da análise da formação do conceito de entropia - turma B .....	218

## APÊNDICE

**APÊNDICE A** – Termo de consentimento livre e esclarecido

**APÊNDICE B** – Questionário sócio acadêmico.

**APÊNDICE C** – Estruturação das atividades computacionais - período letivo de 2010/II

**APÊNDICE D** – Estruturação das atividades computacionais - período letivo de 2011/I

**APÊNDICE E** – Modelo do relatório de atividades.

**APÊNDICE F** – Roteiro de atividades para a simulação de Equivalente Mecânico de Calor.

**APÊNDICE G** – Atividade de criação com o *software* Modellus: Explorando equações de trabalho reversível e irreversível.

**APÊNDICE H** – Roteiro de atividades para o objeto de aprendizagem “Segunda Lei da Termodinâmica”.

**APÊNDICE I** – Atividade de desafios para o objeto de aprendizagem “Segunda Lei da Termodinâmica”.

**APÊNDICE J** – Teste inicial de conhecimentos para os conceitos de calor, temperatura e energia interna (adaptado de Silveira & Moreira, 1996).

**APÊNDICE K** – Teste final sobre a primeira lei da Termodinâmica (Adaptado de Meltzer, 2004).

**APÊNDICE L** – Teste final sobre a segunda lei da Termodinâmica (Adaptado de Meltzer, 2008).

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**BOA** – Base Orientadora da Ação

**c** – Calor Específico

**IEEE** – Institute of Electrical and Electronics Engineers

**K** – Kelvin

**LTSC** – Learning Technology Standards Committee

**M** – Massa

**OA** – Objeto de Aprendizagem

**P** – Pressão

**PPE** – Processos Psicológicos Elementares

**PPS** – Processos Psicológicos Superiores

**q** – Calor

**S** – Entropia

**T** – Temperatura

**V** – Volume

**w** – Trabalho

**ZA** – Zona de Perfil Animista

**ZDI** – Zona de Desenvolvimento Imediato

**ZE** – Zona de Perfil Empírica

**ZF** – Zona de Perfil Formalista

**ZP** – Zona de Perfil Perceptiva/ intuitiva

**ZR** – Zona de Perfil Realista

**ZRa** – Zona de Perfil Racionalista

**ZS** – Zona de Perfil Substancialista

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	20
<b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b> .....	23
2.1 DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM DAS LEIS E CONCEITOS DA TERMODINÂMICA .....	23
2.2 USO DAS TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE FÍSICA E DE QUÍMICA .....	33
<b>3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA PESQUISA</b> .....	46
3.1 PSICOLOGIA HISTÓRICO-CULTURAL .....	46
3.2 ESTUDOS DO DESENVOLVIMENTO DE CONCEITOS .....	51
3.2.1 Formação de conceitos em Vigotski .....	54
3.2.2 Formação de conceitos em Leontiev e Davydov (Teoria da Atividade) .....	64
3.2.3 Formação de conceitos em Galperin (Teoria da Assimilação por Etapas das Ações Mentais) .....	71
3.3 CONTEÚDOS DE APRENDIZAGEM E PRÁTICAS EDUCATIVAS .....	78
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	84
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO .....	84
4.1.1 Fase zero ou fase de diagnóstico .....	86
4.1.2 Primeira fase ou fase de planejamento e estruturação das sequências de atividades .....	87
4.1.3 Segunda fase ou fase de execução e acompanhamento das sequências de atividades .....	88
4.1.3.1 Sequência de Atividades do tipo IV: Equivalente mecânico de calor (experimento de Joule) .....	88
4.1.3.2 Sequência de Atividades do tipo II: Cálculo de trabalho expansivo isotérmico para sistemas envolvendo gases ideais e reais ..	90
4.1.3.3 Sequência de Atividades do tipo IV: A Termodinâmica e o desenvolvimento das máquinas térmicas .....	93
4.1.4 Terceira fase ou fase de análise das sequências de atividades .....	96
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	102
5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SUJEITOS DA INVESTIGAÇÃO .....	102
5.2 ANÁLISE DAS SEQUÊNCIAS DE ATIVIDADES COM BASE NA TEORIA DE GALPERIN .....	108
5.2.1 Primeira sequência de atividades - Equivalente mecânico de calor (experimento de Joule) .....	108
5.2.2 Segunda sequência de atividades - Cálculo de trabalho expansivo isotérmico para sistemas envolvendo gases ideais e reais .....	117
5.2.3 Terceira sequência de atividades - A Termodinâmica e o desenvolvimento das máquinas térmicas .....	125

5.3 ANÁLISE COMPARATIVA DAS SEQUÊNCIAS DE ATIVIDADES.....	133
5.4 REFLEXÕES INICIAIS.....	138
5.5 FORMAÇÃO DE CONCEITOS NAS SEQUÊNCIAS DE ATIVIDADES MEDIADAS POR RECURSOS COMPUTACIONAIS .....	141
5.5.1 Primeiro caso ou turma A (2010-II) .....	143
5.5.2. Segundo caso ou turma B (2011-I) .....	190
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>221</b>
6.1 PRIMEIRO OBJETIVO: ESTRUTURAÇÃO E ANÁLISE DAS SEQUÊNCIAS DE ATIVIDADES MEDIADAS POR RECURSOS COMPUTACIONAIS.....	221
6.2 SEGUNDO OBJETIVO: ANÁLISE DO PROCESSO DE FORMAÇÃO DE CONCEITOS DURANTE AS SEQUÊNCIAS DE ATIVIDADES MEDIADAS POR RECURSOS COMPUTACIONAIS.....	224
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>230</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>238</b>



## 1. INTRODUÇÃO

O estudo das leis e princípios da Termodinâmica exige dos estudantes um amplo conhecimento simbólico e conceitual, além de um razoável domínio das notações e operações matemáticas intrínsecas a essa área da ciência. A falta de uma dessas qualidades, aliada à dificuldade em interpretar conceitos e fenômenos essencialmente abstratos, faz com que muitos alunos se sintam indiferentes e desmotivados durante o estudo desse tema de interesse da Físico-química, preocupando-se mais em memorizar equações e fórmulas do que em compreender adequadamente a matéria.

Para minimizar esse problema, destaca-se, por um lado, a necessidade de ampliação do diálogo em sala de aula, como forma de promover a motivação e o envolvimento dos estudantes com o estudo dos conteúdos propostos, e por outro, o respeito às diversidades pessoais e potencialidades de cada aluno. A valorização desses dois aspectos é particularmente importante quando os sujeitos envolvidos no processo de ensino e aprendizagem se tratam de estudantes licenciandos, cuja postura de encarar a ciência deve levar em conta sua natureza dinâmica, articulada, histórica e acima de tudo não neutra.

A construção dos conhecimentos da Físico-Química, por sua vez, tem relação direta com fatores como disponibilidade e interesse em aprender, mas também depende da preexistência, na estrutura cognitiva do aluno, de diversas ideias e experiências anteriores. Assim sendo, cabe ao professor detectar e resolver conflitos, propor novos conteúdos e desafios, além de acompanhar o progresso individual e a atuação autônoma dos estudantes. Isso equivale à busca de mecanismos para que o ensino dos conteúdos propostos possa ocorrer com base no envolvimento ativo dos aprendizes e na construção compartilhada dos diversos significados cientificamente aceitos.

Nesse contexto, o uso das ferramentas computacionais configura-se como um poderoso aliado em favor tanto de educadores quanto de educandos. Muitos podem ser os benefícios advindos do uso desses recursos nas aulas de Química, seja na exploração de fenômenos abstratos, no desenvolvimento da capacidade de representação nos alunos, na exploração visual de modelos, na análise de variáveis que representam sistemas ou fenômenos, só para citar alguns.

O presente trabalho de pesquisa, intitulado **Formação de Conceitos Científicos Mediada por Recursos Computacionais: Estudo de Caso Aplicado à Termodinâmica** tem por objetivo investigar o processo de formação de conceitos físico-químicos entre alunos

licenciandos, durante as atividades de aula mediadas por recursos computacionais. Para tanto, foram propostas sequências de atividades mediadas por recursos computacionais voltadas ao processo de formação dos conceitos científicos de calor, trabalho e entropia, com posterior análise da dinâmica do seu processo de formação.

Para responder esse problema de pesquisa que consiste em se compreender **como as sequências de atividades mediadas por recursos computacionais contribuem no processo de formação de conceitos científicos em Termodinâmica, entre alunos do curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal Fluminense?** foi utilizado o método de investigação de estudo de casos, em que os casos ou unidades de análise foram delineados a partir de duas situações em contextos distintos. O primeiro caso (turma A) envolveu 12 estudantes licenciandos do curso de graduação em Química do Instituto Federal Fluminense, RJ, regularmente matriculados na disciplina Físico-Química 1. Já o segundo caso (turma B) contou com outros 10 estudantes matriculados no mesmo curso e disciplina durante o primeiro semestre de 2011. Na turma A, as sequências de atividades mediadas por recursos computacionais foram desenvolvidas de forma estanque (não integrada) ao longo do período, enquanto que na turma B, as aulas teóricas transcorreram de forma integrada com as atividades computacionais.

A base teórica dessa investigação é composta: a) pela Teoria Histórico-Cultural de Vigotski (VIGOTSKI, 2001), sobretudo na interpretação dos aspectos cognitivos e psicológicos envolvidos no processo de formação de conceitos, como o caráter mediado da atividade humana e o uso de instrumentos (ferramentas e signos); b) pela Teoria da Assimilação por Etapas das Ações Mentais de Galperin (1959, 1986), com foco na compreensão do mecanismo de assimilação do conhecimento, ou seja, na passagem do plano da experiência social para o da experiência individual (internalização); c) pela noção de Zonas de Perfil aplicada aos conceitos de calor e entropia (AMARAL e MORTIMER, 2001, 2007); d) pelos princípios didáticos estabelecidos por Nuñez (2009), os quais nortearam as nossas ações pedagógicas voltadas à formação/aplicação dos conceitos em sala de aula; e) pelas contribuições de Zabala (1998) referentes ao planejamento, aplicação e avaliação das sequências de atividades.

No que tange aos recursos tecnológicos, vislumbrou-se a possibilidade de uso para fins educacionais de diversas ferramentas, tais como: o ambiente *PBworks* de trabalho colaborativo via *web*; a animação interativa; os objetos de aprendizagem e a modelagem computacional realizada com o *software* Modellus.

Sendo assim, apresenta-se no Capítulo 2 uma revisão da literatura na qual são trazidos diversos trabalhos enfocando as dificuldades apresentadas por estudantes universitários, quanto ao estudo das leis e conceitos da Termodinâmica. Posteriormente, no mesmo capítulo, são relatados, com base em estudos correlatos, os limites e as possibilidades advindos do uso das tecnologias computacionais no ensino de física e de química, mais especificamente relacionadas aos *softwares* de simulação e modelagem computacionais, aos objetos de aprendizagem e ao ambiente *wiki* para edição colaborativa de páginas *web*.

No Capítulo 3, apresenta-se a fundamentação teórica da nossa investigação, abordando os princípios da Psicologia Histórico-Cultural de Vigotski, bem como alguns estudos relevantes que envolvem o processo de formação e desenvolvimento dos conceitos, sob a concepção filosófica do materialismo dialético.

A metodologia da pesquisa, detalhada no Capítulo 4, que foi construída a partir do marco teórico interpretativo, permitiu a análise dos dados coletados com mais propriedade, para que pudessem ser apresentados, no Capítulo 5, os resultados e discussões. Por fim, no Capítulo 6, são apresentadas as reflexões, as considerações finais e as perspectivas de trabalhos futuros.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1 DIFICULDADES DE APRENDIZAGEM DAS LEIS E PRINCÍPIOS DA TERMODINÂMICA

O estudo da Termodinâmica se faz presente nas disciplinas do ciclo básico de muitos cursos da área de engenharia e de ciências, como Química, Física, Farmácia, Biologia, Medicina, dentre outros. Sua importância deve-se principalmente às aplicações de suas leis e conceitos nas mais diversas áreas, o que faz esse assunto um tema de pesquisa com ampla divulgação no meio acadêmico e científico.

Diversos são os livros, revistas e artigos científicos especializados na área que visam promover uma ampla divulgação sobre o tema, principalmente no que diz respeito às aplicações na Química e na Física. Por outro lado, conforme afirmam Meltzer (2001) e Cochran e Heron (2006), faltam pesquisas relacionadas a esse assunto que se preocupam com as questões educacionais e pedagógicas; sobretudo àquelas cujo objetivo de investigação está relacionado às estratégias de ensino e às dificuldades de aprendizagem.

Entre os estudantes de nível universitário, é fácil constatar a falta de interesse pelo assunto, que é taxado de impopular em função de ser abstrato, tedioso, difícil e muito teórico, sem aplicação prática aparente. Esses fatores fazem com que muitos alunos adquiram apenas uma compreensão superficial sobre o estudo dos seus conceitos e aplicação de suas leis. Além das questões relacionadas ao conteúdo da disciplina, existem outras para as quais Trejo e Flores (2002) chamam a atenção, que são relativas às abordagens de ensino e à filosofia de aprendizagem: a) normalmente se atribui ao professor o papel de detentor do conhecimento, cabendo ao aluno o papel de mero expectador; b) são exigidos do aluno muitos conhecimentos matemáticos e não moleculares, o que distancia a Termodinâmica da estrutura química da matéria, tornando-a mais abstrata e difícil de ser compreendida; c) o despreparo de muitos professores que não fazem conexão entre os conteúdos da Termodinâmica com os conhecimentos químicos ou físicos, deixando de fazer aplicações em outras áreas.

Nesse sentido, diversas pesquisas vêm sendo realizadas no exterior por Caldeira e Martins (1990), Christensen, Meltzer e Ogilvie (2009), Duit e Kesidou (1988), Meltzer (2001, 2004, 2008), Smith *et al.* (2009), Trejo e Flores (2002) e também no Brasil por Amaral e Mortimer (2001, 2007), Grings, Caballero e Moreira (2006), Silva (1995), Silveira e Moreira (1996), Souza e Justi (2011), na perspectiva de colaborar para a ampliação das discussões sobre esse assunto. Entretanto, em um levantamento realizado por Meltzer (2004), foi constatado que, apesar de existirem centenas de pesquisas envolvendo o ensino da

Termodinâmica entre estudantes de nível secundário, um quantitativo bem menor volta-se à esfera universitária, da qual se destacam os trabalhos de Banerjee (1995), Cullem (1983), Granville (1985), Greenbowe e Meltzer (2003), Kaper e Goedhart (2002), Thomas e Schwenz (1998) e van Roon, van Sprang e Verdonk (1994).

Pesquisas realizadas por Meltzer (2001, 2004, 2008) entre alunos da Universidade de Iowa, nos Estados Unidos (EUA), acerca das suas dificuldades no estudo da Termodinâmica, apontam para a falta de compreensão de alguns conceitos abstratos como calor, temperatura, trabalho, energia interna e entropia. O primeiro estudo investigatório mais aprofundado sobre o tema, sendo realizado naquele país, esclarece Meltzer (2001), foi desenvolvido por Loverude, Kautz e Heron (2002). Nesse estudo, que consistiu de uma ampla investigação com estudantes de três grandes universidades americanas, constatou-se a existência de sérias deficiências no entendimento dos conceitos fundamentais da Termodinâmica. Percebeu-se também a incapacidade de muitos alunos no uso da primeira lei da Termodinâmica para resolver problemas simples em contextos do mundo real.

O grupo de pesquisa liderado por Meltzer (2004), que atua nos cursos de graduação da referida universidade americana, já vem há algum tempo realizando uma ampla investigação sobre o assunto. Durante três anos, de 1999 a 2002, os alunos do curso introdutório de graduação em física foram submetidos a diversos testes e entrevistas, a partir das quais se extraiu uma grande quantidade de informações sobre seus conhecimentos acerca da primeira e da segunda lei da Termodinâmica. Os testes foram realizados com aproximadamente 650 estudantes, que procuraram responder os questionamentos e justificar seus raciocínios no desenvolvimento das tarefas.

Nesses estudos, afirma o autor, ficou constatado que, com frequência, o conceito de temperatura é confundido com o conceito de calor, sendo ambos utilizados como sinônimos. Outra concepção equivocada observada entre estudantes é pensar o calor como sendo determinada quantidade de energia que os corpos possuem; nessa concepção, a temperatura seria uma medida dessa quantidade de energia. Além disso, houve quem pensasse que os objetos feitos de materiais com boa condutividade térmica podem ser mais quentes ou mais frios do que outros objetos na mesma temperatura. O autor esclarece que esse raciocínio surge em função das sensações experimentadas quando os objetos são tocados.

Meltzer (2004) acrescenta que, em outro estudo, realizado anteriormente entre alunos do curso introdutório de Termodinâmica, pôde-se observar mais um aspecto importante: apesar de apresentarem uma compreensão razoável do que seja função de estado, um número

considerável de estudantes atribuiu características de função de estado para os conceitos de trabalho e calor. Segundo o autor, essa falsa ideia está associada a uma forte tendência em se acreditar que o trabalho líquido realizado e o calor líquido absorvido por um sistema em um processo cíclico sejam nulos.

Além das dificuldades relatadas anteriormente, Meltzer (2004) ainda destaca outras não menos importantes: a) a falsa ideia de que é possível aumentar a energia cinética média das moléculas de um gás em uma transformação isotérmica; b) de que em uma transformação isotérmica não pode ocorrer produção de calor; c) acreditar que uma maior absorção de calor está associada à alta pressão; d) utilizar o argumento da compensação do tipo “mais trabalho implica menos calor”, ou vice-versa, com base na primeira lei da Termodinâmica ( $\Delta U = q + w$ ); e) utilizar o sinal (positivo ou negativo) para trabalho e calor de forma indevida de acordo com a convenção adotada<sup>1</sup>; f) a inabilidade em esboçar diagramas, como o de pressão *versus* volume, para explicar as transformações ou fenômenos termodinâmicos.

Em outra pesquisa realizada por Meltzer (2001), ficou constatado que grande parte dos alunos (cerca de 50%) possuía dificuldade em interpretar a quantidade de trabalho expansivo do tipo isotérmico como sendo a área abaixo da curva no diagrama pressão *versus* volume. Segundo o autor, esse fato, associado ao não entendimento do conceito de energia interna, contribui bastante para a dificuldade na identificação dos parâmetros termodinâmicos que se configuram como funções de estado.

Como afirma Meltzer (2008), as dificuldades no entendimento dos principais conceitos da Termodinâmica não se restringem àqueles que fazem parte do estudo da primeira lei, como calor e trabalho. Costuma-se fazer ainda uma grande confusão sobre o papel da entropia no contexto da segunda lei da Termodinâmica, tanto no que diz respeito à sua característica como função de estado, quanto na interpretação das transformações em termos de modificações no sistema e nas vizinhanças. Essa constatação provém de um estudo a partir do qual ficou demonstrado que grande parte dos alunos entende que a entropia total deve aumentar em uma transformação espontânea. Ainda existe uma forte tendência em se afirmar que a entropia do sistema deve sempre aumentar, mesmo nos casos em que essa afirmação carece de informações para ser verdadeira.

Resultados semelhantes foram observados por Cochran e Heron (2006), durante investigação realizada entre alunos do curso de Termodinâmica básica, acerca dos

---

<sup>1</sup> No curso de Física costuma-se atribuir sinal positivo para trabalho expansivo realizado pelo sistema, enquanto o curso de Química utiliza sinal contrário, sem que haja prejuízo para o entendimento da primeira lei da termodinâmica.

conhecimentos relativos à segunda lei aplicada ao estudo dos refrigeradores e motores à combustão. Ao buscarem avaliar a habilidade dos estudantes na aplicação da segunda lei da Termodinâmica, os autores constataram que, além de diversas dificuldades conceituais, existe também uma incapacidade em se reconhecer a relevância de aplicação da referida lei nos processos naturais.

A investigação consistiu na análise de três questões envolvendo conhecimentos quantitativos da primeira e da segunda lei da Termodinâmica aplicados ao estudo da máquina térmica de Carnot. Nessas questões, foram abordadas algumas situações impossíveis de serem conseguidas na natureza, por violarem as leis da Termodinâmica, para que os alunos julgassem se os processos poderiam ou não ocorrer. Os resultados dos testes apontaram para a falta de conhecimentos mais aprofundados, uma vez que a maioria das respostas foi breve, sendo que muitas delas consistiram de adivinhações.

Algumas ideias apresentadas pelos estudantes, apesar de não serem falsas, chamaram a atenção por estarem permeadas de senso comum e carecerem de embasamento científico. Por exemplo, alguns alunos alegaram que o motor poderia funcionar "*porque calor é transferido de uma alta temperatura para uma baixa temperatura*"; outros escreveram que "*pode-se converter calor em trabalho, mas nem todo ele, pois uma parte vai para o reservatório frio*". Nesses dois casos, os autores esclarecem que embora não tenha ocorrido a violação das leis da Termodinâmica, faltaram conhecimentos mais significativos.

Segundo Cochran e Heron (2006), as três principais dificuldades observadas entre os estudantes foram: a) muitos deles não reconheceram a importância da segunda lei da Termodinâmica, ou seja, basearam suas respostas apenas no conhecimento da primeira lei; b) muitos não souberam aplicar corretamente a primeira lei da Termodinâmica, no que diz respeito às transferências de calor e trabalho; c) muitos fizeram confusão atribuindo ao cálculo da eficiência a responsabilidade pelo funcionamento ou não das máquinas térmicas, descrevendo respostas do tipo "*o motor pode funcionar porque sua eficiência é menor do que 100%*", "*uma eficiência maior do que 80% é demasiadamente alta para um motor*", ou ainda "*o motor não deve funcionar porque não se trata de um motor do tipo descrito por Carnot*".

Buscando promover um maior entendimento entre os alunos das leis da Termodinâmica aplicada aos motores à combustão, os autores propõem - da mesma forma de Meltzer (2008) - a utilização de tutoriais guiados. Esses tutoriais constituem-se de uma série de questões referentes ao tema de estudo, além de exercícios sob a forma de perguntas. Dessa forma, durante as aulas, solicitou-se que os alunos trabalhassem em pequenos grupos, com a

ajuda de instrutores que frequentemente lhes faziam perguntas adicionais.

Smith *et al* (2009) deram seqüência aos estudos de Christensen, Meltzer e Ogilvie (2009), propondo um tutorial com conteúdo voltado ao estudo da entropia e eficiência das máquinas térmicas. O tutorial foi utilizado pelos estudantes de graduação da *University of Maine* (também nos EUA), no curso da disciplina de Termodinâmica, durante os anos de 2007 e 2008. Os autores acreditam que seus resultados foram promissores, em função da melhora constatada na aprendizagem após a instrução, embora eles admitam ser preciso efetuar alguns ajustes no tutorial para a obtenção de melhores resultados. Por fim, chamam a atenção para a necessidade de se promover uma “preparação mental” anterior à aula para que se possa aproveitar ao máximo a aula guiada pelo tutorial. Essa “preparação” pode ser conseguida a partir do estudo de um material complementar, sob a forma de lição prévia para ser estudada em casa, voltada aos principais tópicos desenvolvidos nas aulas.

O engajamento dos estudantes na realização das suas tarefas de classe também é tema de discussão das pesquisas de Meltzer (2005), que atribui grande importância à utilização da abordagem do tipo “aprendizagem ativa” nas atividades de aula. Essa abordagem se baseia na estratégia de se promover uma maior interação - tanto quantitativa como qualitativa - entre instrutor e alunos, bem como entre os próprios alunos. Para tanto, o autor propõe a valorização, entre os alunos, da análise pessoal dos fenômenos acompanhada de suas próprias reflexões. Essa seria uma opção ao sistema tradicional de ensino, segundo o qual os estudantes simplesmente assimilam os conhecimentos prontos ou pré-acabados.

A estratégia proposta por Meltzer (2005) baseia-se na condução, pelo instrutor, da discussão através de uma linha de raciocínio em que se acredita ser a mais produtiva. O processo é voltado principalmente às salas de aula numerosas, onde 100 ou mais estudantes podem interagir simultaneamente, ao serem realizadas perguntas provocativas pelo instrutor - como em uma espécie de *quiz*. Os alunos devem decidir a resposta correta à questão após debaterem ente si, e em seguida fornecê-la ao instrutor, que imediatamente faz uso dessas respostas para continuar com as discussões. O autor esclarece que essa estratégia é na verdade uma variante do método *Peer Instruction*, que foi desenvolvido por Eric Mazur (MAZUR, 1997) na Universidade de Harvard.

Ainda a respeito das investigações sobre as ideias incompletas ou incorretas dos estudantes<sup>2</sup>, cabe destacar os estudos realizados por Trejo e Flores (2002). Esses autores

---

<sup>2</sup> Tradução para o português do termo “*Misconceptions*” o que, segundo Barker (2004), são conhecimentos adquiridos pelos alunos de forma não sistematizada ao longo de sua vida, que são muito resistentes a mudanças mesmo após longos anos de escolarização.



acreditam que as falsas ideias são resultado de um método de ensino segundo o qual muitos conceitos abstratos são introduzidos ao mesmo tempo, privilegiando as relações matemáticas em detrimento aos seus significados. Além disso, os autores chegam a afirmar que muitos livros didáticos apresentam os conceitos de forma mal elaborada, acreditando equivocadamente que eles já fazem parte da estrutura cognitiva dos estudantes, o que dificulta ainda mais as suas compreensões. Os conceitos de calor e temperatura, por exemplo, estão normalmente vinculados a diversas ideias incompletas ou incorretas, como: a) a temperatura de equilíbrio dependeria do tipo de substância que compõe o material; b) temperatura seria uma medida da intensidade do calor, que pode ser "quente" ou "frio" e depende do tamanho ou volume do objeto; c) o frio também seria uma substância, mas diferente do calor; logo, a sensação de frio seria devido à transferência do frio de um corpo para outro.

Segundo Trejo e Flores (2002), alguns conceitos como entalpia, calor latente, processos exotérmicos e endotérmicos, são motivo de grande confusão entre os alunos, que também costumam interpretar incorretamente os símbolos de entalpia de transição de fase e entalpia padrão de formação. Para minimizar essas dificuldades, os autores propõem a utilização de diversas estratégias voltadas ao ensino de conceitos da Termodinâmica com vistas a despertar o interesse nos alunos, como a abordagem crítica e compartilhada dos conhecimentos, o uso de trabalhos de pesquisa e a utilização de estudos experimentais. Além disso, eles afirmam que se deve buscar a contextualização com os conhecimentos químicos para propiciar a descrição das transformações em nível molecular, como também centrar os esforços na explicação de conceitos chave como calor e trabalho, equações de estado, dentre outros.

As noções que os alunos universitários apresentam sobre os conceitos de calor e temperatura também foram tema de investigação dos pesquisadores portugueses Caldeira e Martins (1990). Os autores, interessados em estudar a persistência das ideias alternativas mesmo após o ensino formal, entrevistaram cerca de 200 alunos dos cursos de Licenciatura em Física, Engenharia Química e Engenharia Mecânica, estudantes da disciplina de Termodinâmica e Elementos da Mecânica Estatística. A análise das respostas dos discentes deixou evidenciada a grande confusão que se faz com o entendimento desses dois conceitos. Além disso, os autores destacam diversas ideias falsas ou incompletas que foram observadas no estudo do conceito de calor, como por exemplo: “... *é uma forma de energia*”; “*algo que flui, aumenta ou diminui*”; ou ainda, “*deve-se ao movimento molecular*”. A respeito do conceito de temperatura, foram verificadas ideias do tipo “... *é a medida de calor de um*

*corpo*”; “*deve-se à percepção sensorial*”; “*é uma propriedade mensurável com um termômetro*”; “*é uma função de estado*”, ou ainda “*corresponde à energia cinética média das moléculas*” - afirmação que só é verdade para sistemas gasosos idealizados.

Caldeira e Martins (1990) concordam que essas falsas ideias devem-se, em parte, à falta de estrutura conceitual necessária à compreensão desses dois conceitos, o que acarretaria a necessidade de se fazer uso das ideias alternativas ou à memorização. Eles pontuam ainda dois fatores que contribuem para a divulgação dessas falsas concepções: a) o uso da linguagem de senso comum, não científica, entre os estudantes, o que acaba por dificultar a compreensão dos conhecimentos científicos; b) os erros conceituais existentes em diversos livros didáticos voltados à Termodinâmica.

Por fim, os autores realizam uma análise crítica das formas tradicionais de abordagem dos conhecimentos da Termodinâmica, chamando a atenção para a necessidade de divulgação do conhecimento científico, “racional e válido”. Para eles, uma trajetória viável seria estimular desde o princípio, o debate sobre os principais conceitos da Termodinâmica, esclarecendo os termos que são viáveis e deveriam ser usados. Finalmente, são apresentadas algumas ideias no intuito de contribuir para o correto entendimento dos conceitos de temperatura e calor, como: a) aproveitar o uso de termos incorretos, do tipo “está calor, ou tenho calor” para desmontar esse modelo no pensamento dos alunos; b) reforçar que o contrário de frio é quente, e não calor; esclarecer o significado das palavras “aquecer” e “esfriar”.

Estudo semelhante foi realizado em uma escola técnica brasileira por Grings, Caballero e Moreira (2006), na qual se procurou rastrear as dificuldades dos alunos sobre alguns conceitos da Termodinâmica - como calor, temperatura, trabalho, energia e entropia. O objetivo dessa investigação foi identificar invariantes operatórios, ou seja, conhecimentos contidos nos esquemas dos alunos, a partir dos quais os autores pretendiam fazer um mapeamento para compreender como ocorre o processo de conceitualização.

Quando perguntados sobre o conceito de temperatura, alguns alunos relacionaram-no com uma variação do estado frio para o estado quente ou vice-versa; outros afirmaram ser uma variação de calor. Ao serem solicitados a estabelecer uma relação entre calor, trabalho e energia interna, muitos se mostraram incapazes em relacionar os três conceitos corretamente, apesar de perceberem que existe uma relação entre eles. Verificou-se também uma grande dificuldade em se relacionar os conceitos de energia interna e trabalho; além disso, muitos estudantes não souberam utilizar corretamente os sinais negativos e positivos vinculados a

esses dois conceitos, de acordo com a convenção adotada.

Em outro estudo, Silveira e Moreira (1996) propuseram a validação de um teste escrito para verificar a concepção dos estudantes sobre os conceitos de calor, temperatura e energia interna. Na opinião dos autores, esses três conceitos, somados à entropia, são os conceitos chave da Termodinâmica. O teste, que estabeleceu um total de 23 perguntas de múltipla escolha distribuídas para esses três conceitos, foi realizado entre alunos do curso de Física Introdutória da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, dentre os quais aproximadamente metade deles já havia abordado os temas. Cada pergunta foi acompanhada de três respostas, sendo que uma, duas, ou as três respostas poderiam estar corretas; logo, existiam sete opções de resposta.

O resultado das investigações indicou haver uma correspondência positiva entre o desempenho dos alunos na disciplina e a pontuação total do teste, o que segundo Silveira e Moreira (1996), vem a confirmar a validade do instrumento. Na opinião dos autores, o teste pode contribuir para o conhecimento das concepções alternativas dos alunos e, além disso, permitir que o avaliador perceba a existência ou não dos significados científicos antes e após a instrução.

Algumas das principais dificuldades com os conceitos relativos à Termodinâmica também foram temas de pesquisas de Amaral e Mortimer (2001, 2007). Nesses dois trabalhos, os autores propõem a ideia de Perfil Conceitual para se acompanhar a evolução dos conceitos de calor e entropia, entre alunos, no convívio de sala de aula. Para tanto, no primeiro estudo, que diz respeito aos obstáculos epistemológicos e às diferentes concepções sobre o conceito de calor, eles propõem a existência de cinco Zonas de Perfil Conceitual: Realista, Animista, Substancialista, Empírica e Racionalista.

As primeiras noções que se tem conhecimento sobre a natureza do calor e que são, portanto, as mais simples, correspondem àquelas que se referem às sensações de quente e frio. Essa ideia de calor vinculada unicamente às sensações de quente e frio, sem que seja feita nenhuma reflexão a cerca da natureza da sua constituição, constitui a Zona Realista do Perfil Conceitual.

A Zona Animista para o Perfil Conceitual de calor está relacionada à ideia de vida, pela qual os alunos podem pensar o calor como uma entidade que se movimenta pelas suas próprias forças, da mesma forma que o fogo. Nesse ponto de vista, os corpos ou matérias podem ter vontade de ganhar ou perder calor.

A interpretação que se faz presente em sala de aula, quando os alunos acreditam que o

calor é uma espécie de fluido, que pode ser transferido de um corpo quente (com mais calor) para um corpo frio (com menos calor) caracteriza a Zona Substancialista.

Na quarta Zona do Perfil Conceitual, ou Zona Empírica, observa-se a superação das ideias vinculadas exclusivamente às sensações de quente e frio. Mas embora se façam presentes algumas ideias práticas com fins científicos, continua-se utilizando das ideias animistas, uma vez que a temperatura é compreendida como a medida de calor de um corpo, que está associada a altas temperaturas.

Na última Zona de Perfil Conceitual, ou Zona Racionalista, passam a existir as ideias de calor específico e de fluxo de calor. Partindo-se da diferença de temperatura entre os corpos, constata-se que o calor não está diretamente relacionado à temperatura e sim à diferença de temperatura. O conceito de calor passa a ser pensado como uma relação entre grandezas, adquirindo assim um caráter racional.

No Quadro 2.1, encontram-se representadas as Zonas de Perfil para o conceito de calor segundo a classificação proposta por Amaral e Mortimer (2001), bem como algumas das ideias relacionadas às respectivas zonas.

Quadro 2.1– Caracterização das Zonas de Perfil Conceitual para o conceito de calor. Adaptado de Amaral e Mortimer (2001).

<b>ZONA REALISTA:</b> ideias de calor vinculadas apenas às sensações de quente e frio, sem nenhuma reflexão a cerca da sua natureza.	<b>ZONA ANIMISTA:</b> ideias que vão além da sensação humana, e costumam atribuir um caráter anímico ao calor.	<b>ZONA SUBSTANCIALISTA:</b> ideias que atribuem ao calor um caráter de substância, uma espécie de fluido que pode penetrar nos materiais.	<b>ZONA EMPÍRICA:</b> ideias de calor não mais relacionadas às sensações, mas às medições experimentais	<b>ZONA RACIONALISTA:</b> constata-se que o calor não está diretamente relacionado à temperatura e sim à diferença de temperatura.
O frio seria o contrário de quente e também o contrário de calor.	Utilização de expressões do tipo: “ <i>o calor movimentasse</i> ”.	O calor como sendo determinada quantidade de energia que os corpos possuem; nessa concepção, a temperatura seria uma medida dessa quantidade de energia.	Temperatura como “uma propriedade mensurável com um termômetro”.	Surgimento de um caráter mais dinâmico dentro de uma relação entre outras noções pertinentes ao fenômeno, saindo do realismo das coisas para o realismo das leis.
O conceito de temperatura é confundido com o conceito de calor, sendo ambos utilizados como sinônimos.	Calor como “algo que flui, aumenta ou diminui”.	Temperatura seria uma medida da intensidade do calor, que pode ser “quente” ou “frio” e depende do tamanho ou volume do objeto.	Utilização de expressões do tipo: “ <i>variação de calor</i> ”.	Visualização do conceito a partir de uma fonte térmica, onde poderá ser percebida a produção e transporte de calor.
Utilização de expressões do tipo: “ <i>quando sentimos que um corpo está quente, dizemos que ele possui calor</i> ”.		Calor seria “ <i>a temperatura fornecida quando se aquece o material</i> ”.	Calor não sendo admitido como função de estado.	Ideias baseadas na teoria de Kelvin e Clausius, na qual o calor seria uma forma de energia que se convertia em outra, o trabalho mecânico.
Temperatura como propriedade dos corpos (não havendo a ideia de equilíbrio térmico), o calor como propriedade dos corpos quentes e o frio como propriedade contrária.		O frio também seria uma substância, mas diferentes do calor; logo, a sensação de frio seria devido à transferência do frio de um corpo para outro.		Calor como uma forma de energia que se manifesta a partir do contato entre dois corpos à temperaturas diferentes, fluindo do corpo de temperatura mais elevada para o de temperatura mais baixa, não necessariamente por contato, mas também por radiação.

No segundo estudo dos mesmos autores, relativo aos conceitos de entropia e reversibilidade, Amaral e Mortimer (2007) propõem a existência de quatro Zonas de Perfil Conceitual: Perceptiva/intuitiva, Empírica, Formalista e Racionalista.

A Zona de Perfil Perceptiva/Intuitiva caracteriza-se pelas ideias pautadas nas impressões imediatas, sensações e intuições, como a que atribui exclusivamente uma tendência natural das coisas e materiais à ideia de espontaneidade.

Na Zona Empírica, estão presentes explicações pautadas em ideias científicas, ainda que sua abordagem seja superficial. Percebe-se, por exemplo, a utilização do conceito de entropia universal para explicar a espontaneidade dos sistemas, bem como a consideração das suas condições termodinâmicas (temperatura, pressão, dentre outras) para as quais as transformações possam ocorrer.

A Zona Formalista relaciona-se às ideias matemáticas aplicadas aos processos ou transformações espontâneas, sem que isso se traduza no entendimento das relações conceituais. Por exemplo, um aluno pode conhecer as expressões relacionadas ao cálculo de energia livre de Gibbs e até aplicá-las corretamente, mas sem se dar conta dos significados físicos que estão envolvidos nesses cálculos.

A última zona e mais complexa é a Zona Racionalista, que compreende a espontaneidade dos processos levando-se em consideração a distribuição de energia a um nível atômico molecular. Nesse caso, a energia livre de Gibbs é abordada tanto sob o ponto de vista formal como do conceitual.

## **2.2 USO DAS TECNOLOGIAS COMPUTACIONAIS NO ENSINO DE FÍSICA E DE QUÍMICA**

As pesquisas envolvendo o uso das tecnologias computacionais no ensino de ciências - sobretudo a simulação, a modelagem computacional e as animações interativas - vêm ganhando força e credibilidade no meio acadêmico e científico ao longo das últimas décadas. Tal afirmação pode ser constatada ao se analisarem a qualidade e diversidade das produções científicas publicadas em periódicos, congressos e eventos da área.

No ensino de física, por exemplo, pode ser observada uma vasta coleção de artigos científicos que têm como objetivo discutir o uso das ferramentas computacionais em sala de aula, buscando-se promover uma aprendizagem mais significativa de conceitos, leis e teorias, tais como em Araújo (2002, 2005), Araújo, Veit e Moreira (2008), Eichler e Del Pino (1998), Graca e Santos (2005), Rodrigues (2005), Rodrigues e Tavares (2005), Teodoro (1997, 2002,

2006), Veit e Araújo (2004), Veit e Teodoro (2002).

As pesquisas em Informática na Educação voltadas ao ensino de química, por outro lado, não se encontram tão avançadas. Apesar disso, nota-se um movimento crescente de aceitação e divulgação das pesquisas envolvendo o uso da simulação e da modelagem, como em Balen e Netz (2004, 2005), Barnea e Dori (1996), Costa e Passerino (2008), Gilbert (2004), Giordan (2006), Justi e Driel (2005), Justi e Gilbert (2006), Santos (2002).

Quanto às características das atividades de simulação computacional, pode-se dizer que se baseiam no uso de representações gráficas animadas que possuem certo grau de interatividade e são desenvolvidas para a visualização de sistemas ou fenômenos de interesse. São bastante úteis em situações em que há impossibilidade de se reproduzir a experiência original, seja porque o experimento é perigoso, seja em função de sua realização ser muito cara, ou mesmo em casos envolvendo fenômenos muito lentos ou extremamente rápidos (MEDEIROS e MEDEIROS, 2002).

Costuma-se classificar as atividades de simulação em dois tipos: as conceituais e as operacionais. As simulações conceituais tratam de princípios, conceitos e fatos relacionados ao(s) evento(s) simulado(s), como por exemplo: a simulação da estruturação de uma molécula, a mudança de temperatura de determinada substância ou a alteração da pressão exercida sobre uma amostra de gás. As simulações operacionais incluem sequências de operações e procedimentos que podem ser aplicados ao(s) sistema(s) simulado(s), como por exemplo, as simulações pré-laboratoriais ou laboratoriais propriamente ditas (RIBEIRO e GRECA, 2003).

As atividades de simulação distinguem-se das atividades de modelagem computacional em função da maior ou menor possibilidade de interação do usuário com o modelo matemático empregado para descrever a transformação química ou física. Nas simulações computacionais, esclarece Araújo (2005), o aluno pode inserir valores em variáveis, alterar parâmetros e modificar, até certo ponto, as relações entre as variáveis. Entretanto, ele não tem permissão para modificar o modelo matemático pré-especificado - a interação entre o aluno e a simulação tem caráter eminentemente exploratório, com ênfase na visualização do fenômeno ou transformação, seja ela química ou física. O que caracteriza a simulação, para Teodoro (1997), é a representação visual de um processo ou fenômeno com maior ou menor fidelidade de percepção, sem manipulação do modelo formal do processo ou do fenômeno.

Por outro lado, as atividades envolvendo a modelagem computacional possuem duas

possibilidades de aplicação: as atividades exploratórias, a partir das quais pressupõe-se um modelo pronto e acabado em que o aluno simplesmente observa, analisa e interage com o *software* para alterar parâmetros e variáveis; ou pode-se optar pela abordagem baseada no modo expressivo, que se caracteriza pela construção do modelo, desde a sua estrutura matemática, passando pela manipulação das expressões e análise dos resultados gerados. Nessa última abordagem, o aluno pode interagir totalmente com o modelo criado, construindo-o e reconstruindo-o quantas vezes julgar necessário.

Justi e Driel (2005), ao descreverem as características das atividades de modelagem no ensino de ciências, sugerem que os alunos devam vir a conhecer importantes descobertas científicas e históricas dos modelos, suas possibilidades e limitações. Além disso, eles devem ter oportunidades de criar, expressar e testar seus próprios modelos, como também de aprender sobre sua natureza e reconhecer o seu papel na divulgação dos produtos da investigação científica. Os autores destacam alguns fatores de insucesso que podem fazer com que os estudantes não alcancem os resultados esperados de aprendizagem: a) não conhecimento dos principais modelos químicos (incluindo a sua abrangência e limitações); b) falta de uma visão adequada da natureza dos modelos e da capacidade de apreciar o papel desses modelos na disseminação dos produtos de investigação química; c) incapacidade de criar, expressar e testar seus próprios modelos.

A importância das atividades de modelagem, afirmam Greca e Santos (2005), encontra-se na explicação, exploração de fenômenos, processos e ideias abstratas, bem como no desenvolvimento da capacidade de representação dos alunos. Para os autores, o ensino centrado na modelagem é considerado como uma das estratégias didáticas mais efetivas para a melhoria da compreensão dos conceitos científicos. Por meio dessas atividades, consegue-se fazer a aplicação de modelos matemáticos em fenômenos de interesse, descrever relações entre conceitos, e ainda de tabular dados obtidos por meio de experimentos laboratoriais para que sejam comparados com os encontrados na literatura científica.

Na Química, assim como na Física, consegue-se utilizar o processo de modelagem na representação matemática de um modelo com posterior análise das relações entre os objetos idealizados. Mas existem situações típicas dessa primeira área de estudo nas quais se deseja modelar objetos reais, concretos, com comportamento muito similar ao dos objetos materiais macroscópicos. Nesse caso, é comum encontrar dificuldades na representação do modelo que descreve o fenômeno de interesse, tarefa que para Wu *et al.* (2001) pressupõe o conhecimento de mais de uma representação química possível para um mesmo conceito ou fenômeno.



Yamalidou (2001) destaca outra dificuldade das atividades de modelagem em Química: a complexidade dos fenômenos químicos, que exige o conhecimento de vários conceitos ao mesmo tempo para a compreensão de determinado fenômeno. Nesse sentido, acrescentam Wu *et al.* (2001):

(...) o processo de aprendizagem de modelagem em Química passa necessariamente pelo conhecimento das diferentes representações que podem ser usadas, pela aplicação em diferentes situações e pelo entendimento que para um mesmo conceito existe mais de uma representação possível. (WU *et al.* , 2001, p. 823).

Ribeiro e Greca (2003) realizaram um levantamento dos trabalhos publicados na literatura científica entre os anos de 1993 a 2003 envolvendo o uso das ferramentas computacionais no ensino de ciências. Embora os autores tenham encontrado uma quantidade razoável de trabalhos científicos com aplicação na área da Química, poucos foram aqueles que abordavam atividades exploratórias com uso de ferramentas de modelização pelos alunos. Outro aspecto destacado nessa pesquisa foi a baixa integração das diferentes disciplinas, como a Geologia, a Física e a Biologia com a Química, no uso das ferramentas computacionais.

Em um universo de 74 simulações, foram encontradas 23 possibilidades de aplicação na Físico-química (20 simulações conceituais e 3 operacionais); 45 possibilidades de aplicação na Química Geral (sendo 41 conceituais e 4 operacionais); 27 na Química Inorgânica (24 conceituais e 3 operacionais) e 30 na Química Orgânica (27 conceituais e 3 operacionais). Cabe destacar que na contabilização das aplicações, uma mesma simulação pode corresponder a uma ou mais áreas de aplicação dentro da Química. Com relação aos tipos de *softwares* de simulações operacionais encontrados, contabilizou-se 1 específico para Química Inorgânica, 1 para Química Orgânica, 1 para Físico-química, 2 para Química Geral, sendo os outros 2 com aplicação nessas 4 áreas já citadas, sendo que um deles permite ainda o uso específico para Bioquímica e na Química Analítica.

Quanto às ferramentas de modelagem computacional disponíveis na atualidade, existe uma grande variedade de aplicativos que podem ser adquiridos através da internet ou em empresas comerciais. No Quadro 2.2, são apresentados alguns dos principais *softwares* de modelagem matemática com aplicação na Física.

Quadro 2.2 – Classificação e exemplos de ferramentas de modelagem matemática com aplicação no ensino de Física. Fonte: Teodoro (2006)

Tipo de ferramenta	Exemplo (s)
Linguagem de programação	C, NetLogo, StarLogo
Sistemas dinâmicos	Stella, PowerSim
Planilha	Excel
Ferramentas computacionais numéricas e simbólicas	Mathematica, Mapple, MatLab, Octave
Baseados em equações	Modellus, Easy Java Simulations
Autômatos celulares	WorldMaker
Semi-quantitativos	VnR, Model-it

Dentre as ferramentas de modelagem computacional relacionadas acima, concentrar-se-ão as atenções no Modellus<sup>3</sup>, um *software* muito utilizado nas áreas de Física e Físico-Química que permite a análise e exploração de modelos matemáticos baseados em funções e equações diferenciais. Concebido com base no *Dynamical Modeling System* (OGBORN, 1985), o Modellus é uma ferramenta cognitiva<sup>4</sup> que pode auxiliar na internalização do conhecimento simbólico, principalmente no contexto de atividades em grupo (TEODORO, 2002). Seu diferencial em relação aos outros *softwares* de modelagem está na possibilidade de se desenvolver simulações com objetos interativos, associando-as com os modelos matemáticos e permitindo analisar os dados experimentais associados às imagens de fundo ou *gifs* animados.

Um dos principais benefícios que o uso do Modellus pode trazer ao ensino, explica Teodoro (2002), diz respeito à possibilidade de se fazer múltiplas representações, explorando-as de diversas perspectivas. A construção de objetos concretos abstratos permite uma exploração mais detalhada dos modelos, o que dificilmente seria alcançado pelo professor ao utilizar somente o quadro negro ou os livros na sua explicação. Além disso, Teodoro (1997) destaca outras características associadas ao uso de atividades de modelagem computacional na prática educativa:

- O aluno tem oportunidade de utilizar o seu conhecimento em contextos específicos;
- Pode-se estimular as interações e discussões entre os alunos através de atividades em grupos;
- Os estudantes têm a oportunidade de manipular os objetos formais como entidades

<sup>3</sup> Software desenvolvido na Faculdade de Ciência e Tecnologia da Universidade de Lisboa por Vitor Duarte Teodoro, Paulo Duque Vieira e Filipe Costa Clérico. Suas versões estão disponíveis em <http://modellus.fct.unl.pt/>

<sup>4</sup> No sentido proposto por Vygotsky (1978), a cognição se desenvolve em um contexto particular de intenções, por meio de ferramentas, signos e nas interações com outros indivíduos.

reais;

- Eles podem se concentrar no significado dos objetos formais em vez de se concentrar nos processos mais ou menos complexos de resolução de relações entre variáveis;
- A manipulação direta de múltiplas representações pode facilitar a construção de relações entre essas representações (por exemplo, uma função pode ser representada por equações ou gráfico);
- Reforçam o desenvolvimento de competências específicas antes de competências gerais (por exemplo, o que é uma função é algo que se formaliza com rigor apenas depois de se analisarem muitas situações em que a utilização de funções é objeto de uso específico);
- Por si só já motivam os alunos no processo de aprendizagem;
- Facilitam a construção de narrativas sobre as representações formais (escrever sobre as características dos comportamentos dos modelos é um processo determinante na construção do conhecimento).

A mais nova versão do Modellus, classificada como 4.01, apresenta algumas modificações em relação às versões anteriores. Além de a sua interface gráfica estar mais atraente e intuitiva, houve a correção dos *bugs* que faziam o programa travar com frequência durante a construção do modelo. O sistema de abas que carrega as funções do programa, além das janelas dinâmicas que permitem ao usuário organizar sua tela da maneira que lhe convém, segue a tendência observada nos editores de texto da Microsoft®.

A tela de apresentação do *software* é dividida em cinco janelas: 1) modelo matemático, 2) gráfico, 3) tabela, 4) notas e 5) área de trabalho (Figura 2.1). A área onde se representa o modelo matemático aceita desde equações simples, até funções e equações diferenciais; a área gráfica pode conter mais de um gráfico, cuja escala pode se ajustar à região delimitada (auto escala) caso se deseje; quanto à tabela, seus dados podem ser transpostos para uma planilha eletrônica, como o Excel, bastando para isso copiar e colar os campos de interesse. Na área reservada às anotações, o usuário pode guardar sob a forma de texto algumas informações relevantes sobre a modelagem que está sendo estudada. Já a área de trabalho é o local que recebe as figuras e *gifs* animados.

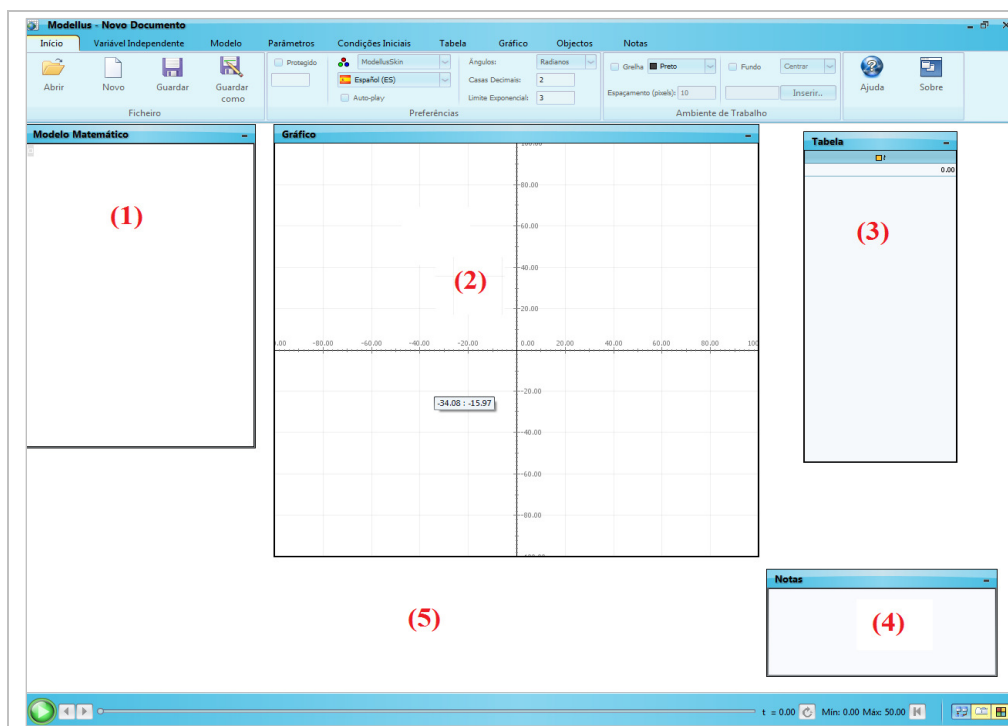


Figura 2.1– Tela inicial do *software* de modelagem computacional Modellus versão 4.01.

Fonte: Autoria própria.

Para se iniciar uma atividade de modelagem com o *software* Modellus, primeiramente é preciso definir as funções que descrevem as variáveis (dependente e independente) relacionadas ao fenômeno ou objeto matemático que se pretende estudar. Em seguida, são adicionados os parâmetros da equação, bem como as condições iniciais e finais da animação.

No espaço de trabalho, podem ser adicionados diversos objetos que representam as variáveis do modelo, como uma partícula, uma imagem, um indicador de nível. Caso se deseje, ainda é possível modificar as cores gráficas e adicionar figuras ou *gifs*<sup>5</sup> animados à área de trabalho, para que as mesmas façam parte da animação. Por último, basta dar início à visualização do modelo dinâmico.

Na Figura 2.2, encontra-se ilustrado um exemplo de modelagem computacional envolvendo a Lei de Distribuição Barométrica, abordada no estudo físico-químico dos gases.

<sup>5</sup> *Graphics Interchange Format* ou "formato para intercâmbio de gráficos", é um formato de vinculação de figuras estáticas ou dinâmicas muito utilizadas na *web*.

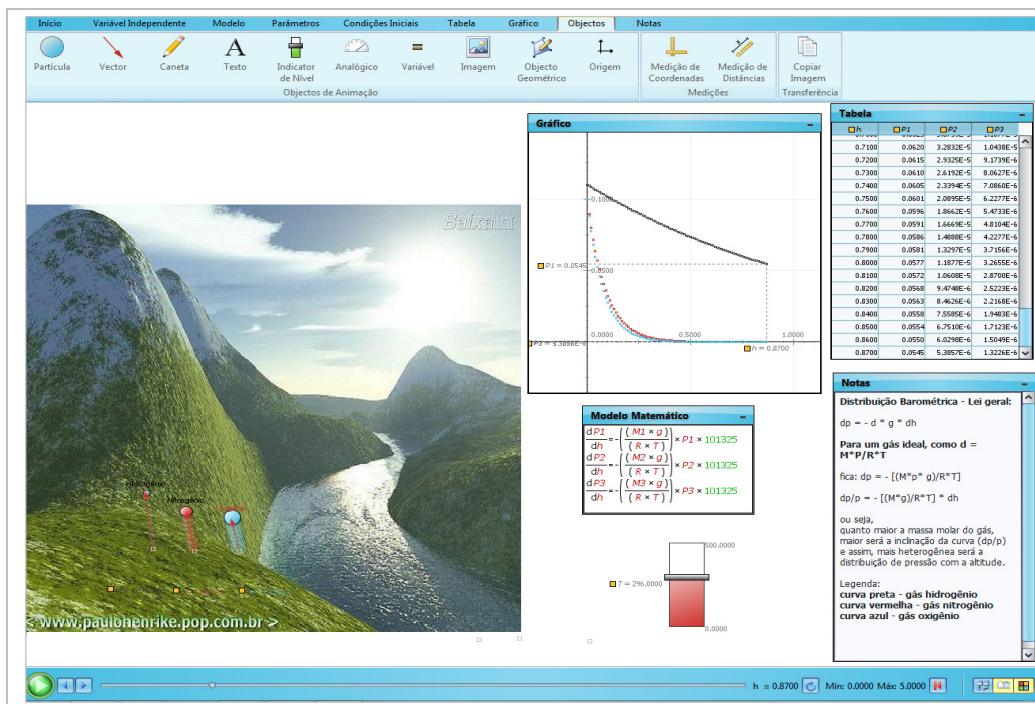


Figura 2.2 – Exemplo de uma modelagem computacional realizada no Modellus. Fonte: Autoria própria.

Conforme descrito anteriormente, as funcionalidades do Modellus permitem dar maior ou menor ênfase nas representações formais ou gráficas, de acordo com o objetivo que se pretende atingir. Durante as atividades de modelagem computacional, Teodoro (2002) afirma ser possível que o aluno:

- Construa e explore múltiplas representações de modelos matemáticos a partir de especulação puramente teórica ou a partir de dados experimentais ou registros em imagem fixa ou em vídeos;
- Analise a razoabilidade dos modelos quer em termos de coerência teórica, quer em termos de coerência com dados experimentais ou registros de imagem;
- Reforce o seu pensamento visual, sem memorizar os aspectos da representação formal através de equações e outros processos formais;
- Aborde de forma integrada os fenômenos naturais, ou simplesmente representações formais.

A respeito da utilização de animações interativas com fins educacionais, Silva, Fagundes e Basso (2007) esclarecem que os objetos de aprendizagem (OAs) vêm sendo valorizados na escola por conferir ao processo de aprendizagem um caráter interativo,

dinâmico, flexível e motivador. Os autores explicam que ainda não há um consenso em relação à definição ou concepção do que venha a ser um Objeto de Aprendizagem, embora se costume encontrar frequentemente, em artigos e trabalhos científicos, as definições estabelecidas pelas seguintes entidades: *Learning Technology Standards Committee* (LTSC) do Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE); *Wisconsin On-line Resource Center*; *Cisco System*; além daquelas propostas por pesquisadores como David Wiley e James L'Allier.

Nesse trabalho, adotar-se-á a denominação proposta por David Wiley (2001), ou seja, a de que um objeto de aprendizagem corresponde a “(...) qualquer recurso digital que pode ser reusado para suportar a aprendizagem” (WILEY, 2001). Desse modo, ficam estabelecidos alguns pontos principais: a) estão excluídas da conceitualização de objetos de aprendizagem, as entidades não digitais; b) excluem-se também os recursos digitais que não possam ser reutilizáveis; c) assume-se que os OAs podem apresentar diversos tamanhos, como também podem ser agrupados entre si para compor diferentes níveis estruturais; d) destaca-se a ênfase na utilização dos OAs para suporte à aprendizagem.

Uma das principais características dos objetos de aprendizagem que merece ser destacada, diz respeito à sua reusabilidade. Como explicam Silva, Fagundes e Basso (2007), a reusabilidade encontra-se na gênese da ideia dos OAs: a construção de segmentos de aprendizagem na forma computacional, os quais podem ser reutilizados em diversos contextos ou situações de aprendizagem.

Nesse sentido, os repositórios de OAs desempenham um papel de suma importância, pois facilitam a busca dos referidos recursos na *web*. Além disso, tornam possível a classificação, armazenamento e distribuição desses recursos digitais. Exemplos de repositórios on-line de objetos de aprendizagem são: Banco Internacional de Objetos Educacionais (<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/>), CESTA (<http://www.cinted.ufrgs.br/CESTA/>), LABVIRT (<http://www.labvirt.futuro.usp.br/>), MERLOT (<http://www.merlot.org>) e WISCONSIN (<http://www.wisc-online.com/>).

No campo de estudo da Físico-Química, e mais especificamente da Termodinâmica, destacam-se os materiais digitais desenvolvidos pela equipe do professor Romero Tavares, da Universidade da Paraíba (TAVARES *et al.*, 2007). Acessando a *homepage* [www.fisica.ufpb.br/~romero/](http://www.fisica.ufpb.br/~romero/), encontra-se um conteúdo diversificado, composto de artigos, vídeos, *links* e objetos de aprendizagem, dentre os quais podem ser encontrados aqueles representados nas Figuras 2.3 e 2.4.

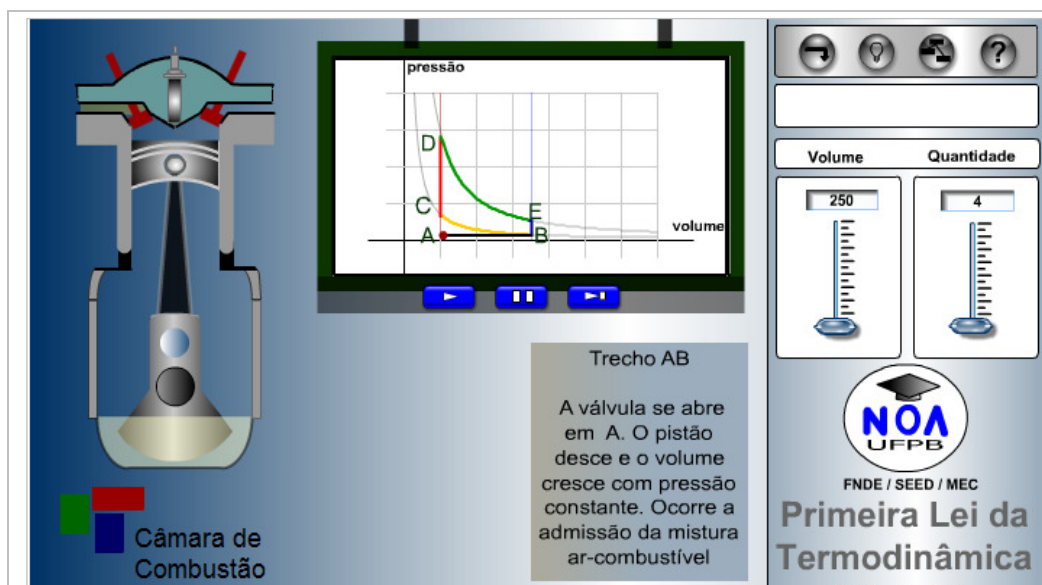


Figura 2.3 – Animação interativa “Primeira Lei da Termodinâmica”. Fonte: Tavares *et al.* (2007)

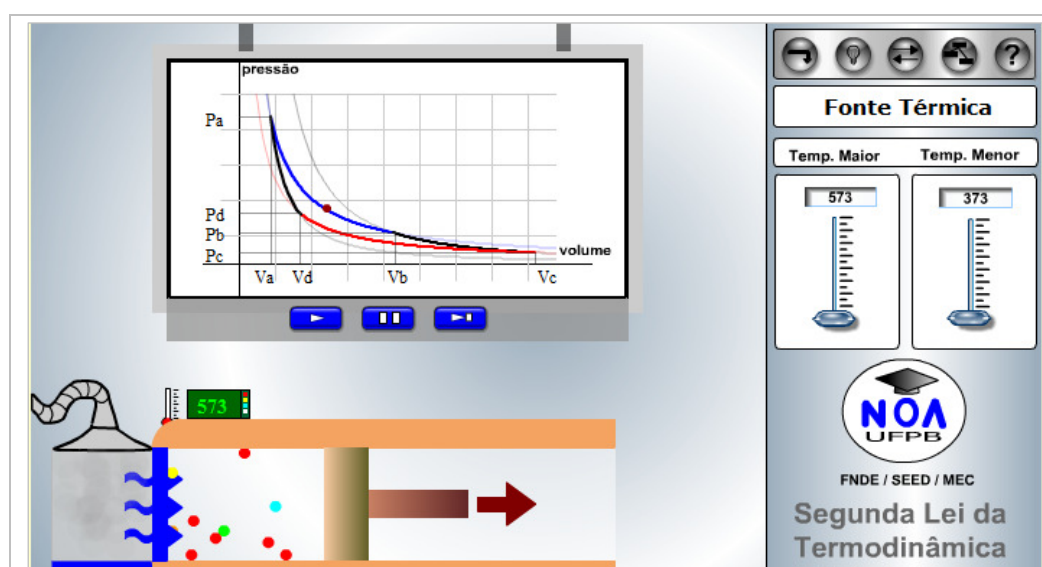


Figura 2.4 – Animação interativa “Segunda Lei da Termodinâmica”. Fonte: Tavares *et al.* (2007)

Uma das potencialidades atribuídas ao uso desses objetos, esclarecem Tavares *et al.* (2007), é utilizá-los em uma etapa prévia da construção de conceitos mais gerais, na medida em que instigam os alunos a estudarem sobre o tema proposto. A estruturação de tais recursos, composta de textos, vinhetas, mapa conceitual, avaliação formativa, animação interativa, ajuda e guia do professor constituem um valioso material educacional nas mãos dos

professores.

Como sugerem Tarouco *et al.* (2006) e Rapkiewicz *et al.*(2010), as demandas sociais, tecnológicas e cognitivas têm apontado cada vez mais para a necessidade de que os atores do processo educativo se envolvam na criação dos seus próprios materiais digitais, o que pressupõe a habilidade em lidar com os diferentes *softwares*. Além disso, vem sendo disseminado um modelo de escola que busque estimular o relacionamento mútuo entre indivíduos e o trabalho cooperativo de autoria.

Nesse sentido, as ferramentas do tipo *wiki* surgem como um recurso que, em potencial, podem favorecer nos alunos o desenvolvimento de atitudes participativas, colaborativas e criativas. Isso porque se tratam de páginas dinâmicas facilmente criáveis e editáveis por qualquer pessoa, mesmo as mais inexperientes no ramo da computação.

Como exemplo de aplicação desse tipo de ferramenta, tem-se a *Wikipedia*, que se trata de uma enciclopédia editada de forma colaborativa, em diversas línguas, sobre uma infinidade de assuntos. Outro projeto que envolve a produção compartilhada de textos, o *Wikinews*, tem como objetivo possibilitar que pessoas de todas as partes do mundo possam colaborar, reportando notícias sobre os mais diversos assuntos.

Gutierrez (2010) esclarece que os *wikis* podem, com vantagens, dar suporte a projetos interdisciplinares, pela facilidade de acesso, edição, publicação e distribuição do conteúdo. A autora acrescenta que essas características conferem um aumento no número de participantes e colaboradores, cujas trocas vão além dos fóruns e listas de discussão, principalmente pela organização do conteúdo em tempo real.

O PBworks (Figura 2.5) é uma ferramenta *wiki* que permite a colaboração em tempo real, por meio de um sistema de múltiplas autenticações simultâneas. Suas funcionalidades incluem a interação dinâmica entre os diversos membros que compõem a comunidade, além da possibilidade de incorporação das diversas mídias, como imagens, filmes e *gifs* animados.



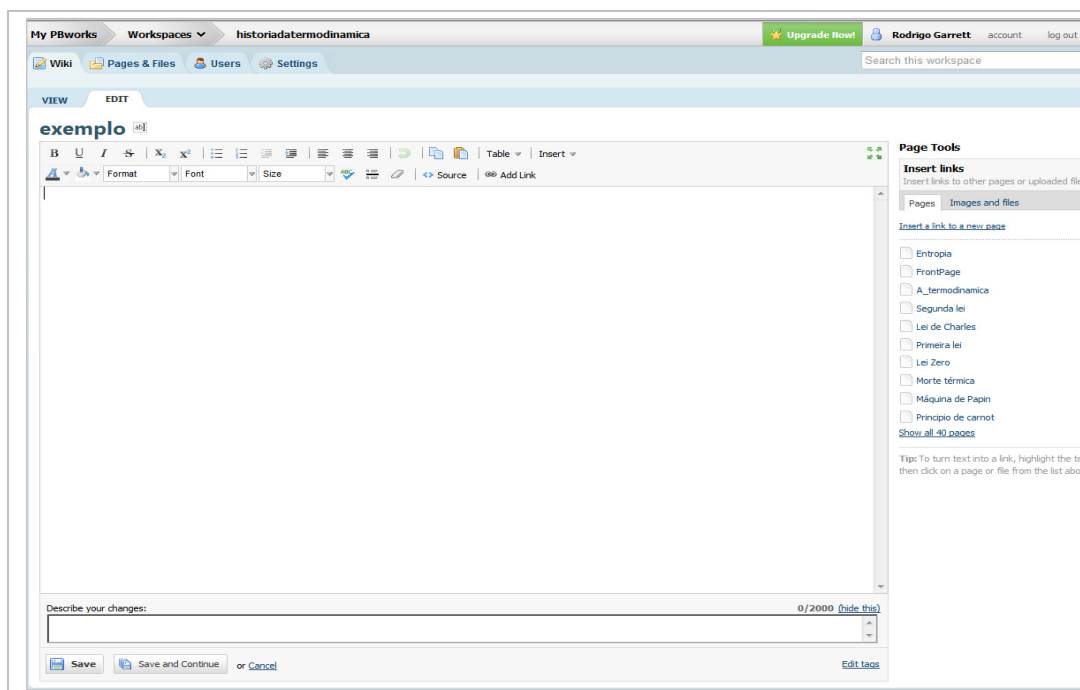


Figura 2.5 – Tela inicial do ambiente PBworks, modo edição de texto. Fonte: Autoria própria.

Para habilitar a edição de uma página, basta clicar sobre a aba “EDIT”. Feito isso, aparecerão as ferramentas de edição no topo da página, como negrito, itálico, alinhamento, cor, estilo da fonte, dentre outras. Após a edição da página, basta clicar em “SAVE” para salvar as alterações.

Caso se queira inserir arquivos nas páginas do PBworks, é preciso estar no modo edição e em seguida clicar em “Insert links / Images and files”, na janela ao lado direito da tela. Mas antes, os arquivos precisam ser carregados no ambiente, o que se consegue por meio do *link* “Upload files”. Assim, basta clicar sobre o arquivo carregado que ele aparecerá na página, no mesmo local onde o cursor estiver posicionado (Figura 2.6).

Procedimento semelhante deve ser realizado caso se deseje criar *links* internos (para páginas no próprio ambiente) e externos (fora do ambiente). Nesse caso, é preciso clicar no campo “Pages”, localizado em “Insert links”, e utilizar adequadamente o recurso “Insert/Edit link”, localizado na barra de ferramentas de edição do texto.

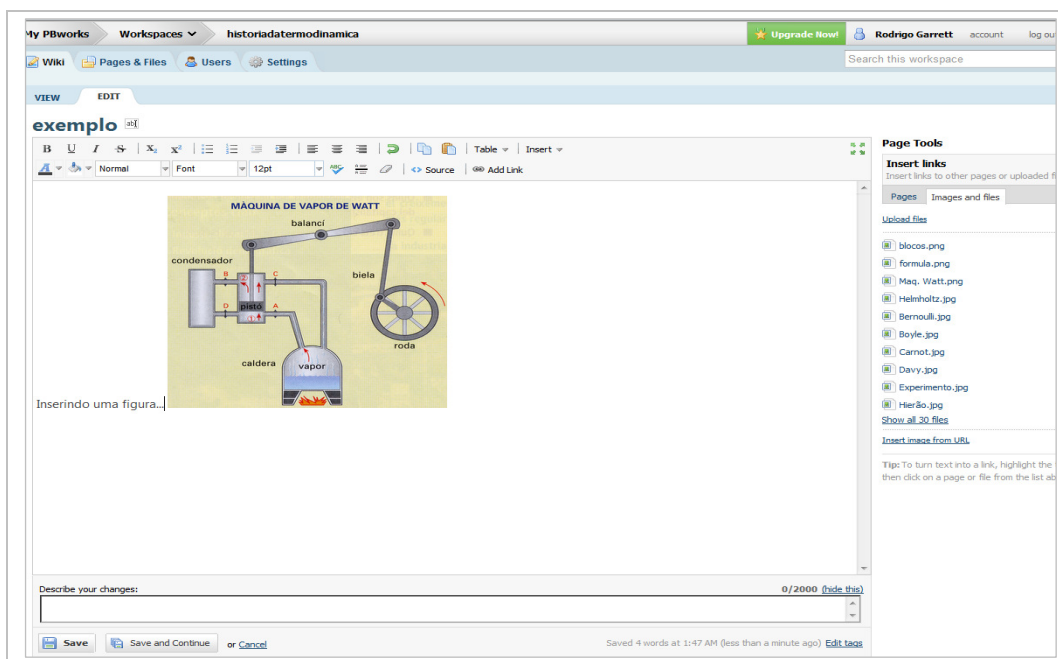


Figura 2.6 – Inserindo uma figura no ambiente PBworks. Fonte: Autoria própria.

Conforme se pôde observar nesse capítulo, a incorporação das tecnologias computacionais em sala de aula, sobretudo a simulação, a modelagem computacional e as animações interativas podem funcionar como um mecanismo de aperfeiçoamento da prática docente, trazendo benefícios tanto para o professor quanto para os estudantes. Mas para tanto, faz-se necessário que as estratégias didáticas estejam apoiadas em teorias educacionais apropriadas, sob o risco de que não sejam alcançados os resultados esperados.

### 3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DA PESQUISA

#### 3.1 PSICOLOGIA HISTÓRICO CULTURAL

A abordagem histórico-cultural, também chamada de histórico-social (WERTSCH, DEL RIO e ALVAREZ, 1998) ou sócio histórica (BAQUERO, 1998) foi fundada por Vigotski e desenvolvida por seus colaboradores no período pós-revolucionário na União Soviética, entre 1924 até a sua morte prematura em 1934, aos 37 anos. Essa teoria se apoia no referencial Marxista da época para explicar o desenvolvimento humano a partir das relações sociais, ou seja, do convívio com outros indivíduos da espécie humana, capazes de elaborar cultura e fazer história.

Uma vez que Vigotski não especificou suficientemente o significado das palavras “histórico” e “cultural” que dão nome à sua teoria, buscar-se-á esclarecer o sentido atribuído a essas palavras com base no texto de Sirgado (2000):

"História" é entendida por Vigotski de duas maneiras: em termos genéricos significa “uma abordagem dialética geral das coisas”; em sentido restrito, significa “a história humana”... “a primeira história é dialética; a segunda é materialismo histórico”. (SIRGADO, 2000, p. 48).

Sirgado (2000) afirma que a referência de Vigotski aos dois sentidos de história revela também sua preocupação em articular os dois planos: o ontogenético (história pessoal) e o filogenético (história da espécie humana). No que diz respeito ao aspecto cultural do pensamento de Vigotski, o autor procura traçar uma relação com o social, ao afirmar que “tudo o que é cultura é social”. Ou seja, nem tudo que é social faz parte da nossa cultura, mas toda cultura necessariamente está inserida em um contexto social. Sendo assim, a cultura constitui-se da totalidade das produções humanas: técnicas, artísticas, científicas, tradições, instituições sociais e práticas sociais.

Em uma sociedade na qual a ciência era - e ainda é - extremamente valorizada e da qual se esperavam soluções prementes para os problemas econômicos e sociais do povo Russo, o desenvolvimento das pesquisas de Vigotski e seus colaboradores (VYGOTSKY, LURIA e LEONTIEV, 2006) estava sempre atrelado à prática social. A psicologia e a pedagogia não poderiam ser elaboradas independentes das demandas práticas exigidas pelo governo, e o amplo espectro da obra de Vigotski mostrava claramente a sua preocupação em produzir uma ciência que tivesse relevância para a educação prática e para a prática médica de reabilitação. Seus trabalhos voltavam-se para a resolução de problemas da sociedade como a eliminação do analfabetismo e a criação de programas educacionais que desenvolvessem as

potencialidades de cada criança e de cada jovem. Para tanto, sua visão do “sujeito” como processo representou uma verdadeira indissolubilidade da relação entre o sujeito individual e a sociedade que o contém, em uma transformação permanente (FICHTNER e BENITES, 2009).

Embora os estudos de Vigotski envolvam uma enorme riqueza e diversidade de temas, Baquero (1998) destaca três das suas principais contribuições para o campo da psicologia: o caráter histórico e social dos Processos Psicológicos Superiores (PPS); o papel que os instrumentos de mediação (ferramentas e signos) protagonizam na execução desses processos; e a necessidade de se abordar os PPS segundo os processos de sua constituição, ou seja, a partir de uma perspectiva genética. Mas antes de abordar as três ideias destacadas acima, é conveniente que se analise o papel do desenvolvimento tratado por Vigotski, pois somente a partir da sua compreensão é possível se discutir os processos e as funções psíquicas no homem.

Para Vigotski, o desenvolvimento nunca apresenta um processo linear, uma acumulação lenta de mudanças unitárias; mas um processo complexo, dialético, caracterizado por periodicidades e irregularidades no desenvolvimento dos processos psicológicos. Também há metamorfose ou transformação qualitativa de uma forma em outra, entrelaçamento de fatores externos e internos e processos adaptativos. O problema do desenvolvimento humano é analisado por Vigotski a partir de três perspectivas: a perspectiva monística, a perspectiva holística e a perspectiva interdisciplinar. Na primeira, nega-se qualquer tipo de separação entre corpo e mente, entre cognição e emoção, entre físico e espírito, entre ações exteriores e ações interiores; a segunda o coloca rigidamente em oposição a qualquer reducionismo, assumindo-se que os processos complexos não se podem reduzir aos processos elementares; já a terceira deve-se aos problemas sociais ou de natureza prática que têm aspectos diferentes, como individuais, psíquicos, culturais e materiais (FICHTNER e BENITES, 2009).

Baquero (1998) descreve sua concepção de desenvolvimento a partir da noção de Processos Psicológicos Superiores vinculados à questão do ensino e da aprendizagem, ao entender que o desenvolvimento é um processo culturalmente organizado, no qual a aprendizagem em contextos de ensino é um momento interno e necessário. Isso porque, segundo ele, o desenvolvimento dos PPS depende de situações sociais específicas com a participação do indivíduo.

Em suas pesquisas, Vigotski distingue os Processos Psicológicos Superiores (PPS) dos Processos Psicológicos Elementares (PPE), esclarecendo que esses primeiros não são

meramente uma extensão dos segundos, visto que a transformação dos processos elementares em superiores é um processo bastante complexo, que pressupõe mudanças nas suas estruturas e funções. Em relação aos PPS, podem-se relacionar algumas características que o tornam distintos dos PPE (BAQUERO, 1998):

- São constituídos na vida social e são específicos dos seres humanos;
- Regulam as ações em função de um controle voluntário, superando sua dependência e controle por parte do meio ambiente;
- Estão regulados conscientemente ou necessitam de regulação consciente em algum momento da sua constituição;
- Valem-se, na sua organização, do uso de instrumentos de mediação.

Os Processos Psicológicos Superiores podem, ainda, ser subdivididos em PPS Rudimentares e PPS Avançados. Os primeiros estariam relacionados àqueles processos que podem ser adquiridos na vida social pela totalidade dos membros da espécie, como a fala. Já os segundos pressupõem o uso significativamente maior de instrumentos de mediação e a existência de processos específicos instituídos de socialização, como por exemplo, o domínio da língua escrita, adquirido por meio da escolarização.

Um aspecto crucial na obra de Vigotski sobre o caráter mediado da atividade diz respeito à visão da atividade instrumental sob uma perspectiva dialética, em que indivíduo e meio físico se relacionam reciprocamente. Sua teoria baseia-se nas ideias de Engels sobre o trabalho humano e o uso de instrumentos (ferramentas e signos), ao considerar estes últimos como símbolo especificamente da atividade humana, que ao transformar a natureza pelo homem, transforma-o a si mesmo.

A interpretação dada por Vigotski à atividade humana, segundo Zanella (2007), possui três aspectos fundamentais: é orientada por um objetivo; faz uso de instrumentos de mediação; e produz algo que se constitui como elemento da cultura, seja caracterizado por uma existência física ou simbólica, pautada na objetivação do ser humano. As ferramentas, também conhecidas como instrumentos, são elementos externos ao indivíduo, construídos fora dele; sua função é provocar mudança nos objetos, controlar processos da natureza. Os signos, por sua vez, chamados por Vigotski de "instrumentos psicológicos" são orientados para o próprio sujeito, ou seja, para dentro do indivíduo; dirigem-se ao controle de ações psicológicas, seja do próprio indivíduo, seja de outras pessoas (FICHTNER e BENITES, 2009).

Uma ferramenta, como por exemplo, um machado, é sempre um instrumento mediador por permitir uma relação dinâmica entre o homem e a natureza, entre o trabalho humano e a modificação de um meio social, ou de um meio ambiente. Por outro lado, um signo, como um gesto ou um elemento gráfico, está relacionado com tarefas que exigem memória ou atenção, sendo interpretáveis como representações da realidade que podem se referir a elementos, objetos, processos e a outros fenômenos ausentes do espaço e do tempo. Segundo Vigotski:

A invenção e o uso de signos como meios auxiliares para solucionar um dado problema psicológico (lembrar, comparar coisas, relatar, escolher etc.) é análoga à invenção e uso de instrumentos, só que agora no campo psicológico. O signo age como um instrumento de atividade psicológica de maneira análoga ao papel de um instrumento no trabalho. (VIGOTSKI, 1984, p. 52).

Baquero (1998) esclarece que o processo de apropriação, pelo indivíduo, dos instrumentos culturalmente construídos ao longo da história não é simplesmente uma acumulação de domínio sobre instrumentos variados. Trata-se de um processo de reorganização da atividade psicológica do sujeito como produto da sua participação em situações sociais e específicas. Esse processo de construção das funções superiores (como ações conscientemente controladas, atenção voluntária, memorização ativa, pensamento abstrato e ação intencional) passa necessariamente por uma mudança qualitativa e fundamental no uso dos signos, a qual é explicada com base no conceito de internalização ou interiorização, que segundo a autora consiste:

- Em uma operação que inicialmente representa uma atividade externa, mas se reconstrói e começa a suceder internamente;
- Em um processo interpessoal que se transforma em intrapessoal, sendo resultado de uma série prolongada de acontecimentos evolutivos.

Algumas considerações mais sobre o processo de internalização são destacadas por Baquero (1998): é um processo voltado à construção dos PPS (e não dos elementares); e se relaciona tanto com aspectos do desenvolvimento cognitivo como da personalidade do sujeito. Ao contrário do que se pode pensar, esse processo não corresponde à transferência ou cópia dos conteúdos externos para o interior da consciência; a internalização é criadora de consciência. Zanella (2007) afirma que a internalização consiste na apropriação pelo sujeito das conquistas e conhecimentos historicamente produzidos, os quais ocorrem através das relações sociais que possibilitam ao sujeito construir-se como ser consciente. Já Wertsch

(1998) a considera um processo cujo seio se desenvolve em um plano interno da consciência.

Em linhas gerais, Fichtner e Benites (2009) destacam alguns aspectos relacionados às características de mediação dos instrumentos, bem como as transformações que esses ocasionam no pensamento humano e na sua relação com a sociedade:

- A mediação cultural pelos instrumentos e signos não é apenas uma ideia psicológica, mas sim uma ideia que quebra todos os muros, que separa o indivíduo da sociedade, a consciência individual da cultura e sociedade;
- Os homens não são controlados “de fora”, quer dizer, pela sociedade. Os homens também não são controlados de dentro, quer dizer, pela sua herança biológica. Nos homens pode-se controlar o próprio comportamento, não de dentro, mas assim “de fora”, usando e criando meios, instrumentos e signos;
- O núcleo mais único, íntimo e subjetivo de cada indivíduo é a sua consciência, cuja natureza é tanto social como cultural. A construção deste núcleo não é um processo de copiar uma realidade externa e social. Ao contrário, o que é a consciência é um processo ativo, em que o indivíduo se constrói como sujeito, transformando as relações sociais em Processos Psicológicos Superiores. A consciência é um contato social do indivíduo consigo mesmo e com a realidade;
- O que é o sujeito não representa o resultado do seu ambiente social. Ao contrário, no fundo o sujeito é o resultado da sua própria atividade. Através dos instrumentos e signos, essa atividade é histórica, social e cultural.

Por fim, cabe fazer uma última consideração sobre a contribuição de Vigotski para o campo da psicologia - a de constituição dos PPS a partir de uma perspectiva genética. A “Lei genética do desenvolvimento cultural” é tratada por Vigotski para conceber a gênese cultural dos Processos Psicológicos Superiores. A respeito de tais pensamentos de Vigotski, Leontiev declara:

Em comparação com as proposições anteriores, o historicismo de Vygotsky tem outro caráter. (...) Para ele, os determinantes da evolução psíquica do homem não são nem a maturação biológica na ontogênese, nem a adaptação biológica ao longo da luta pela existência na filogênese (a psicologia infantil e a psicologia animal da corrente evolucionista), nem a assimilação por parte dos homens das ideias do espírito universal, encarnadas nas criações da cultura, nem tampouco as relações de cooperação social, mas o trabalho do homem com ajuda de instrumentos. Essa proposição mantém uma estreita relação orgânica com a hipótese do caráter mediado dos processos psíquicos através dos instrumentos. (LEONTIEV, 1992, p. 434-435 citado por BAQUERO, 1998, p.35).

Dessa forma, fica clara a existência de uma vinculação genética no que se refere ao

meio social, aos instrumentos de mediação e ao processo de internalização para explicar o caráter formativo dos PPS. Vigotski afirma que o sujeito e o seu processo de vida não podem ser reconstruídos cientificamente só com os elementos e as formas que oferecem a biologia ou a sociologia, ou seja, o sujeito não pode ser reduzido só a sua natureza biológica e a sua sociedade. O sujeito é visto como um processo vivo, em que se encontram três linhas diferentes de desenvolvimento: a filogênese, o processo histórico-cultural e a ontogênese. Fichtner e Benites (2009) afirmam ainda que esses três processos interagem entre si e constroem um processo único e imprevisível, dando a ideia de que o homem é um processo rico e complexo para que se possa entrar em uma classificação. A evolução dos Processos Psicológicos Superiores aparece então como um processo irreduzível às condições de natureza simplesmente biológica; trata-se, pois de algo muito mais complexo, ligado tanto aos aspectos de maturação e crescimento, quanto de apropriação dos instrumentos que a sociedade nos dispõe.

Um tipo de instrumento socialmente construído, ou signo, que em função da sua importância histórica e científica, foi (e tem sido) alvo de inúmeras pesquisas, diz respeito aos conceitos científicos. Tratam-se de signos historicamente estabelecidos e socialmente construídos que requerem formas avançadas de categorização e generalização (VIGOTSKI, 2001). Além de Vigotski, outros pesquisadores como Leontiev (1964, 1967, 1972, 1978, 1992), Davydov (1972, 1988) e Galperin (1959, 1986) deixaram valiosas contribuições sobre esse tema, tanto para o campo da psicologia quanto para a didática. De modo que, nas próximas seções, buscar-se-á apresentar as principais ideias vinculadas ao assunto do processo de formação de conceitos, desde a gênese do seu desenvolvimento, passando pelas suas características de apresentação, e culminando nas observações que dizem respeito à sua apropriação, no processo de ensino e aprendizagem.

### **3.2 ESTUDOS DO DESENVOLVIMENTO DE CONCEITOS**

Para Vigotski (2001), os métodos tradicionais de estudo de conceitos dividem-se em dois grupos: o primeiro, chamado de método de definição, é utilizado para investigar os conceitos já formados na criança através da definição verbal de seus conteúdos; o segundo grupo, que envolve os métodos de estudo da abstração, procura estudar as funções e os processos psicológicos que fundamentam o processo de formação de conceitos, com base na elaboração na experiência direta de onde nasce o conceito.

As abordagens de estudo de conceitos que utilizam os métodos de definição, lidam



com a definição e a verbalização de conceitos acabados, deixando de lado toda a dinâmica no processo da sua construção. Ao se operar exclusivamente com a palavra, sem a vincular às experiências sensoriais, geralmente não se consegue estabelecer a relação entre o significado atribuído pelo estudante com o seu significado real. Como consequência, o estudante geralmente deixa de compreender o real significado dos conceitos, relacionado à realidade objetiva, para procurar explicá-los através de outras palavras, no plano puramente verbal. Vigotski (2001) destaca como uma das principais fragilidades desse método, o fato de que o conceito é retirado da sua relação natural, ficando fora do vínculo com os processos reais do pensamento em que ele surge. O conceito tomado de forma isolada e estagnada não nos dá a mínima ideia do que seja essa palavra em ação, ou seja, quando operada em conjunto com outros conceitos na solução de um problema.

O grupo dos métodos de estudo da abstração tenta superar as dificuldades citadas anteriormente por meio da elaboração da experiência direta, em que o aprendiz descobre alguns traços comuns em uma série de impressões concretas. Em seguida, abstraindo-se todos os outros traços relacionados ao seu processo de percepção, ele generaliza o traço comum a toda uma série de impressões. O processo de abstração, nesse caso, fica desvinculado ao papel da palavra e do símbolo no processo de formação de conceitos.

Vigotski (2001) afirma que tanto o primeiro quanto o segundo grupo de métodos apresentam problemas que limitam ou simplificam demasiadamente um processo que, além de estar vinculado à formação da palavra que representa o conceito, deve favorecer a abstração e a percepção. Ou seja, um método que queira representar adequadamente o processo de formação de conceitos deveria incluir tanto o campo material, que serve de base à elaboração do conceito, quanto o campo da palavra através da qual ele surge. Nesse sentido, dois estudos que introduziram métodos investigativos das condições funcionais de surgimento dos conceitos foram destacados por Vigotski: o de Ach e o de Rimat.

O método sintético genérico proposto por Ach (s.d) citado por Vigotski (2001) busca estudar o processo de construção dos conceitos pela síntese de uma série de traços que os formam, bem como através do seu desenvolvimento. Nos seus experimentos, foram introduzidas palavras artificiais sem sentido que não estavam vinculadas às experiências anteriores das crianças, para ligá-las a determinadas combinações de atributos. O objetivo era equiparar crianças e adultos no processo de formação de conceitos, sem que fossem necessárias experiências ou conhecimentos prévios por parte dos indivíduos, para que se pudesse estudar o processo em seu aspecto puro.

Seus resultados mostraram que a formação de conceitos é um processo de caráter produtivo e não reprodutivo. Ou seja, o conceito surge e se configura no curso de uma operação complexa voltada para a solução de algum problema, e que só a presença de condições externas e o estabelecimento mecânico de uma ligação entre a palavra e o objeto não são suficientes para a sua criação (VIGOTSKI, 2001).

Outra conclusão do trabalho de Ach diz respeito à existência de um fator associativo básico que determina todo o fluxo do processo: a tendência determinante. Ela regula o fluxo dos nossos conceitos e ações, parte do objetivo a ser atendido por esse fluxo para se alcançar as metas propostas. Desta forma, o momento central, sem o qual nenhum conceito jamais surge, seria a ação reguladora da tendência determinante. Segundo o autor, a formação de conceitos não segue o modelo de uma cadeia associativa, mas um processo orientado para um fim que utiliza uma série de operações que servem como meio para a resolução de um problema central.

Em outro estudo, Rimat (1925) utilizou uma variante do método de Ach para analisar o processo de formação de conceitos em adolescentes. Sua principal contribuição foi estabelecer o final da puberdade como marco para início do desenvolvimento na criança, dos processos que levam à formação dos conceitos e do pensamento abstrato. Segundo ele:

Podemos estabelecer, com segurança, que só ao término do décimo segundo ano manifesta-se um nítido aumento da capacidade da criança para formar, sem ajuda, conceitos objetivos generalizados. Acho sumamente importante chamar atenção para esse fato. O pensamento por conceitos, dissociado de momentos concretos, faz à criança exigências que excedem suas possibilidades psicológicas antes dos doze anos de idade. (RIMAT, 1925, p.112 citado por VIGOTSKI, 2001, p. 155).

A principal contribuição desses dois estudos, na opinião de Vigotski (2001), diz respeito à rejeição do ponto de vista meramente associativo sobre o processo de formação de conceitos. Isso porque os experimentos realizados não confirmaram a concepção anterior de que o conceito surge pelo fortalecimento de vínculos associativos entre atributos comuns a grupos de objetos e pelo enfraquecimento de outros vínculos que distinguem esses objetos. Todas as pesquisas abordadas nos estudos de Vigotski concordam que o processo de formação de conceitos não pode ser entendido como uma forma inferior de atividade intelectual que vai se tornando complexa, de modo exclusivamente quantitativo, à medida que aumentam esses vínculos. Ele representa um novo tipo de atividade, que está vinculada ao emprego ativo dos signos e diz respeito a uma forma superior de comportamento, mais complexa

qualitativamente.

Outro importante estudo experimental realizado por D. Uznadze (s.d) citado por Vigotski (2001) mostrou que a forma como as crianças em idade pré-escolar abordam problemas ao operar com conceitos é exatamente igual a dos adultos. Para esse autor, o que diferenciaria essas duas abordagens seria o modo de se resolver os problemas. Sendo assim, não seria a tarefa, nem o objetivo e nem a tendência determinante, conforme pensara Ach, que condicionariam a diferença entre o pensamento por conceitos entre o adulto e a criança, mas a comunicação e a linguagem. Sobre esse estudo, Vigotski (2001) explica que no estágio inicial de seu desenvolvimento, a criança é capaz de compreender o problema e visualizar o objetivo proposto; além disso, como as tarefas de compreender e comunicar são essencialmente as mesmas para o adulto e a criança, essa última desenvolve equivalentes funcionais de conceitos precocemente. No entanto, a identidade dos problemas e a equivalência do momento funcional são diferentes, bem como as formas de pensamento ao lidar com eles, o que faz com que as tarefas para as crianças sejam bastante diferentes das do adulto em sua composição, estrutura e modo de operar.

### **3.2.1 Formação de conceitos em Vigotski**

O fluxo do processo de formação de conceitos abordado por Vigotski (2001), assim como em outros processos, não se restringe às tarefas, ao objetivo ou ao fim da atividade. A questão central, segundo ele, é o problema dos meios através dos quais se realiza essa ou aquela atividade voltada para determinado fim. Como os PPS são processos mediados que incorporam o emprego de signos na orientação e domínio dos processos psíquicos, pode-se dizer no processo de formação de conceitos, esse signo é a palavra, a qual está vinculada à formação de determinado conceito e sua posterior simbolização.

Baseado nisso, Vigotski estudou o processo de formação de conceitos através da metodologia experimental desenvolvida por Sákharov (s.d) chamada de “método funcional de dupla estimulação”, que analisa o desenvolvimento e a atividade dos PPS com o auxílio de dois estímulos: um desempenhando a função de objeto da atividade e outro a função dos signos. Nessa concepção, tanto o objetivo quanto o problema são propostos logo no início das tarefas, e esse último permanece ao longo de todas as etapas desenvolvidas; os meios vão sendo introduzidos gradualmente a cada tentativa realizada pelo aprendiz para resolver o problema, cuja resolução corresponde à formação real dos conceitos.

Vigotski (2001) esclarece que esse processo é conduzido com a intenção de inverter a

pirâmide conceitual, ou seja, realizar um movimento de cima para baixo, do geral para o particular: do topo da pirâmide para a sua base. Primeiramente vem o processo de elaboração do conceito, depois o processo de transferência do conceito elaborado para os novos objetos, depois o emprego do conceito no processo de livre associação e finalmente, a aplicação do conceito na formação de juízos e definição de conceitos reelaborados (Figura 3.1).

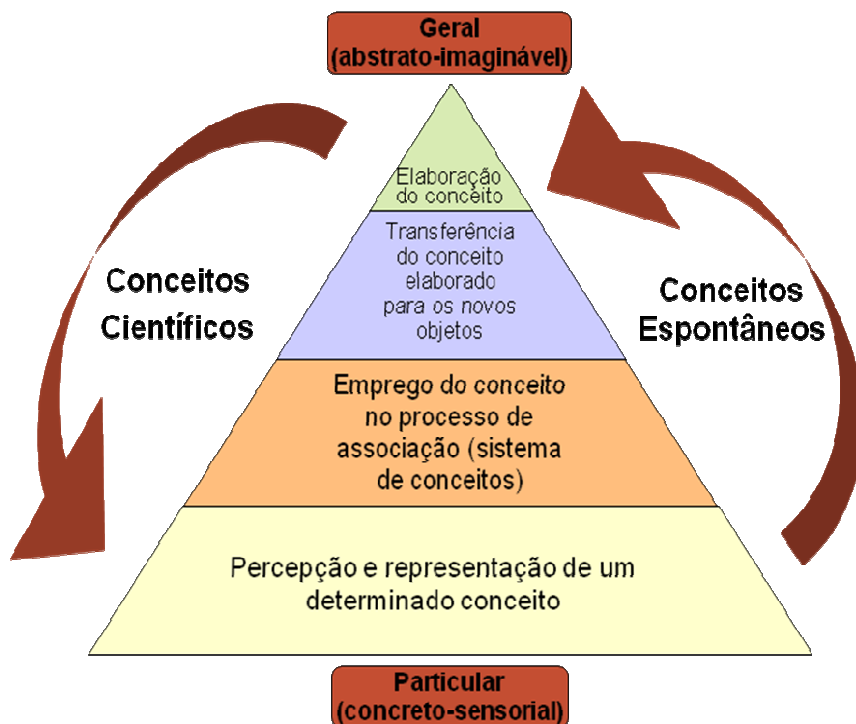


Figura 3.1: Esquema representativo da dinâmica de formação dos conceitos. Adaptado de Vigotski (2001).

Em linhas gerais, a principal conclusão obtida com as investigações de Vigotski estabelece que o desenvolvimento dos processos que culminam na formação de conceitos começa na infância, embora as funções intelectuais que constituem a base psicológica do processo de formação de conceitos desenvolvem-se somente na puberdade. Apesar de considerar a existência de formações intelectuais na criança que aparentemente são semelhantes aos conceitos verdadeiros, os equivalentes funcionais diferem significativamente em natureza psicológica, composição, estrutura e modo de atividades desses últimos. Nesse aspecto, as observações alcançadas por Vigotski e seus colaboradores vão ao encontro dos estudos de Rimat e de Sákharov.

O processo de formação de conceitos sob o ponto de vista da psicologia, para Vigotski, é bastante complexo e envolve o emprego funcional do signo (neste caso a palavra); ou seja,

compreende a aplicação do conceito em situações específicas, de forma não mecânica, além de envolver outros fatores relacionados às funções intelectuais básicas como a atenção, o juízo, a representação, dentre outros. Todos esses fatores colaborariam para a formação dos conceitos, mas nenhum deles seria determinante, conforme se pensava anteriormente. Na opinião de Vigotski, o processo de formação dos conceitos está relacionado principalmente ao emprego funcional do signo ou da palavra, pois é através dela que o adolescente subordina ao seu poder as operações psicológicas que o guiarão na resolução dos problemas. Desta forma, o pensamento verbal e o emprego da palavra tornam-se condição essencial do amadurecimento conceitual, posto que sem eles seria impossível pensar através de conceitos.

As conclusões retiradas das investigações de Vigotski em termos de gênese do desenvolvimento dos conceitos apontam para a existência de três estágios ou modalidades básicas: a primeira modalidade é o pensamento sincrético, a segunda é o pensamento por complexos e a terceira e última, o pensamento conceitual. Baquero (1998) utiliza a expressão “modalidade ou nível” para representar, de maneira equivalente, as diferentes interpretações dadas aos “estágios ou fases” da obra de Vigotski. No entanto, Kozulin (1990), ao fornecer sua interpretação sobre o assunto, esclarece que:

Não se deve confundir estes tipos de “fases” naturais do desenvolvimento da criança; trata-se, antes, de dispositivos metodológicos para distinguir qual parece ser a forma mais pronunciada de formação de conceitos para cada idade. Mesmo assim, é importante recordar que os tipos preconceituais de representação permanecem nas crianças maiores e nos adultos, que amiúde recorrem a estas formas mais “primitivas” dependendo de qual seja sua interpretação da tarefa e da estratégia que escolham para resolvê-la. (KOZULIN, 1990, p.157)

O primeiro estágio de desenvolvimento dos conceitos - o do pensamento sincrético - manifesta-se no comportamento das crianças de baixa idade, que ao se depararem com um problema, amontoam os vários objetos sem fundamento interno suficiente, com semelhança interna insuficiente e sem relação entre as partes. Nesse estágio, que se subdivide em três fases, o significado da palavra é um encadeamento de objetos mais ou menos concatenados em uma imagem sincrética, desorganizada, que é mista e instável. Segundo Baquero (1998), nessa fase encontram-se os primeiros rudimentos de agrupamentos a que se denominam “compilações não organizadas”, os quais atendem a critérios “subjetivos”, embora em certos casos possam ser utilizados critérios de tipo “objetivo”.

Embora na passagem para o segundo estágio - do pensamento por complexos - ainda exista uma grande variedade (em termos funcionais, estruturais e genéticos) do mesmo modo de pensamento relacionado à imagem sincrética do primeiro estágio, percebem-se algumas

transformações importantes em relação ao primeiro estágio:

O complexo baseia-se em vínculos reais que se manifestam pela experiência imediata; por isso o complexo é, sobretudo, o agrupamento de um conjunto de objetos concretos sobre a base da vinculação real entre eles. Daqui se desprendem as particularidades restantes desta forma de pensamento. As mais importantes são as seguintes: os complexos não pertencem ao plano do pensamento lógico abstrato, mas real concreto e, por isso, tanto as conexões que lhe servem de base como as que se estabelecem com seu auxílio carecem de uniformidade. (VIGOTSKI, 1934, p. 139 citado por BAQUERO, 1998, p.57)

No estágio do pensamento por complexos, que pode ser subdividido em cinco fases intermediárias, a criança já começa a agrupar os objetos segundo as leis dos vínculos objetivos que ela descobre, embora se perceba que o modo de unificação dos objetos concretos, o caráter dos vínculos e a estrutura das unidades que surge à base do pensamento ainda diferem profundamente do pensamento por conceitos. O complexo se baseia em vínculos concretos e fatuais que se revelam na experiência imediata, ou seja, na semelhança física entre os objetos. Além disso, esses vínculos podem ser bastante diversificados, em oposição ao conceito, em que a generalização ocorre por meio de um vínculo essencial e uniforme.

Ainda nesse estágio, cabe destacar a fase em que as crianças utilizam o pensamento por complexo em cadeia. O complexo em cadeia ocorre segundo a combinação dinâmica e temporal de determinados elos em uma cadeia única e da transmissão do significado através de elos isolados dessa cadeia. Na prática, uma criança escolhe os objetos associando-os a um sentido e depois vai orientando os objetos segundo algum traço secundário do objeto anteriormente escolhido, que já se encontra totalmente fora da amostra. Durante todo o tempo, ocorre a passagem de um traço a outro em função das características do objeto, que podem ser muito distintas uma vez que no pensamento por complexos não existe vínculo nem relações hierárquicas entre esses traços.

Na última fase do segundo estágio do pensamento por complexos, surge o que Vigotski chama de complexo de pseudoconceito. Baquero (1998) destaca uma importante propriedade dos pseudoconceitos: são um equivalente funcional do pensamento conceitual dos adultos na medida em que a criança pode chegar a delimitar os mesmos objetos sob a denominação empregada, embora esteja pensando por complexos. Nessa fase, a generalização formada na mente da criança é parecida (fenotipicamente ou semelhante em termos) com o conceito verdadeiro, mas difere (genotipicamente ou significativamente) deste pela sua essência, natureza genética, condições de surgimento e desenvolvimento, bem como pelos vínculos dinâmicos causais.

Na prática, a criança que produz um pseudoconceito realiza sua generalização de forma semelhante àquela que origina os conceitos abstratos. Porém, as investigações experimentais de Vigotski e seus colaboradores mostraram que o processo do pseudoconceito não passa de uma construção de complexo limitado de associações, baseado no pensamento concreto da criança. Como ela recebe o significado das palavras através da comunicação com outras pessoas, a assimilação do pensamento dos adultos pelas crianças não ocorre por meio de operações abstratas, mas através de pseudoconceitos. Sendo assim, ocorre que a criança, que pensa por complexos, e o adulto, que pensa por conceitos, estabelecem uma compreensão mútua e uma comunicação verbal com base nos complexos e nos conceitos que pode coincidir. Para Vigotski (2001) a passagem do pensamento por complexos para o pensamento por conceitos ocorre de forma imperceptível na criança, que passa a utilizar o pensamento abstrato associado ao pensamento concreto metafórico.

O início do terceiro estágio da evolução do pensamento, ou pensamento por conceitos, surge na adolescência e apresenta muitas semelhanças com o estágio dos pseudoconceitos. A generalização criada pela criança nesse estágio engloba o objeto concreto, mas deixa de fora uma parte dos seus atributos. Ao mesmo tempo, os atributos que serviram de base para sua inclusão no complexo manifestam-se mais claramente. Posteriormente, na segunda fase do mesmo processo de desenvolvimento, a criança realiza a generalização do grupo de objetos com base nos seus atributos comuns, atingindo o estágio dos chamados conceitos potenciais. Esses conceitos desempenham um importante papel na evolução do pensamento das crianças, que ao destruir situações concretas e vínculos concretos dos atributos, passam a criar novas combinações desses atributos em uma nova base.

Segundo Vigotski (2001), os conceitos surgem da abstração de uma série de atributos que posteriormente sintetizam-se, culminando na percepção da realidade pela criança. Só o domínio do processo da abstração, acompanhado do desenvolvimento do pensamento por complexos, pode levar a criança a formar conceitos verdadeiros. Entretanto, ele esclarece: o conceito em sua forma natural e desenvolvida pressupõe não apenas a união e a generalização dos elementos isolados, como também a capacidade de abstrair, de considerar separadamente esses elementos fora das conexões reais e concretas dadas. Já o pensamento por complexos se caracterizaria pela superabundância de conexões e ausência de abstração.

Vigotski (2001) destaca ainda a importância do papel da palavra nesse processo, pois com ela a criança orienta arbitrariamente sua atenção para determinados atributos, sintetizando, simbolizando e operando com o conceito abstrato. Ou seja, a diferença principal

entre o pensamento por complexo e o pensamento através de conceitos estaria nas operações que surgem por intermédio da palavra ou signo, que empregados funcionalmente, determinam o processo de generalização.

A transição das formas primitivas de pensamento (sincréticas e por complexos) para a forma de pensamento por conceitos potenciais nos adolescentes ocorre de maneira gradual. No início, os conceitos verdadeiros aparecem esporadicamente e com o tempo vão se tornando cada vez mais frequentes. No entanto, Vigotski esclarece que esse processo de desenvolvimento é bastante complexo e está vinculado a uma série de fatores. Prova disso é que até o adulto, embora opere com formas superiores de pensamento, com frequência recorre ao nível de pensamento por complexos, chegando às vezes, a descer até as formas mais elementares e primitivas. (VIGOTSKI, 2001).

Um aspecto que foi estudado pelo grupo de Vigotski e merece ser destacado nesse trabalho diz respeito à discrepância entre a formação do conceito e a sua definição verbal, não só entre os adolescentes, mas também no pensamento dos adultos. Os experimentos mostraram que essa discrepância ocorre notoriamente entre os adolescentes, que com frequência empregam corretamente o conceito em uma situação concreta, mas quando são solicitados a dar a sua definição verbal, esbarram em dificuldades. Além disso, outra dificuldade observada pelos adolescentes decorre da aplicação e verbalização dos conceitos em função da transferência de atributos, quando estes se encontram em outro ambiente diferente do primeiro – principalmente se o conceito surge de uma situação concreta e começa a movimentar-se em um plano abstrato. Vigotski (2001) afirma que, nesse caso, o adolescente aplica a palavra como conceito e o define como complexo, dando a entender que se trata de uma fase transitória de pensamento.

Em outra pesquisa, Vigotski e seus colaboradores (VIGOTSKI, 2001) buscam entender os tipos de relações existentes entre os conceitos científicos e os espontâneos. Para tanto, ao abordar o estudo do desenvolvimento dos conceitos científicos na infância, ele descreve as experiências realizadas por Chif (s.d) entre estudantes do 1º grau da idade escolar. Nesse estudo experimental, os sujeitos foram postos diante de situações desencadeadoras de aprendizagens que favoreciam o estudo do conhecimento científico, e em paralelo, os conhecimentos espontâneos. A metodologia consistiu em contar histórias seguindo-se uma série de quadros, concluir orações causais e adversativas interrompidas pelas palavras “porque”, “embora”; desenvolver palestras clínicas com a finalidade de revelar os níveis de assimilação das relações de causa e efeito e de sequência com base em matéria espontânea e



científica.

A análise dos resultados mostrou que o desenvolvimento dos conceitos científicos foi superior ao dos conceitos espontâneos, uma vez que esses primeiros apresentaram níveis mais elevados de tomada de consciência no que diz respeito aos testes do “porque” e “embora”. Além disso, conclui-se que o curso do desenvolvimento dos conceitos científicos apresenta um momento de reviravolta determinado pela sua definição verbal, descendendo ao concreto e ao fenômeno, enquanto que o desenvolvimento dos conceitos espontâneos se verifica fora do sistema, ascendendo para as generalizações.

Dessa forma, estabelecem-se dois pontos de vista da psicologia infantil a respeito do processo de desenvolvimento dos conceitos espontâneos e científicos na criança: enquanto uns acreditam que os conceitos científicos podem ser prontamente absorvidos por meio da memorização e do estabelecimento de vínculos associativos, outros, como Vigotski, julgam existir relações bem mais complexas que estão condicionadas a níveis elevados de desenvolvimento mental como atenção arbitrária, memória lógica, abstração, comparação e discriminação.

Na opinião de Chiff (s.d) citado por Vigotski (2001), o desenvolvimento dos conceitos científicos constitui-se a partir da colaboração sistemática entre a criança e o adulto, em que o amadurecimento dos PPS no primeiro ocorre com a ajuda do segundo. Nesse processo, são percebidos tanto aspectos fracos quanto fortes na estruturação dos conceitos espontâneos e científicos. A fraqueza dos conceitos espontâneos está relacionada à incapacidade para abstração e operação arbitrária com esse tipo de conceito. Quanto aos conceitos científicos, a dificuldade fica por conta da sua verbalização.

Ainda com relação ao processo de formação dos conceitos espontâneos e científicos, Vigotski afirma que os conceitos científicos não repetem as mesmas vias de desenvolvimento dos conceitos espontâneos, embora ele acredite que haja uma influência mútua de um grupo de conceitos sobre o outro. Ele discorda do pensamento de Piaget (1975), que ao acreditar no antagonismo entre aprendizagem e desenvolvimento, coloca o pensamento infantil contraposto ao pensamento adulto, e desta forma, separa os conceitos espontâneos dos científicos – o primeiro precisaria se deslocar para dar lugar ao segundo (VIGOTSKI, 2001).

As explicações de Vigotski convergem para três aspectos cruciais do processo de desenvolvimento dos conceitos: a) por meio do estudo da formação dos conceitos científicos, é possível revelar as peculiaridades qualitativas do pensamento infantil em uma determinada fase da evolução etária; b) existem traços contrários, mas também afins, entre conceitos

espontâneos e científicos, visto que seus desenvolvimentos são processos intimamente ligados; c) entre os processos de aprendizagem e desenvolvimento na formação dos conceitos, existem relações<sup>6</sup> complexas e positivas. Nesse sentido, os estudos de Vigotski e seus colaboradores estabelecem como premissa que o sistema de generalização e a tomada de consciência pressupõem a existência de conceitos infantis bastante ricos e maduros. E, além disso, o sistema primário de generalização que surge no campo dos conceitos científicos é transferido estruturalmente para o campo dos conceitos espontâneos, reconstituindo-os e modificando-lhes a estrutura interna como de cima para baixo.

Toda essa discussão levantada por Vigotski a respeito da formação dos conceitos científicos e espontâneos, na verdade, deve ser analisada com base na relação entre os processos de aprendizagem e desenvolvimento. Portanto, faz-se necessário citar as três concepções teóricas mais importantes que levam em conta esse problema epistemológico.

O primeiro grupo de teorias considera a aprendizagem e o desenvolvimento como dois processos independentes: enquanto o desenvolvimento da criança seria um processo de maturação natural, a aprendizagem seria algo exterior às oportunidades criadas pelo processo de desenvolvimento. Ou seja, as crianças desenvolveriam todas as formas superiores de pensamento, independentemente do seu grau de ensino. Nessa mesma linha, Vigotski aborda a existência de pesquisadores, como Piaget, que acreditam na relação de dependência unilateral entre aprendizagem e desenvolvimento, concebendo que o desenvolvimento gera as possibilidades para que se realize a aprendizagem. Deste modo, para que ela ocorra, deve existir certo grau de maturidade das funções psíquicas particulares. Em termos temporais, diz-se ser necessário surgir primeiro o desenvolvimento para que haja a aprendizagem. Nessa concepção, vincula-se a ideia de se conceber o ensino em ciclos ou estágios do desenvolvimento, que serão condição necessária para que a aprendizagem se concretize. Vigotski (2001), apesar de concordar com a ideia de que é necessário certo grau de desenvolvimento para que a aprendizagem se torne possível, esclarece que essa dependência não é principal, mas subordinada.

O segundo grupo de teorias considera aprendizagem e desenvolvimento dois processos idênticos, ou seja, a criança se desenvolve à medida que aprende. Portanto, como não há distinção entre os dois processos, não há como analisar as relações existentes entre ambas. Essa teoria parte da hipótese que aprendizagem e desenvolvimento transcorrem como dois processos paralelos em sincronia.

---

<sup>6</sup> Vigotski (2001) cita o termo “sistema de conceitos” para designar suas relações.

O terceiro grupo, liderado por Koffka (1925) citado por Vigotski (2001), tenta criar um ponto intermediário entre os dois grupos anteriores, ao assumir o duplo caráter do desenvolvimento. A primeira consequência desse ponto de vista é considerar uma relação de interdependência entre as duas modalidades de desenvolvimento – a maturação e a aprendizagem. A segunda consequência é reconhecer o processo de aprendizagem como o surgimento de novas estruturas e o aperfeiçoamento das antigas, de maneira que, ao assimilar determinada operação, uma criança pode abrir novas possibilidades em função das suas estruturas existentes. Vigotski (2001) concorda com essa posição ao afirmar que a aprendizagem pode ir não só atrás do desenvolvimento, não só a passo com ele, mas pode superá-lo, projetando-o para frente e suscitando nele novas formações. Uma boa escola, para ele, deve fazer com que a aprendizagem da criança conduza o seu desenvolvimento. Nessa ótica, assume-se a possibilidade de que algumas disciplinas da escolarização formal possam fornecer, além dos conhecimentos e habilidades previstos pelo curso, uma série de habilidades intelectuais não esperadas. Ao se concordar com essa influência entre processos psicológicos próximos, entende-se que o aprendizado de determinada matéria poderia facilitar ou propiciar o desenvolvimento de um sistema de funções existentes em outras áreas de estudo.

Uma das consequências extraídas das investigações de Vigotski sobre o problema da aprendizagem na criança atribui significativa importância às funções psicológicas que estão em processo de maturação, em oposição às que já estão constituídas ou maduras. Esses processos constituem o que Vigotski chama de Zona de Desenvolvimento Imediato<sup>7</sup> (ZDI), o qual é definido como a discrepância entre a idade mental real ou nível de desenvolvimento atual da criança e o nível que ela atinge ao resolver problemas em colaboração com outra pessoa (VIGOTSKI, 2001).

A ideia central fornecida pela definição de ZDI, na leitura de Baquero (1998), pode ainda gerar outras formulações com consequências para o desenvolvimento cognitivo dos sujeitos. São elas:

- O que hoje se realiza com a assistência, ou com o auxílio de pessoa mais especializada no domínio em jogo, no futuro se realizará com autonomia sem necessidade de dita assistência;
- Essa autonomia no desempenho se obtém, um tanto paradoxalmente, como

---

<sup>7</sup> Optou-se por utilizar o termo “Zona de Desenvolvimento Imediato”, ao invés de “Zona de Desenvolvimento Proximal” em função dos motivos expostos em Vigotski (2001, p. XI): o primeiro consiste na interpretação da tradução original russa e o segundo se deve a noção implícita do conceito Vigotskiano de “mais próximo”, “imediato”, ou seja, a partir do desempenho do aluno que resolve problemas sem a mediação do professor, pode-se aferir seu nível de desenvolvimento mental imediato.

produto da assistência ou auxílio, o que forma uma relação dinâmica entre aprendizagem e desenvolvimento;

- O auxílio ou assistência dada pelo sujeito com maior domínio deve reunir uma série de características, pois nem toda situação de interação entre pessoas de competência desigual geram desenvolvimento.

Nessa ótica, atribui-se importante função à imitação, que não é pensada como uma atividade puramente mecânica, mas promotora do desenvolvimento intelectual da criança, desde que ela esteja na sua Zona de Desenvolvimento Imediato. No entanto, ao desenvolver o conceito de Zona de Desenvolvimento Imediato, Vigotski deixa claro que mesmo nas atividades em colaboração, a criança só consegue fazer mais até determinado limite estabelecido pelas suas potencialidades intelectuais. Seus experimentos mostraram que se a dificuldade de um problema aumentar indiscriminadamente deverá chegar a um ponto em que a atividade em colaboração não trará mais avanços. Logo, a aprendizagem deve estar dentro da ZDI para ser efetiva, pois ensinar a uma criança o que ela já sabe é tão pouco produtivo quanto ensinar-lhe o que ela não está apta a aprender.

É importante também ponderar a concepção de Zona de Desenvolvimento Imediato aplicada ao ensino e aprendizagem de conceitos científicos e espontâneos, uma vez que a apropriação dos sistemas conceituais implica formas voluntárias e conscientes de trabalho intelectual que transitam entre as esferas superiores e inferiores do pensamento. Sendo assim, cabe retornar à discussão sobre os conceitos científicos e espontâneos, suas relações e aspectos principais.

Os conceitos científicos são construídos pela criança na escola, ou seja: surgem em função do conhecimento que a criança ainda não adquiriu, por meio de sua aplicação não espontânea. De outra forma, os conceitos espontâneos partem do que ela já conhece, embora ainda não tenha consciência do seu significado verbal. Sendo assim, as características mais fortes dos conceitos científicos, que dizem respeito à sua definição, operação em situações não concretas e aplicação em operações lógicas, são justamente os pontos fracos dos conceitos espontâneos.

Para Vigotski (2001), os conceitos científicos não podem ser absorvidos pelas crianças já prontos em um simples ato de simples memorização e criação de vínculos associativos. Ele acredita que o seu processo de formação é bem mais complexo, estando condicionado à formação de níveis elevados de desenvolvimento mental como atenção arbitrária, memória

lógica, abstração, comparação e discriminação. Ou seja, o conceito é, antes de tudo, um ato de generalização que está sempre sujeito à evolução. A generalização, segundo ele, é a construção de um significado para determinada palavra, ou seja, é um ato verbal do pensamento que difere das sensações e percepções imediatas, visto que reflete a realidade de forma dialética: da matéria não pensante para a sensação e da sensação para o pensamento.

O autor afirma ainda que o processo de formação dos conceitos científicos não repete as mesmas vias de desenvolvimento dos conceitos espontâneos, embora ele acredite haver uma influência mútua de um grupo de conceitos sobre o outro. Enquanto na formação dos conceitos espontâneos, as crianças costumam se deparar primeiro com os objetos para posteriormente tomarem consciência deles, o desenvolvimento dos conceitos científicos inicia-se das relações abstratas entre os objetos.

Ao analisar a dinâmica do desenvolvimento dos conceitos, Vigotski (2001) descreve-a sob a forma de suas linhas de sentidos opostos em uma pirâmide conceitual - uma se projetando de cima para baixo e outra de baixo para cima. Na extremidade inferior da pirâmide estariam as propriedades mais simples, formadas mais cedo, e na outra as mais complexas, vinculadas à tomada de consciência e à arbitrariedade. Diz-se que os conceitos espontâneos se desenvolvem de baixo para cima enquanto que os conceitos científicos se desenvolvem de cima para baixo. Na formação dos conceitos espontâneos, as crianças costumam se deparar primeiro com os objetos para posteriormente tomarem consciência deles; por outro lado, o desenvolvimento dos conceitos científicos inicia-se das relações abstratas entre os objetos.

No que diz respeito à dinâmica que se estabelece entre conhecimentos científicos e cotidianos, Lopes (1997) afirma estar percebendo grandes esforços entre professores e pesquisadores da área de química para aproximar essas duas formas de conhecimento, seja na tentativa de motivar e provocar interesse entre os alunos, ou para garantir a possibilidade das aplicações de conceitos científicos. O autor esclarece que, mesmo ficando constantemente em contato com os conhecimentos científicos nas academias, não se pode negar que as concepções alternativas fazem parte do nosso cotidiano, uma vez que os conceitos se inter-relacionam aos valores culturais e visões de mundo construídas socialmente.

### **3.2.2 Formação de conceitos em Leontiev e Davidov (Teoria da Atividade)**

Leontiev, Davydov e Galperin propuseram a ampliação das ideias inicialmente propostas por Vigotski, visando à construção de um referencial que abordasse a formação de

conceitos científicos na escola. Leontiev (1983), ao formular a Teoria da Atividade, propõe a recontextualização da psicologia praticada pela Teoria Histórico-Cultural, atribuindo papel central à atividade humana, em detrimento à palavra e aos signos, objetos centrais da teoria de Vigotski (1984, 2001).

Os estudos sobre a atividade humana desenvolvidos por Leontiev (1983) e Davydov (1972) voltam-se à compreensão do próprio desenvolvimento humano por meio do estudo dos níveis de tomada de consciência e do sentido pessoal com relação ao significado das palavras, oferecendo fundamentos para criação e análise das diferentes práticas educativas. À medida que eles pretendem explicar o próprio desenvolvimento humano por meio do estudo dos níveis de tomada de consciência e do sentido pessoal com relação ao significado das palavras, oferecem fundamentos para criação e análise das diferentes práticas educativas.

Um aspecto tratado por Leontiev (1983) durante os seus estudos com crianças, tem a ver com os processos de desenvolvimento psíquico que envolvem fatores como necessidade, motivo, finalidade, bem como seus componentes correlacionáveis: atividade, ação, operação. Sforni (2004) esclarece que nem todo processo é uma atividade, mas somente aquele que é movido por uma necessidade, que é o seu fator desencadeador. Por ação entende-se ser um processo cujo motivo não coincide com seu objetivo, embora pertença à atividade; essa sim está vinculada diretamente ao motivo.

As ações podem ser realizadas de diferentes modos, os quais são chamados de operações. É na transformação de uma ação em operação que fica explícita a ideia de desenvolvimento. Enquanto a ação não se transforme em operação, há um longo período de transição marcado por avanços e recuos, até que finalmente passa a ser de domínio voluntário do sujeito, acionado para realizar outras ações de caráter mais complexo (SFORNI, 2004). Essa transformação de ação em operação pode ser mais bem compreendida através da exemplificação fornecida por Leontiev ao se analisar o processo de aprendizagem das operações aritméticas:

(...) a adição pode ser uma ação ou uma operação. Com efeito, a criança aprende primeiro a adição como uma ação determinada, em que o meio, isto é, a operação, a adjunção unidade por unidade. Depois tem de resolver problemas cujas condições exigem que se efetue a adição de grandezas (...). Neste caso a ação mental da criança já não é adição, mas a resolução do problema; a adição torna-se então uma operação e deve, portanto, tomar a forma de uma prática suficientemente elaborada e automatizada. (LEONTIEV, 1978, p.325 citado por SFORNI, 2004, p. 101)

Sforni (2004) esclarece que o movimento entre atividade, ação e operação revela-se como um processo contínuo, porém não natural de desenvolvimento do sujeito, no qual se

destacam alguns aspectos importantes:

- Para que uma ação tenha significado para o sujeito, é necessário que ela seja produzida por um motivo;
- Para que as ações passem para um lugar inferior na estrutura da atividade, tornando-se operações, é preciso que novas necessidades ou motivos exijam ações mais complexas;
- Para que, subjetivamente, o sujeito sinta novas necessidades ou motivos que o estimulem a agir em um nível superior, é preciso que o mesmo esteja inserido em um contexto que produza, objetivamente, a necessidade de novas ações;
- Para que uma operação seja automatizada de forma consciente, é necessário que ela se estruture inicialmente na condição de ação.

Davydov (1972) explica que a formação e desenvolvimento dos conceitos requerem a elaboração de meios especiais de abstração, análise e generalização, os quais permitam fixar os nexos internos das coisas, ou seja, suas essências. Isso equivale a dizer que o seu modo de elaboração é distinto do observado entre os conhecimentos empíricos, pois requer vias específicas de idealização dos objetos do conhecimento.

O processo de generalização é descrito por Davydov (1972) como sendo caracterizado pela busca do comum e pela nomeação de certos invariantes em determinado conjunto de objetos. O resultado desse processo consiste na capacidade em se separar os traços comuns e, portanto gerais, para que, em seguida, sejam identificados os objetos como pertencentes ou não à determinada classe.

Muito embora os termos “generalização” e “conceito” sejam constantemente utilizados como sinônimos, Davydov esclarece que esse último equivale à combinação de dois, três ou mais traços abstrato genéricos, convertidos no significado de outra palavra. Ou seja, os traços generalizados do objeto formariam o conteúdo do conceito.

Admite-se como condição indispensável ao processo da generalização, a análise de exemplos concretos relacionados a determinado conceito, que permitam modificar seus traços insubstanciais<sup>8</sup>, mantendo-se constantes suas características comuns e essenciais. Ao destacar determinadas características individuais dos objetos e transformá-las em gerais, conferindo uma relação de independência quanto aos aspectos anteriores, tem-se o que se pode chamar de processo de abstração.

---

<sup>8</sup> Correspondem àqueles que experimentam vastas mudanças, em contrapartida aos substanciais, que são constantes, estáveis e subsistentes (DAVYDOV, 1972, p.20).

O processo de formação dos conceitos, segundo a pedagogia tradicional, se apoia fortemente nos esquemas de percepção e representação. O ponto de partida seria a percepção sensorial dos objetos singulares, os quais posteriormente são utilizados para explicar o fenômeno observado. Dessa forma, atribui-se grande importância às experiências anteriores, quase sempre apoiadas em observações visuais, táteis e auditivas, as quais servem como base para o processo de obtenção de novos conhecimentos.

Davydov (1972) critica veemente esse ponto de vista, pois acredita que as representações oriundas dessa abordagem favorecem apenas o surgimento de traços gerais, externos e difusos. O trânsito do particular ao geral, que corresponde ao método indutivo de pensamento, seria o responsável por viabilizar, no máximo, esquemas classificatórios de conceitos, os quais permitem localizá-los em um ou outro domínio. Na opinião do autor, para dominar um determinado conceito, é preciso ainda:

Conocer los rasgos de los objetos y fenómenos que el mismo abarca, sino también saber emplear el concepto en la práctica, saber operar con él (...) eso quiere decir que la asimilación del concepto entraña no solo el camino de abajo arriba, desde los casos singulares y parciales hasta su generalización, sino también el camino inverso, de arriba abajo, de lo general a lo parcial y singular. (DAVYDOV, 1972, p. 27).

Para ele, apenas a comparação de objetos semelhantes e suas representações se mostrariam insuficientes para a formação dos conceitos. É necessário também se fazer a análise ou decomposição dos objetos ou representações em traços e elementos soltos, diferenciáveis. Com a abstração, alguns desses traços se diferenciam dos demais e dessa forma, pode-se analisá-los em função de certa unidade menor (síntese) para em seguida estender aos objetos do mesmo gênero (generalização).

Ao se referir às críticas voltadas à teoria empírica do pensamento e à lógica formal, Davydov (1972) volta suas atenções para os estudos investigativos sobre o processo de generalização, conduzidos por Vigotski (2001). Para esse primeiro, o maior mérito das pesquisas de Vigotski estaria na descrição e interpretação teórica das generalizações, as quais nos permitem diferenciar as vias de formação e significação dos complexos, dos pseudoconceitos e dos conceitos propriamente ditos.

Se por um lado, a psicologia tradicional atribui a qualquer tipo de generalização a qualidade de conceito, por outro, os estudos de Vigotski, da mesma forma que os de Davydov, o levam a acreditar na inconsistência dessa hipótese. Ao se tratar o processo de generalização por meio apenas das relações concretas que se estabelecem entre os objetos, torna-se impossível estabelecer uma diferenciação entre a generalização do conceito e a generalização do complexo. Vigotski (2001) esclarece que essas duas formas de generalização são obtidas



por vias diferentes (níveis distintos de operações intelectuais) e adquirem formas diversas (aior ou menor abstração), embora reflitam, em princípio, em um mesmo conteúdo.

Diferentemente da teoria empírica, que reconhece o pensamento do indivíduo na sua generalidade, desconsiderando seus aspectos individuais, a teoria dialética do pensamento defendida por Vigotski constitui-se como um “processo objetivo da atividade humana, movimento da civilização e da sociedade como autênticos sujeitos do pensamento” (KOPNIN, 1969 citado por DAVIDOV, 1972, p. 153).

Sob esse ponto de vista, atribui-se grande importância aos conhecimentos historicamente construídos, o que para Davydov (1972), resulta na necessidade de se conhecer não apenas os aspectos relacionados à antogênese do conhecimento científico, mas também aqueles relativos à sua filogênese.

Segundo essa filosofia dialética, a natureza intervém como objeto do conhecimento humano à medida que é incorporada à atividade objetiva transformadora, produtiva, o que corresponde à sua humanização. Nesse processo, o homem (ser social) apropria-se dos objetos por meio de atividades práticas, as quais são sensório objetivas, e não através da contemplação passiva (DAVIDOV, 1972, p.294).

Quanto às formas de compreensão dos objetos de atividade cognoscitiva, Davydov atesta a existência de dois níveis de pensamento: o pensamento empírico e o pensamento teórico. O primeiro é fruto direto das observações humanas e está relacionado às suas atividades prático-materiais e sociopolíticas. Ele corresponde às representações sensoriais, como por exemplo, os sistemas simbólicos e os sinais, os quais podem criar condições para atividades mais complexas, culminando no processo de generalização.

O pensamento teórico, por sua vez, opera mediante conceitos científicos e caracteriza-se pela presença de experimentos mentais. Além disso, ele pressupõe o domínio dos fenômenos objetivamente inter-relacionados, dentro de um sistema integrado de conceitos. Essa dinâmica que se estabelece entre um conceito e outro em um dado contexto de análise, bem como o trânsito desde um fenômeno ou conceito particular até certo todo, com anulação da sua especificidade - ou seja, sua conexão interna - é revelada pelo pensamento teórico e científico.

Na ausência desse sistema, qualquer fenômeno passa a ser considerado como mero objeto, fruto da observação empírica. Contrariamente às constatações verificadas por meio do pensamento empírico, que são efetivas, observáveis e desarticuladas, no pensamento teórico existem predominantemente dependências intrínsecas e substanciais, impossíveis de serem

observadas diretamente pelos sentidos.

No pensamento teórico, o concreto aparece duas vezes: como ponto inicial da contemplação e representação do conceito, mas também como resultado mental das associações de abstrações. Essa característica dialética do concreto permite ao homem elaborar, na forma de conceito, os dados de contemplação e representação, os quais por meio de conexões internas possibilitam-no revelar sua essência.

Esse movimento ascendente do pensamento teórico ao concreto somente é possível graças aos processos de abstração e generalização. A abstração é a responsável pela retenção mental das relações reais que determinam a integridade dos fenômenos. Já no processo de generalização, são estabelecidos os nexos reais dessas relações particulares, agora desarticuladas, com os outros fenômenos da base da mesma. A abstração corresponderia à análise do objeto, livre de traços e peculiaridades não essenciais, enquanto que a generalização teórica consiste na redução dos diversos fenômenos semelhantes às suas respectivas bases teóricas (DAVYDOV, 1972). A presença desses dois fenômenos constitui a base do processo de formação dos conceitos científicos, ou seja:

“... La generalización científica... es la generalización que llega al conocimiento de la esencia, de la regularidad de desarrollo de las cosas ... Lo general es la ley, la esencia de los fenómenos singulares, o sea, algo cualitativamente distinto con respecto a la simple suma de indicios de las cosas sueltas”. (ROZENTAL, 1960, p. 216-217 citado por DAVYDOV, 1972, p. 354)

Como se pode observar, o conhecimento empírico difere do conhecimento teórico em diversos aspectos, sejam relacionados à sua gênese de formação, vias de funcionamento ou limites de abrangência. Algumas características associadas a esses conceitos, destacadas por Davidov (1972), podem ser observadas no Quadro 3.1 abaixo:

Quadro 3.1– Análise comparativa entre os conhecimentos empíricos e os teóricos.

	<b>Conhecimento Empírico</b>	<b>Conhecimento Teórico</b>
1	Elaborado através da comparação entre objetos e representações acerca dos mesmos, o que nos permite destacar as propriedades iguais e comuns.	Surge com base na análise das relações entre os objetos ou fenômenos, dentro de um sistema articulado.
2	Reflete apenas os aspectos externos, observáveis dos objetos.	Baseia-se nas transformações dos objetos, descrevendo os nexos internos entre eles.
3	Seu domínio compreende selecionar e	Dominar um conhecimento teórico requer a

	destacar as características comuns que compõem determinada classe do objeto.	explicação, através do método dedutivo, das manifestações particulares do sistema a partir do seu conhecimento geral.
4	Sua consolidação ocorre por meio do conceito acabado.	Ocorre, antes de tudo, na atividade mental, para posteriormente se exteriorizar por meio do sistema de símbolos e signos.

As investigações sobre o processo de formação de conceitos que têm com base a filosofia do materialismo dialético de pensamento divergem profundamente do ponto de vista oferecido pelos conceitualistas, nominalistas e associacionistas. O principal ponto de divergência entre essas linhas de pensamento ocorre em função da concepção do geral e do abstrato, tanto no estabelecimento das relações entre conceitos, quanto no que diz respeito ao seu desenvolvimento.

Enquanto na abordagem conceitualista, os elementos do pensamento podem ser explicados unicamente pela revelação do abstrato e do geral nas relações objetivas reais, na abordagem materialista dialética tem-se por realidade não o formalmente geral, mas o essencialmente geral. O conhecimento formalmente geral é produto da elaboração racional dos dados sensoriais, a qual permite representar e compreender a diversidade dos mesmos na forma reduzida. Já o conhecimento essencialmente geral surge por meio de interconexões entre fenômenos ou objetos reais, as quais permitem o trânsito do abstrato ao concreto (DAVYDOV, 1972, p. 362).

Se por um lado, a teoria empírica de pensamento possui como princípio a valorização das qualidades sensoriais dos objetos e fenômenos como base para o conhecimento, por outro, o materialismo dialético entende que o pensamento teórico é subjacente à atividade sensorial objetiva, mas possui a propriedade de transformar o mundo circundante. Dessa forma, o trânsito tanto da matéria à consciência como da sensação ao pensamento pode ser expresso em uma atividade mental que vai além das qualidades sensoriais observáveis, uma vez que:

“... La actividad mental, a nivel superior, permite descubrir nuevos aspectos del objeto, “encubiertos” desde la óptica de las posibilidades del nivel inferior. La forma de expresión del conocimiento teórico aparece a este respecto como “modelo” del objeto en el sentido único del mencionado... término de que las operaciones con el mismo permiten dilucidar determinados aspectos del objeto que nos es posible esclarecer mediante el manejo...directo de este último”. (SHVYRIEV, 1966, p. 131 citado por DAVYDOV, 1972, p.365)

A visão unilateral acerca do processo de formação de conceitos, adotada pela lógica formal tradicional e pela psicologia empírica, é alvo de críticas pelos seguidores do materialismo dialético. Esses últimos acreditam que o processo percepção-representação-

conceito só é capaz de explicar as vias de formação dos conceitos empíricos ou espontâneos. Para eles, as imagens ou características observáveis (percepção), assim como as representações, desempenham papel secundário no processo de formação dos conceitos teóricos, pois não descrevem o comportamento dedutivo do conhecimento geral ao estritamente particular.

Nesse sentido, vale destacar a grande importância dos trabalhos desenvolvidos, por um lado, a partir da Teoria Histórico-Cultural de Vigotski, e por outro, da Teoria da Atividade de Leontiev, para a elucidação das questões relacionadas aos processos de formação dos conceitos teóricos. Conforme mencionado anteriormente, Vigotski (2001) destaca três elementos psicológicos fundamentais: a) o estabelecimento de relações entre os conceitos, ou melhor, do sistema de conceitos; b) a tomada de consciência da própria atividade mental; c) o surgimento de relações especiais que o indivíduo adquire com os objetos, o que lhe permite compreender melhor a essência desses últimos. Já Leontiev (1978, 1983), da mesma forma que Davydov (1972), centra-se no papel da atividade humana como base para o processo de formação das generalizações e dos conceitos.

### **3.2.3 Formação de conceitos em Galperin (Teoria da assimilação por Etapas das Ações Mentais)**

A Teoria da Assimilação por etapas das Ações Mentais proposta por Galperin (1959, 1986) vem complementar a Teoria da Atividade, por meio da explicação do processo de internalização da atividade externa para o plano da atividade mental. Seu foco de pesquisa reside na compreensão das etapas que constituem o mecanismo de assimilação do conhecimento, no sentido da passagem do plano da experiência social para o da experiência individual.

Com base nessa teoria, admite-se a aprendizagem como um tipo específico de atividade cujo cumprimento conduz o aluno a novos conhecimentos, hábitos e ao desenvolvimento da sua personalidade (NUÑES, 2009). Sendo assim, cada atividade está vinculada a um conjunto de ações, que por sua vez possuem determinado motivo. Esse conjunto constitui-se em um processo capaz de assegurar que se atinja o objetivo da atividade proposta.

De fato, como esclarece o autor, a Teoria da Atividade constitui-se em um recurso metodológico importante para o planejamento do ensino e das práticas pedagógicas, visto que permite a análise do conteúdo da atividade de aprendizagem, ao delimitar a estrutura de seus

componentes principais e suas respectivas relações existentes.

Na visão de Galperin, as atividades voltadas à formação de conceitos científicos na escola precisam incorporar determinadas estratégias que valorizem a formação, no aluno, do que Davidov (1972) chama de pensamento teórico. Esse tipo de pensamento caracteriza-se pela ênfase no conhecimento, não apenas dos aspectos referentes ao conteúdo dos conceitos, mas sobretudo à sua estruturação, pressupondo-se que:

- Os conceitos não devem ser transmitidos prontos e acabados: todos os conceitos são parte de uma disciplina e devem ser assimilados pela análise das condições de sua origem;
- Os conhecimentos de caráter geral e abstrato devem preceder aqueles mais particulares e concretos: os alunos não precisam conhecer todas as situações particulares de determinado assunto, mas sua essência, o que lhe tornará capaz de reconhecer e analisar os diversos casos individuais.

Para Nuñez (2009), o conhecimento das ideias de Galperin aplicadas no contexto da Teoria da Atividade, permite-nos estabelecer alguns princípios gerais sob os quais devem se apoiar as estratégias de ensino de conceitos científicos, tais como: a) considerar e organizar as sequências de atividades a serem realizadas pelos alunos no estudo dos conceitos; b) acompanhar as etapas de formação dos conceitos, mantendo-se as características essenciais do processo, e acompanhando-o desde o início por meio de indicadores qualitativos da atividade.

As cinco etapas estabelecidas na teoria de Galperin relacionam-se com a ideia de Zona de Desenvolvimento Imediato (ZDI), originalmente proposta por Vigotski, por meio da qual se desenvolvem as potencialidades dos alunos, quando mediadas pelo professor, por outros colegas, pelos livros didáticos ou por qualquer outro recurso no contexto de sala de aula. São elas:

1. **Etapa motivacional:** tem como objetivo preparar os alunos para os novos conhecimentos, por meio da criação de uma disposição positiva para os estudos. Nuñez (2009) considera que uma forma de motivar os estudantes, para que eles se empenhem em aprender os diferentes conteúdos, consiste em propor que interpretem situações problemas que se relacionem às suas experiências pessoais. Cabe destacar que essa etapa é de suma importância e, portanto, não se limita ao início das atividades, mas precisa estar presente durante todas as outras etapas do processo de assimilação;

**2. Etapa de estabelecimento da Base Orientadora da Ação (BOA):** constitui um modelo de atividade ou um projeto de ação que deve refletir as partes estruturais e funcionais da atividade, quais sejam orientação, execução e controle. Segundo Nuñez (2009), essa etapa deve ser elaborada de tal modo que os alunos possam construir um processo de elaboração conjunta com o professor, no qual fiquem claros desde o início as condições, ações, meios de controle e limites de aplicação da atividade. Dessa etapa depende a qualidade da execução da atividade, tendo em vista que uma estruturação adequada implica se privilegiarem tanto aspectos práticos (exteriores) quanto aspectos teóricos ou cognoscitivos (interiores). Com base em critérios de caráter detalhado ou plenitude<sup>9</sup>, generalização<sup>10</sup>, e modo de obtenção<sup>11</sup>, podem-se encontrar diversos tipos de BOA, só para citar alguns: tipo I, tipo II, tipo III e tipo IV. A BOA do tipo I caracteriza-se por uma orientação incompleta e particular, na qual a transferência dos conhecimentos é limitada e a obtenção das informações ocorre de maneira independente pelos estudantes; na BOA do tipo II, por outro lado, todas as informações necessárias ao cumprimento da ação (tanto em plenitude como em modo de obtenção) são fornecidas pelo professor, embora tais orientações só se apliquem para um dado caso em particular; já as BOA do tipo III e IV caracterizam-se pela presença de aspectos gerais - aplicáveis a um conjunto de condições e não a um caso em particular - e completos, ou seja, orientados. O que diferencia essas duas abordagens é o modo de obtenção, que é independente na BOA do tipo III e dependente na BOA do tipo IV. Conforme se verá no capítulo 6 mais adiante, os tipos de BOA possuem relação com o que Zabala (1998) denomina de modelos de unidades didáticas (dos tipos I, II, III e IV). Mas apesar de as denominações serem semelhantes nos dois casos, vale destacar que os critérios de classificação não são os mesmos;

**3. Etapa da formação no plano material (materialização):** pode ser material ou então materializada, dependendo do modo de representação do objeto de estudo. No primeiro caso, estuda-se o próprio objeto, enquanto que no segundo, o mesmo é substituído pelo respectivo modelo ou representação, mantendo-se os aspectos iniciais do objeto de assimilação. Nuñez (2009) destaca uma série de recomendações importantes na condução

---

<sup>9</sup> Expressa a presença, na orientação, das condições de realização da atividade. Pode ser completa (quando são dadas todas as orientações necessárias para o cumprimento correto da ação) ou incompleta (as orientações não são previamente estabelecidas pelo professor).

<sup>10</sup> Expressa como a orientação reflete as condições essenciais para a construção do objeto de estudo, sendo de natureza teórica ou empírica. Pode ser particular (só é aplicável a uma determinada condição particular; uma nova tarefa implica uma nova orientação) ou geral (aplicável a um conjunto de fenômenos e tarefas de uma determinada classe).

<sup>11</sup> Pode ser independente (o estudante pode construí-la de modo independente, ou seja, com a ajuda de métodos gerais fornecidos pelo professor) ou dependente (a construção depende da orientação do professor).

dessa etapa: a) deve-se ter cuidado para que os elementos das ilustrações (ilustrações, gráficos) não distraiam a atenção dos alunos para aspectos secundários; b) como parte da execução das atividades, é preciso se apoiar no esquema BOA, que funciona como mediador da atividade, seja no acompanhamento dos registros dos conhecimentos, dos procedimentos, ou dos meios de controle; c) na materialização da tarefa, pode-se lançar mão do mapa de atividades<sup>12</sup>, que constitui-se em um apoio externo, tanto para a organização do processo de assimilação dos conceitos quanto para a regulação e controle do processo; d) convém que nessa etapa as atividades sejam realizadas em grupos ou em pares, com a ajuda do professor; e) como a tarefa ocorre inicialmente no plano material (transformação da situação objetiva), para somente depois ocorrer a regulação da ação por parte do aluno (com a percepção da situação e transposição para o plano mental), deve-se propor situações que valorizem a reflexão e a discussão, sob o risco de que tarefas idênticas conduzam os alunos a uma automatização prematura; f) durante o estudo das fontes materiais objetivas que conduzem a determinado conceito, deve-se descobrir a relação geral que constitui o ponto de partida do conhecimento do objeto e de seus conceitos subjacentes;

**4. Etapa da formação no plano da linguagem externa:** nessa etapa, os elementos da ação são representados de forma verbal (oral ou escrita); os objetos reais e suas representações dão lugar aos sistemas simbólicos que os representam, não sendo mais necessário o apoio externo para a materialização da atividade. Os alunos podem redefinir sua compreensão dos conceitos e procedimentos em diferentes domínios, articulando criticamente suas ideias na realização de atividades individuais ou em grupos (NUÑES, 2009). O autor destaca três indícios que denotam a existência dessa etapa: a) a ação verbal passa a se reestruturar independentemente da ação objetiva; b) desaparece a limitação da ação com as coisas, e essa primeira adquire uma nova natureza; c) a ação, quando bem assimilada, reduz-se a uma “ação por fórmula”, ou seja, desvincula-se da execução externa e passa a ser um ato puramente consciente;

**5. Etapa da ação no plano mental:** nessa última etapa, a linguagem interna (nova estrutura psicológica) se transforma em um tipo de função mental que desenvolve no aluno a reflexão e a fala “para si”. A linguagem deixa de ser uma forma de representação da atividade

---

<sup>12</sup> Os mapas de atividades, ao conterem o essencial da BOA, permitem individualizar o processo, uma vez que cada aluno pode contar com esse apoio externo na condução da tarefa. Quanto à forma, podem ser classificados em texto escrito, desenho, esquema, diagrama, símbolos, etc. (NUÑES, 2009, p. 109)

e passa a ser um instrumento de codificação (imagens, representações mentais, dentre outros). Conforme esclarece Nuñez (2009), a ação começa a reduzir-se e automatizar-se com rapidez, convertendo-se em uma ação por fórmulas. Percebe-se que, em muitos casos, o pensamento do aluno passa a ser inacessível à observação, ou seja, ele pode realizar as atividades sem que os meios de resolução da tarefa sejam revelados. Finalmente, é importante destacar que, embora o autor atribua grande importância às atividades gnósticas externas, principalmente nos casos em que as imagens, conceitos e representações não estão presentes na consciência do aluno, é incorreto assumir que toda ação mental tem sua origem em uma ação material.

As etapas anteriormente descritas não constituem, em nenhuma hipótese, um processo estático e preconcebido. Muitos são os caminhos possíveis, seja no trânsito do abstrato/interno ao concreto/externo ou vice versa. As ações não precisam passar por todas essas etapas, como de fato uma parte delas (que tenha sido assimilada em experiências anteriores) pode ser executada no nível das habilidades já assimiladas. Com base nas suas pesquisas, Nuñez (2009) chega a afirmar que, respeitando-se os princípios da Teoria de Galperin, esse tipo de abordagem confere um alto grau de eficiência à formação das ações cognitivas entre estudantes. Segundo o autor, tal constatação se apoia na análise de alguns indicadores qualitativos, os quais funcionam como parâmetros de interpretação acerca das habilidades formadas nos estudantes. São eles: a forma pela qual se realiza a ação, os graus de generalização, detalhamento, consciência, independência, retenção da atividade ou solidez, além do caráter racional.

- **A forma pela qual se realiza a ação:** caracteriza o grau de apropriação da ação pelo sujeito, que pode ser estabelecida no plano material (objetos concretos), no materializado (desenhos, esquemas, diagramas, modelos, etc.), no plano da linguagem externa ou ainda no plano mental. Galperin (1986) estabelece que, ao ocorrer uma atividade nova, esse processo inicia-se pelo plano material, passando pelo verbal (que pode ser expresso pelas formas oral ou escrito), e culminando no plano mental, o qual constitui, em última instância, as representações, os conceitos e as ações interiorizadas. Conforme já esclarecera Nuñez (2009), a existência de determinadas ações na estrutura cognitiva do aluno dispensa a sua posterior assimilação, de modo que a aprendizagem não ocorre sempre com base em uma sequência pré-determinada de etapas;



- **O grau de generalização:** expressa a relação entre as possibilidades objetivas de aplicar o conhecimento e as possibilidades subjetivas do aluno para tal aplicação (NUÑES, 2009). Trata-se de uma medida da “eficiência” da capacidade de conceitualização do estudante, ou seja, da sua habilidade de reconhecer situações específicas em um contexto mais geral de aplicação (transferência de conhecimento);
- **O grau de detalhamento:** refere-se à forma, mais ou menos detalhada, como o indivíduo realiza suas ações. Ações novas exigem passos menores, mais detalhados, ao passo que à medida que a ação vai sendo compreendida, a abreviação dos seus componentes permite ao aluno agir com mais rapidez;
- **O grau de consciência:** corresponde à qualidade de se realizar corretamente uma ação, apresentando argumentos (verbais ou escritos) que fundamentem o ponto de vista assumido. Com base na sua atividade, o aluno consegue desenvolver o raciocínio na busca de solução(ões) para o problema, refletindo sobre suas próprias ações e corrigindo-as caso necessário;
- **O grau de independência:** relaciona-se à ideia de Zona de Desenvolvimento Imediato proposta por Vigotski. Indica a possibilidade de o estudante realizar corretamente uma ação com ou sem ajuda do professor ou de outros colegas mais experientes. Dependendo do tipo de ação exigida, pode ser necessária uma dependência inicial, com posterior transferência gradual para o aluno;
- **O grau de retenção da atividade ou solidez:** está diretamente relacionado à capacidade de generalização do aluno e conseqüentemente à internalização das suas ações. Pode ser observada de duas maneiras: a) pela possibilidade de executar uma ação algum tempo depois da sua formação; b) pela faculdade do estudante em aplicar os seus conhecimentos em habilidades mais complexas;
- **O grau de domínio ou de assimilação:** pode ser indicado por meio do grau de automatização da ação (hábito). As operações realizadas inconscientemente surgem com o passar do tempo, à medida que ações vão sendo resumidas e,

portanto, executadas com mais rapidez;

- **O caráter racional:** é uma qualidade secundária da ação que denota as características do processo de assimilação, durante uma atividade, quais sejam: a forma de materialização (externa ou interna), o grau de generalização (maior ou menor), de detalhamento (maior ou menor rapidez), dentre outras.

Sob essa perspectiva, Nuñez (2009) faz algumas considerações a respeito dos princípios fundamentais que devem nortear as ações pedagógicas voltadas à formação/aplicação dos conceitos em sala de aula, quais sejam: considerar e organizar a(s) atividade(s) que leva(m) à formação do(s) conceito(s) e analisar as etapas que constituem o processo de conceitualização, com base nos indicadores qualitativos anteriormente citados, de forma a possibilitar uma análise desse processo desde sua gênese. Quanto ao primeiro aspecto, ou seja, a organização do ambiente de ensino de aprendizagem, o autor destaca alguns princípios norteadores, com base no referencial teórico da Teoria Histórico- Cultural: a) princípio do caráter educativo do ensino; b) do caráter científico do ensino; c) do ensino que desenvolve; d) do caráter consciente da atividade; e) do caráter objetual da atividade; f) da definição ou formulação exata dos objetivos; g) do caráter seletivo da percepção; h) do caráter ativo da assimilação; i) da vinculação da aprendizagem com a vida; j) da ilustratividade e da materialização; k) da unidade entre o ilustrativo e o mental; l) da retroalimentação; m) do caráter sistêmico do objeto da assimilação; n) da sistematização do ensino; o) da aprendizagem criativa.

Em função da grande importância que alguns desses aspectos conferem à nossa abordagem, cabe explicar e discutir ao menos quatro deles: o princípio do caráter objetual, o princípio do caráter ativo da assimilação, o princípio da vinculação da aprendizagem com a vida e o princípio da ilustratividade e a materialização.

- **Princípio do caráter objetual:** destaca a importância da execução de ações que revelam o conteúdo dos conceitos por meio de modelos gráficos, ilustrativos, verbais, etc. Essa interação com determinados materiais é fundamental para a assimilação das características do objeto de estudo, que precisa ser manipulado e explorado (materialmente e mentalmente) de forma consciente;
- **Princípio do caráter ativo da assimilação:** consiste em um fator determinante

para a assimilação de novos conhecimentos, pois como afirma Nuñez (2009), o aluno é incapaz de refletir conscientemente sobre o objeto da ação quando não interage intimamente com o mesmo. Na visão marxista, o processo de assimilação deve ter um caráter ativo, pelo qual o aluno perceba a realidade à sua volta, bem como todas as riquezas culturais que dispõe, como conceitos, leis, princípios e valores sociais;

- **Princípio da vinculação da aprendizagem com a vida:** vem complementar o princípio anterior, na medida em que estabelece a adequação do conteúdo com a atividade proposta para a assimilação da aprendizagem. Ressalta a importância de se levar em consideração, durante as ações educativas, as ideias dos estudantes e suas experiências de vida na resolução de problemas reais, presentes na sociedade. Uma vez que o estudante perceba, por meio da compreensão da realidade à sua volta, a importância do conhecimento escolar, ele se sentirá estimulado a aprender mais, pois:

(...) “é importante destacar que o ensino não se reduz ao vínculo com o cotidiano. A escola deve oportunizar experiências que não são possíveis no cotidiano dos alunos, ampliando seus limites a outros contextos de importância para o desenvolvimento e a criatividade desses alunos”. (NUÑES, 2009, p. 143).

- **Princípio da ilustratividade e a materialização:** propõe a descrição e ilustração adequada dos objetos, mecanismos e ações que compõem a BOA. Parte-se da premissa de que a ilustratividade (representação externa), apesar de não se revelar suficiente para a assimilação de determinados conhecimentos, consiste em uma etapa importante para o aluno, caso ele não disponha dos recursos cognitivos no plano mental.

### 3.3 CONTEÚDOS DE APRENDIZAGEM E PRÁTICAS EDUCATIVAS

A concepção didática e pedagógica vislumbrada na pesquisa encontra-se alicerçada nas ideias de Zabala (1988), ao contemplar diversos aspectos metodológicos, tais como: estruturação dos conteúdos, papel dos atores no processo de ensino e aprendizagem, análise das interações sociais, método de avaliação, dentre outros. Ao propor uma prática pedagógica reflexiva e motivadora, o autor estabelece determinados procedimentos e instrumentos que são condizentes com as premissas teóricas desse trabalho e, portanto, fornecem subsídios que ajudam a interpretar os acontecimentos em sala de aula e a intervir adequadamente, quando

necessário.

O ponto de partida na estruturação de qualquer prática pedagógica diz respeito às intenções educacionais, ou seja, ao conhecimento das características dos conteúdos<sup>13</sup> que serão abordados durante as aulas. Zabala (1998) atribui grande importância a essa etapa, pois acredita que ela seja determinante para o planejamento das atividades subsequentes. Dessa forma, o autor distingue os seguintes elementos a partir de suas tipologias: conteúdos factuais, conteúdos conceituais, conteúdos procedimentais e conteúdos atitudinais.

Os conteúdos factuais dizem respeito ao conhecimento dos fatos, acontecimentos, situações, dados e fenômenos concretos e singulares. Insere-se aqui o estudo dos códigos e dos símbolos nas áreas de Línguas, Matemática, Física e Química. Zabala (1998) esclarece que esse tipo de conhecimento se adquire mediante atividades de memorização, e que, apesar da sua relativa simplicidade, requer exercício e deve ser estimulado em diferentes contextos.

Os conceitos se referem ao conjunto de fatos, objetos ou símbolos que têm características comuns e requerem elevado nível de abstração e compreensão. Para que se possa afirmar que um aluno compreende determinado conceito, não basta que o mesmo consiga repeti-lo; ele deve ser capaz de utilizá-lo para a interpretação, compreensão ou exposição de fenômenos ou situações. Além disso, deve situar os fatos, objetos ou situações concretas naquele conceito que os inclui (ZABALA, 1998).

A utilização de regras, técnicas, métodos, habilidades, estratégias e procedimentos para se atingir determinado fim constitui a aprendizagem de conteúdos procedimentais. Eles podem envolver ações ou conjunto de ações como ler, desenhar, observar, modelar, dentre outras, as quais, por meio do exercício consciente, tornam-se imprescindíveis para o processo de aprendizagem.

Os conteúdos atitudinais englobam uma série de princípios particulares, dentre os quais se podem citar: valores, atitude e normas. Enquanto que os valores correspondem às ideias relacionadas à ética, permitindo às pessoas emitir juízo sobre diversas condutas, as atitudes são tendências ou predisposições que levam as pessoas a agirem de determinada maneira. Já as normas correspondem aos padrões ou regras de comportamentos sociais, estabelecidas pelos indivíduos de uma sociedade.

Apesar de se considerar nesse trabalho a existência de diferentes formas de conteúdos, isso não significa admitir que a estrutura do conhecimento deva ser apresentada de forma

---

<sup>13</sup> No sentido mais amplo tomado por Zabala (1988, p. 30), ou seja, não se reduzindo unicamente às contribuições das disciplinas ou matérias, mas também àquilo que possibilite o desenvolvimento das capacidades motoras, afetivas, de relação interpessoal e de inserção social.

fragmentada. Zabala (1998) esclarece que essa possibilidade seria inviável, pois:

- a) Todo conteúdo, por mais específico que seja, sempre está associado com outros conteúdos de outra natureza;
- b) A estratégia de diferenciação tem sentido basicamente a partir da aprendizagem e não do ensino, pois em uma visão construtivista, é conveniente que as atividades englobem, simultaneamente, vários conteúdos;
- c) As atividades de aprendizagem são substancialmente diferentes segundo a natureza do conteúdo.

Sendo assim, uma vez estabelecidos os objetivos que se pretendem atingir com a estruturação das sequências de atividades, e também conhecidas as características desejáveis nos conteúdos propostos, chega-se ao momento de articulação das propostas de aula. Nessa etapa, levaram-se em consideração alguns aspectos, tais como: formas de exposição, papel dos atores, dinâmica e tempo de aula, recursos empregados, método de avaliação, dentre outros. Zabala (1998) propõe quatro principais tipos ou modelos de unidades didáticas, que se configuram em séries ordenadas e articuladas de atividades, das quais as mais conhecidas são:

- **Unidade de tipo I:** O professor expõe o tema, que pode ser (por exemplo) um princípio físico ou químico, enquanto os alunos tomam nota. O professor permite alguma pergunta e responde aos questionamentos; em seguida, ele define a parte da matéria que será objeto da prova de conhecimentos. Os alunos estudam individualmente o material de aula, memorizando a lição para a prova. Finalmente, após a aplicação da prova pelo professor e sua posterior correção, é apresentado aos alunos o seu resultado;
- **Unidade de tipo II:** O professor apresenta uma situação problemática ou conflitante, para em seguida propor que os estudantes busquem explicações sobre o conceito ou fenômeno de interesse. A partir das ideias apresentadas pelos alunos, os conceitos propostos vão sendo elaborados, com a ajuda do professor, da mesma forma que outros conceitos também vão sendo introduzidos. O professor demonstra que o modelo conceitual pode ser aplicável a outras situações que cumprem as mesmas condições e os alunos, por sua vez, aplicam o modelo em diversas situações novas. Na última etapa antes da avaliação, os alunos realizam diversos exercícios, fazendo uso do algoritmo construído;

- **Unidade de tipo III:** O professor apresenta determinada situação problemática para os alunos, que pode estar, por exemplo, relacionada aos fenômenos naturais dos quais os estudantes desconhecem as explicações científicas. Estabelece-se o diálogo na turma, entre professor e alunos, na medida em que as dúvidas vão surgindo, e os diferentes pontos de vista são trazidos para discussão. A partir das ideias expostas, o professor apresenta e discute suas conclusões, para em seguida esclarecer as leis, princípios e os modelos interpretativos. Os estudantes, individualmente, exercitam a memorização por meio da realização de exercícios que lhes permitam lembrar os resultados das conclusões e da generalização. Por fim, os alunos respondem as perguntas propostas e os exercícios do exame;
- **Unidade de tipo IV:** O professor apresenta uma situação problemática ou conflitante, para em seguida propor que os alunos busquem explicações, com base nas suas ideias intuitivas, sobre o conceito ou fenômeno de interesse. Individualmente e/ou em grupos, os estudantes realizam uma pesquisa nas fontes de informações, coletando, selecionando e classificando os dados obtidos. Na sequência, são elaboradas as conclusões sobre as questões propostas, com a ajuda do professor. A partir das contribuições dos grupos, o professor estabelece as leis, os modelos e os princípios que se deduzem do trabalho. Finalmente, os alunos realizam exercícios de memorização que lhes permitam lembrar os resultados das conclusões, da generalização e da síntese, para em seguida, realizar o teste de conhecimentos.

Conforme se pode observar, os quatro tipos de unidades didáticas diferem significativamente em relação ao papel do professor, ao grau de participação dos estudantes e também à forma de abordagem, o que faz com que uma unidade seja mais aplicável a determinado contexto de aula, de acordo com as necessidades educacionais dos alunos envolvidos. O Quadro 3.2, extraído de Zabala (1988), apresenta uma síntese das características presentes em cada tipo de unidade didática, como os conteúdos predominantes em cada unidade, sua principal função e também alguns materiais curriculares que podem ser utilizados durante as abordagens.

Quadro 3.2– Características presentes nos quatro tipos de unidades didáticas. Fonte: Zabala (1998).

Diferentes fases ou atividades	Tipos de Conteúdos <sup>14</sup> que preferencialmente são trabalhados			Função prioritária de cada fase	Material curricular
<b>Unidade de tipo I:</b>					
1. Comunicação da lição	C			Informar	Texto e Audiovisual
2. Estudo individual	C	P		Compreender	Texto
3. Repetição do conteúdo aprendido	C	P		Memorizar	Texto
4. Prova ou exame	C				
5. Avaliação	C				
<b>Unidade de tipo II:</b>					
1. Apresentação da situação problema	C			Motivar e informar	Texto e Audiovisual
2. Busca de soluções	C	P	A	Compreender	
3. Exposição do conceito e algoritmo	C	P		Informar	Texto
4. Generalização	C	P		Informar	Texto
5. Aplicação	C	P		Descontextualizar	Texto - EAO <sup>15</sup>
6. Exercitação	P	C		Reforçar	Texto - EAO
7. Prova ou exame	C	P			
8. Avaliação	C	P			
<b>Unidade de tipo III:</b>					
1. Apresentação da situação problema	C			Motivar e informar	Texto e Audiovisual
2. Diálogo professor/alunos	C	P	A	Compreender	
3. Comparação pontos de vista	C	P	A	Compreender	
4. Conclusões	C			Compreender	Texto e Audiovisual
5. Generalização	C			Informar	Texto e Audiovisual
6. Exercitação	C	P		Memorizar	Texto
7. Prova ou exame	C				
8. Avaliação	C				
<b>Unidade de tipo IV:</b>					
1. Apresentação da situação problema	C			Motivar e informar	Texto e Audiovisual

<sup>14</sup> Podem ser Conceituais (C), Procedimentais (P) ou Atitudinais (A), e estão representados por ordem de importância nas diversas sequências.

<sup>15</sup> Exercícios, anotações e outros.

2. Problemas ou questões	C	P	A	Compreender	
3. Respostas intuitivas ou suposições	C	P	A	Compreender	
4. Fontes de informação	C	P	A	Informar	Texto, Audiovisual, EAO
5. Busca de informação	P	C	A	Informar	Texto, Audiovisual, EAO
6. Elaboração de conclusões	P	C	A	Compreender	
7. Generalização	C			Informar	Texto e Audiovisual
8. Exercitação	P	C		Memorizar	Texto
9. Prova ou exame	C				
10. Avaliação	C	P	A		

Analisando-se o Quadro 3.2 acima, pode-se perceber que a Unidade de tipo I envolve conteúdos predominantemente conceituais, ao passo que, na Unidade de tipo II predominam os conteúdos procedimentais. Nessa segunda, os conteúdos atitudinais aparecem apenas na fase de diálogo entre professor e alunos, ou seja, na busca de soluções.

As unidades de tipos III e IV, que são um pouco mais complexas sob o ponto de vista pedagógico, envolvem a articulação de diferentes tipos de conteúdos. Porém, enquanto a unidade III favorece principalmente a aprendizagem de conteúdos conceituais, na unidade IV são trabalhadas equilibradamente as três categorias: conteúdos conceituais, procedimentais e atitudinais.

O conhecimento das características que determinam os modelos de unidades didáticas é primeiro passo rumo à articulação das sequências de atividades, as quais reúnem a complexidade da prática em sala de aula, sendo compostas pelas etapas de planejamento, aplicação e avaliação. A partir daí, as variáveis que configuram o processo de ensino e aprendizagem podem ser estabelecidas de acordo com os objetivos educacionais que se desejam alcançar, uma vez que essas primeiras contemplam: a) a articulação das atividades nas sequências didáticas; b) o papel do professor e dos alunos; c) a organização social da sala de aula; d) a utilização do espaço e do tempo; e) a maneira de organizar os conteúdos segundo a lógica formal da disciplina; f) o uso de recursos didáticos; g) o papel da avaliação.

Essas variáveis, por sua vez, norteiam um conjunto de ações educacionais com foco no processo de ensino e aprendizagem, cujos aspectos metodológicos serão mais explorados no capítulo seguinte, mais especificamente nas Seções 4.1.2 e 4.1.3, dedicadas às fases de planejamento/estruturação e de execução/acompanhamento das sequências de atividades.



## 4. METODOLOGIA

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Para responder nosso problema de pesquisa que consiste em se compreender **como as sequências de atividades mediadas por recursos computacionais contribuem no processo de formação de conceitos científicos em Termodinâmica, entre alunos do curso de Licenciatura em Química do Instituto Federal Fluminense?** foi utilizado o método de investigação de estudo de casos. A opção por empregar esse método deve-se ao fato de que nossa abordagem, do tipo explanatória, pretende explicar o processo de formação de conceitos em ambientes informatizados, tendo como base o contexto de vida real dos estudantes. Nesse tipo de investigação, em que se preza a não manipulação dos eventos comportamentais humanos, os limites entre contexto e fenômeno não estão claramente definidos, tornando necessária a adoção, pelos pesquisadores, de várias fontes de evidência para a convergência dos dados durante a etapa de análise.

A utilização do estudo de caso como estratégia de pesquisa precisa contemplar alguns componentes, que segundo Yin (2001), são fundamentais para que se desenvolva um trabalho mais rigoroso e consistente metodologicamente. São eles: a) a questão de estudo; b) suas proposições (caso haja); c) as unidades de análise; d) a lógica que une os dados às proposições; e) os critérios utilizados para se interpretarem as descobertas.

Quanto à questão de estudo vislumbrada nesse trabalho, qual seja a formação de conceitos da Termodinâmica mediada por ferramentas computacionais, destaca-se que a importância desse tipo de recurso precisa estar atrelada à adoção de estratégias de ensino adequadas, que possibilitem a estimulação da Zona de Desenvolvimento Imediato (ZDI) dos estudantes. Nesse sentido, foi fundamental atentar-se ao planejamento e estruturação das práticas pedagógicas, pois como explica Zabala (1998), a sala de aula representa um microsistema dinâmico e complexo, composto de diversas variáveis (como espaço físico, recursos, tempo, intervenção didática, dentre outras) que precisam representar um processo integrado.

A respeito do desenvolvimento dos casos ou unidades de análise, essa investigação compreendeu dois estudos em momentos e situações diferenciadas: o primeiro caso (turma A) transcorreu durante o segundo semestre de 2010 e envolveu 12 estudantes licenciandos do curso de graduação em Química do Instituto Federal Fluminense, RJ, regularmente matriculados na disciplina Físico-Química 1. As sequências de atividades desenvolvidas nessa primeira turma basearam-se no uso de tecnologias computacionais, porém, as aulas

computacionais transcorreram de forma estanque (não integrada) ao longo do período. Já na turma B, formada por outros 10 estudantes matriculados no mesmo curso e disciplina durante o primeiro semestre de 2011, as aulas teóricas foram integradas com as atividades computacionais por meio do ambiente de aprendizagem<sup>16</sup> especificamente desenvolvido para esse fim. Conforme destacado anteriormente, esse estudo propõe a explicação do processo de formação de conceitos em ambientes informatizados por meio do conjunto de observações respectivas aos dois casos propostos, bem como as suas correlações.

Apesar de ter estruturado a pesquisa sob a forma de um conjunto múltiplo de casos, faz-se necessário esclarecer que não se tem a intenção de fornecer uma generalização científica para o processo ou fenômeno que será analisado. De fato, pretende-se realizar uma interpretação generalizante que, embasada em determinadas teorias, pode vir a favorecer o processo de formação de conceitos em situações específicas de ensino e aprendizagem mediadas por recursos computacionais.

Na etapa de análise dos dados da pesquisa, correspondente ao quinto e último componente destacado por Yin (2001), buscou-se um encadeamento de evidências que fosse capaz de explicitar as relações existentes entre questões propostas, os dados coletados, e as interpretações possíveis de serem feitas.

O estudo de casos consistiu no acompanhamento do processo de formação dos conceitos científicos de calor, trabalho e entropia, entre alunos, durante as sequências de ensino mediadas por recursos computacionais. Segundo Vigotski (2001), a presença desse tipo de conceito - que representa um Processo Psicológico Superior - deve refletir necessariamente no aparecimento de conhecimentos qualitativamente mais complexos e estruturados.

Com o propósito de atingir os objetivos dessa investigação, utilizaram-se os modelos teóricos representativos propostos por Zabala (1998)<sup>17</sup>, os quais se configuram como Unidades Didáticas. Tais modelos permitiram estruturar as intervenções pedagógicas, com base em princípios que envolvem tanto a fase de planejamento, como as fases de aplicação e avaliação das ações em sala de aula.

As unidades de análise mais elementares nas quais se configuraram essas ações foram as atividades ou tarefas, por constituírem o processo de ensino e aprendizagem e ao mesmo tempo possuírem todo o conjunto de variáveis que incidem nesse processo. À medida que duas ou mais atividades foram associadas, houve o que se pode chamar de uma Sequência de

---

<sup>16</sup> Mais detalhes sobre o software PBworks, utilizado na construção do ambiente de aprendizagem, podem ser encontrados na Seção 2.2.

<sup>17</sup> Esses modelos encontram-se devidamente explicitados na Seção 3.3

Atividades ou Sequência Didática, cuja característica de englobar as fases de planejamento, aplicação e avaliação mostrou-se adequada ao contexto de análise.

Além das três fases (planejamento, aplicação e avaliação), a pesquisa contou ainda com uma fase zero ou fase de diagnóstico. A importância dessa fase, que envolve o levantamento de determinadas características pessoais dos estudantes, reside no seu aspecto elucidativo que permitiu estruturar e planejar as sequências de atividades de acordo com o perfil das turmas envolvidas. Sendo assim, convém discutir, em um primeiro momento, os aspectos teóricos relacionados às fases iniciais de diagnóstico e estruturação/planejamento das sequências de atividades.

#### **4.1.1 Fase zero ou fase de diagnóstico**

Assim como Gasparin (2002, 2007), acredita-se que o maior desafio da escola e da prática docente esteja na organização do processo educativo, buscando atender, na medida do possível, a individualidade de cada educando. Nesse intuito, o autor destaca a necessidade de se fazer previamente um diagnóstico dos conhecimentos que os estudantes já dominam - ou seja, seus conhecimentos prévios - como forma de se estabelecer um ponto de partida para as intervenções didáticas. Além disso, Gasparin (2007) chama a atenção para dois outros fatores importantes, os quais precisam ser considerados durante as práticas pedagógicas: a) propor obstáculos de acordo com o potencial de cada aluno; b) promover a interação entre os conhecimentos cotidianos e científicos.

Sendo assim, propõe-se nessa investigação, a realização de um levantamento inicial das ideias dos estudantes e também de suas trajetórias sócio-acadêmicas, com o objetivo de compreender, até certo ponto, os motivos que levavam alguns alunos a terem maior ou menor grau de dificuldade com os assuntos abordados na disciplina de Físico-Química. Para tanto, foram utilizados no início da nossa investigação os seguintes instrumentos de coleta de dados: a) questionário sócio acadêmico; b) mapa conceitual; c) teste inicial de conhecimentos.

O questionário sócio acadêmico teve como finalidade levantar algumas características pessoais dos estudantes, a fim de que fosse possível desenhar um perfil sócio acadêmico da turma, no que diz respeito à sua formação acadêmica, experiência profissional e familiaridade dos alunos com alguns assuntos e conceitos da Físico-Química.

Já o mapa conceitual voltou-se ao aspecto cognitivo dos sujeitos da investigação. Durante a sua construção, puderam ser observadas nos alunos as relações estabelecidas entre os diversos conceitos que se encontram vinculados ao tema de estudo.

Da mesma forma que o mapa conceitual, o teste inicial de conhecimentos (APÊNDICE J) permitiu fazer uma análise particular dos conhecimentos ou concepções prévias apresentados pelos estudantes quanto aos conceitos de calor, temperatura e energia interna. Do instrumento original, previamente construído e validado por Silveira e Moreira (1996), foram eliminadas 5 questões: duas pelos próprios autores, em função da análise do teste de consistência interna, e três por iniciativa própria, observando o critério relacionado ao contexto de investigação. As vinte questões restantes foram compostas de três alternativas (a, b, c), que poderiam estar corretas ou não, gerando uma combinação de sete respostas possíveis: somente uma delas podendo estar correta, duas alternativas podendo estar corretas ou as três estando corretas. De todas as vinte questões, somente as questões de número 15 e de número 20 apresentaram duas respostas corretas; nas outras 18 questões, apenas uma das respostas foi aceita como cientificamente correta.

A partir da análise conjunta desses três instrumentos de coleta de dados (questionário sócio-acadêmico, mapa conceitual e teste inicial de conhecimentos) pôde-se conhecer, com mais propriedade, algumas das características pessoais dos estudantes, seja em termos sociais e profissionais (ambiente de estudo, experiências anteriores, dentre outros), seja a respeito da existência de conhecimentos prévios. Essas informações também foram importantes para a organização da etapa seguinte, ou seja, do planejamento e estruturação das sequências de atividades.

#### **4.1.2 Primeira fase ou fase de planejamento e estruturação das sequências de atividades**

Uma vez interpretados os dados obtidos na fase inicial ou de diagnóstico, seguiu-se para a fase seguinte, ou seja, o planejamento e estruturação das sequências de atividades mediadas por recursos computacionais. Convém destacar a importância de se ter planejado as sequências de atividades com certa antecedência, tomando-se o cuidado de inseri-las no contexto de classe, sem prejuízo ao estudo dos conteúdos formais previamente estabelecidos. Dessa forma, puderam ser evitados maiores riscos relacionados às falhas e imprevistos, como por exemplo, o tempo de aula ser insuficiente para a realização da atividade ou a falta de algum recurso físico comprometer à boa condução do experimento.

Para que houvesse um bom desenvolvimento das atividades, foi fundamental apresentar um planejamento semestral à turma logo no início do período letivo (Apêndices C e D), esclarecendo os objetivos de cada sequência de atividades e também os meios pelos quais se planeja atingir tais objetivos. Além disso, foi preciso chamar a atenção dos estudantes

para a relevância dessas atividades na construção dos seus conhecimentos químicos, atribuindo uma pontuação a cada tarefa realizada e entregue, como forma de estimular os seus engajamentos junto às atividades propostas.

Seguindo a classificação proposta por Zabala (1998), que pode ser conferida na Seção 3.3, foram estruturadas as sequências de atividades mediadas por recursos computacionais de acordo com a particularidade de cada abordagem. Ademais, optou-se por utilizar preferencialmente os modelos de unidades dos tipos II e IV, tendo em vista que as mesmas contemplam a fase de diagnóstico, tão importante para a pesquisa. Abaixo, segue a descrição detalhada das sequências de atividades, que se configuraram em Unidades Didáticas.

#### 4.1.3 Segunda fase ou fase de execução e acompanhamento das sequências de atividades

##### 4.1.3.1 Sequência de Atividades do tipo IV - Equivalente mecânico de calor (experimento de Joule)

Nessa sequência de atividades, classificada como Unidade de tipo IV, buscou-se estimular os trabalhos de autoria sob a forma colaborativa no ambiente PBworks<sup>18</sup> (Figura 4.1), uma vez que o programa possibilita a edição de páginas *web* por vários usuários, simultaneamente.

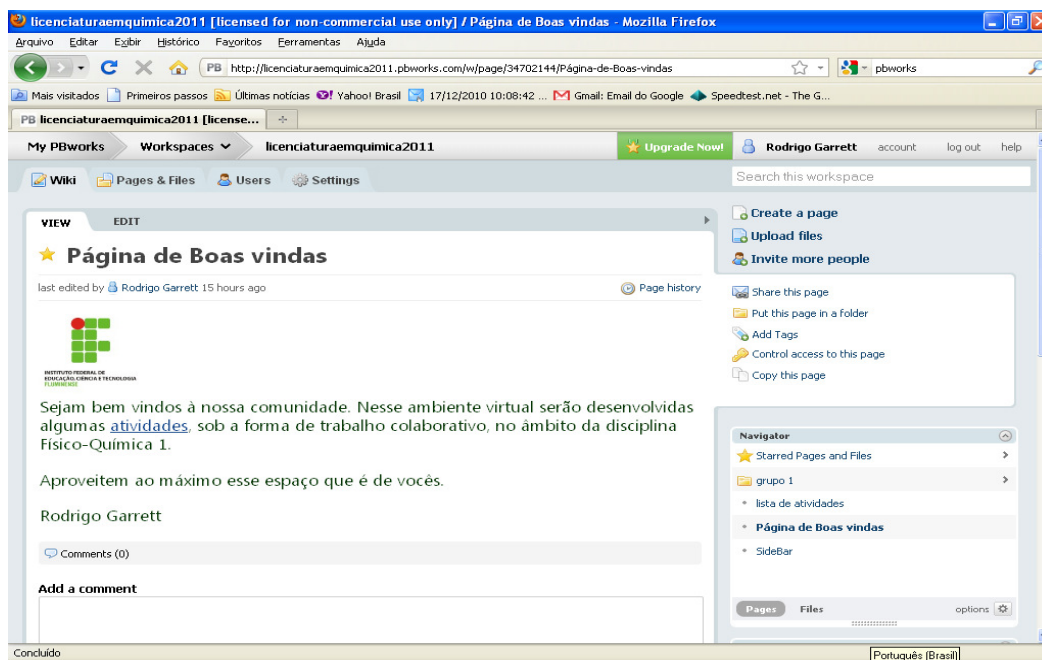


Figura 4.1– Captura da tela de boas vindas do ambiente PBworks denominado Licenciatura em Química 2011. Fonte: Autoria própria.

<sup>18</sup> Os recursos e as funcionalidades de ambiente são abordados na Seção 2.2.

As etapas que compuseram essa sequência de atividades estão descritas a seguir:

- Etapa 1 (apresentação da situação problema → questões → respostas intuitivas): realizou-se uma pesquisa acerca das ideias intuitivas dos alunos, por meio do registro no ambiente computacional PBworks, quanto à seguinte questão problema “Qual a diferença entre calor e temperatura?”
- Etapa 2 (fontes de informação → busca de informação): busca de informações na *web*, em grupos, com registro no ambiente dos conhecimentos acerca dos conceitos propostos (calor e temperatura, equivalente calor e trabalho, energia térmica, formas de propagação de calor e equilíbrio térmico) seguida da leitura do texto de referência<sup>19</sup>;
- Etapa 3 (elaboração de conclusões → generalização): condução das discussões pelo professor, à medida que as diferentes ideias emergiam entre os alunos, tanto no ambiente quanto em sala de aula. Esclarecimento, pelo docente, das dúvidas sobre leis, princípios e conceitos subjacentes, de forma a auxiliar os estudantes nas suas conclusões. Após o amadurecimento das ideias e conceitos, partiu-se para a generalização do princípio da conservação de energia;
- Etapa 4 (exercitação → prova ou exame → avaliação): realização, pelos alunos, de uma simulação computacional *on line* para o equivalente mecânico de calor (Figura 4.2), com posterior discussão dos resultados. Apresentação, sob a forma de seminário, das ideias construídas pelos grupos, com posterior avaliação dos trabalhos pelo professor.

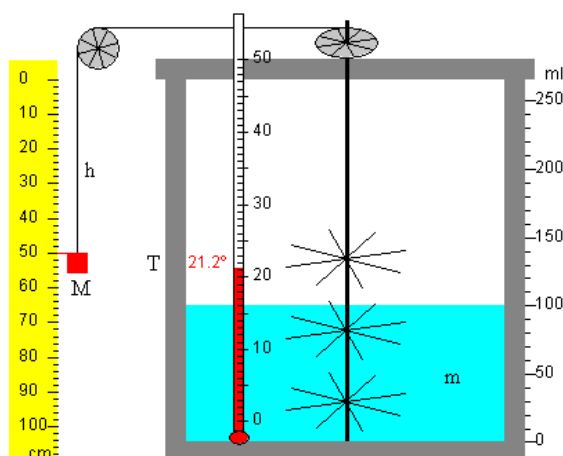


Figura 4.2 – Simulação computacional para o equivalente mecânico de calor.  
Disponível em: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/joule/joule.htm>

<sup>19</sup> O referido texto de referência encontra-se no Apêndice F.

A simulação computacional consistiu de um experimento formado por um bloco de massa  $M$  ligado a uma roldana, que por sua vez, estava ligada a um eixo perpendicular. Esse eixo continha paletas mecânicas, que se deslocavam a uma velocidade constante, perdendo energia potencial. Como resultado da queda do bloco, a água era agitada pelas paletas mecânicas devido ao atrito, o que provocou o seu aquecimento.

Joule descobriu que a diminuição da energia potencial devido à descida do bloco era proporcional ao aumento da temperatura da água. A constante de proporcionalidade calculada por ele corresponde ao calor específico da água, que é igual a  $4,186 \text{ J.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ , significando serem necessários 4,186 Joules de energia mecânica para aumentar em  $1 \text{ °C}$  a temperatura de 1 g de água.

A conversão da energia mecânica em calor pode ser expressa pela seguinte equação:  $M.g.h = m.c.\Delta T$ , em que  $M$  = massa do bloco,  $g$  = aceleração da gravidade,  $h$  = altura de deslocamento do bloco,  $m$  = massa de água,  $c$  = calor específico da água ( $1 \text{ cal.g}^{-1}.\text{°C}^{-1}$ ) e  $\Delta T$  = variação de temperatura sofrida pela água.

#### **4.1.3.2 Sequência de Atividades do tipo II - Cálculo de trabalho expansivo isotérmico para sistemas envolvendo gases ideais e reais**

Essa sequência de atividades teve como principais objetivos: a) promover a familiarização dos estudantes com o *software* de modelagem computacional Modellus; b) reforçar o estudo do conceito de trabalho expansivo do tipo isotérmico, por meio da interpretação simultânea de equações e gráficos subjacentes; c) exercitar a construção e a análise de modelos matemáticos aplicados a problemas da Físico-química.

Para tanto, decidiu-se utilizar o modelo de unidade didática do tipo II, o qual valoriza tanto a aprendizagem dos conteúdos conceituais como procedimentais. Esses últimos, que incluem entre outros aspectos, as regras, técnicas e habilidades, puderam ser observados, por exemplo, nas tarefas nas quais os alunos precisavam construir os modelos computacionais, ou ainda quando eles observavam e interpretavam os fenômenos e comportamentos dos sistemas analisados.

Ao optar pelos conteúdos procedimentais, além dos conceituais, foi necessário atentar-se para a importância da exercitação. Mas para que a situação de aprendizagem seja significativa, esclarece Zabala (1998), essa exercitação precisa ocorrer de maneira reflexiva, ou seja, com tomada de consciência por parte do aluno.

Com o propósito de satisfazer esse conjunto de premissas, adotou-se a seguinte

estratégia para essa sequência de atividades:

- Etapa 1 (apresentação da situação problema): abordagem, pelo professor, dos principais conceitos envolvidos na questão de estudo; solicitação para que os alunos respondessem algumas questões para discussão, buscando associá-las aos conteúdos anteriormente tratados em aula;
- Etapa 2 (busca de soluções): para responder aos questionamentos, os estudantes foram inicialmente reunidos em grupos. Após o período de pesquisa e debate dentro dos grupos, o professor solicitou que os mesmos expusessem suas formas de resolver o problema;
- Etapa 3 (generalização dos conceitos → aplicação): análise do problema de pesquisa e posterior aplicação, por meio da atividade de modelagem computacional com o *software* Modellus (Figura 4.3);
- Etapa 4 (exercitação → prova ou exame → avaliação): as mesmas questões propostas no início das atividades, dessa vez foram realizadas a partir do *software* de modelagem computacional. Dessa forma, os alunos puderam analisar os modelos matemáticos e as representações gráficas, alterando parâmetros e tirando suas conclusões sobre as diversas transformações nos sistemas propostos. Por fim, o professor recolheu os arquivos de modelagem desenvolvidos pelos alunos e também suas observações acerca das atividades para posterior avaliação.

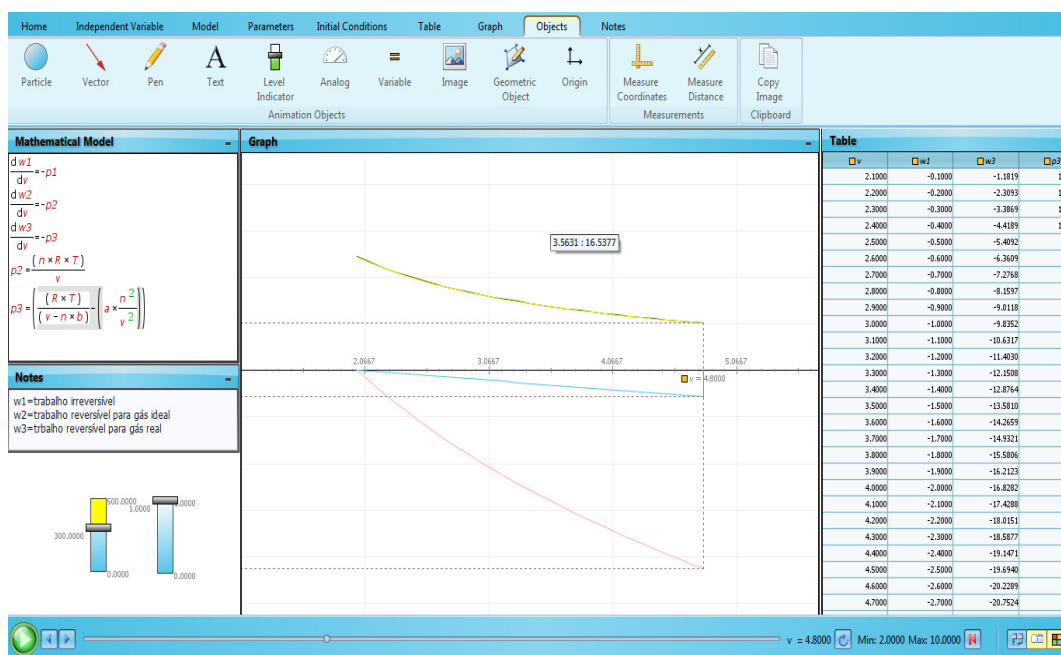


Figura 4.3 – Captura de tela da modelagem computacional realizada com o *software* Modellus envolvendo trabalho isotérmico expansivo em sistemas de gases ideais e reais. Fonte: Autoria



própria.

Conforme descrito anteriormente, essa sequência teve início com a abordagem, pelo professor, acerca do conceito de trabalho expansivo isotérmico, bem como das leis e princípios relacionados a esses temas de estudo. Em seguida, foram apresentadas as questões para discussão discriminadas abaixo, com o intuito de enfatizar, além dos conceitos já estudados, os conhecimentos associados ao formalismo matemático e à representação gráfica:

- 1) O que é o trabalho expansivo e como ele pode ser calculado?
- 2) Qual a quantidade máxima de trabalho expansivo isotérmico ( $T = 298\text{K}$ ) que podemos obter quando um mol de um gás ideal passa de um estado inicial em que  $P=10\text{atm}$  e  $V=1$  litro para um estado final em que  $P=1$  atm e  $V=10$  litros, caso a transformação ocorra:
  - (a) em uma etapa contra pressão externa constante igual a 1 atm?
  - (b) em duas etapas?
  - (c) em “n” etapas infinitesimais, nas quais a pressão externa é sempre ligeiramente menor do que a pressão do gás? Nesse caso, temos o que se pode chamar de uma expansão isotérmica reversível, na qual a pressão varia infinitesimalmente com o volume durante a expansão.
- 3) Como ficariam os cálculos efetuados no item “c” anterior, caso o gás apresentasse o comportamento descrito pela equação de van der Waals, com  $a = 1,408 \text{ L}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-2}$  e  $b = 0,0391 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1}$ , ao invés de apresentar um comportamento ideal?

Para responder a esses questionamentos, os estudantes foram inicialmente reunidos em grupos. Após o período de pesquisa e debate dentro dos grupos, o professor solicitou que os representantes dos grupos expusessem suas formas de resolver o problema. Nesse momento, o professor aproveitou para reforçar conceitos e ideias já explicadas, mas também introduziu e elaborou novos conceitos e representações - como o de reversibilidade termodinâmica.

Na sequência correspondente à fase de aplicação e exercitação, seguiu-se para a atividade de modelagem computacional utilizando o *software* Modellus. A essa altura, todos os alunos já possuíam os conhecimentos necessários ao uso do referido *software*, tendo em vista as suas participações no minicurso que foi realizado previamente com essa finalidade. Por fim, foi recolhido o produto da atividade de modelagem computacional realizado pelos alunos para posterior avaliação. Foi realizada ainda uma aula de resolução de exercícios, na qual os alunos puderam ter contato com os mais diversos tipos de situações envolvendo as leis

e conceitos ora tratados.

#### **4.1.3.3 Sequência de Atividades do tipo IV - A Termodinâmica e o desenvolvimento das máquinas térmicas**

Nessa sequência de atividades, que teve como principais objetivos facilitar a compreensão de diversos conceitos químicos (como calor, trabalho e entropia) e estimular o exercício da pesquisa, além do trabalho colaborativo, a escrita e a análise crítica, foi desenvolvido um estudo de investigação histórico acerca do desenvolvimento dos principais tipos de máquinas (a vapor, de combustão interna, refrigeradoras), tendo como ponto de partida uma série de questões problemas extraídas de Monk (2004).

Partiu-se do pressuposto de que o estudo das leis e teorias da Termodinâmica pode ser mais atrativo para os alunos quando está vinculado às questões sociais, históricas e econômicas que, direta ou indiretamente, afetam suas vidas. Esses aspectos, que geralmente estão ausentes no currículo formal de ensino dos licenciandos, possuem a qualidade de despertar nos estudantes um maior interesse pelo conhecimento químico, nesse caso contextualizado, em contrapartida à abordagem puramente voltada às leis e ao formalismo matemático.

Acredita-se que a proposta de se empregar um ambiente colaborativo *online* corresponde a um ganho, tanto sob o aspecto da dinâmica das interações ente alunos e professor, como nas interações dentro dos grupos de alunos. Ademais, o emprego de animações e simulações computacionais pode favorecer a compreensão das diversas transformações físico-químicas que se fazem presentes no estudo da Termodinâmica, uma vez que essas transformações - quase sempre envolvendo fenômenos simultâneos e abstratos - são frequentemente motivo de grande dificuldade de compreensão por parte dos aprendizes.

No modelo didático do tipo IV, adotado para o planejamento dessa sequência de atividades, foram os alunos que controlaram (até certo ponto) o ritmo dos trabalhos, atuando e utilizando uma série de técnicas e habilidades como, por exemplo, o diálogo, a pesquisa, o trabalho de campo e a escrita. As etapas que compõem essa sequência de atividades encontram-se descritas abaixo:

- Etapa 1 (apresentação da situação problema → questões → respostas intuitivas): sondagem com registro no ambiente das ideias intuitivas dos alunos quanto às diversas questões problemas;
- Etapa 2 (fontes de informação → busca de informação): pesquisa na *web* e registro

no ambiente, em grupos, acerca dos questionamentos propostos;

- Etapa 3 (elaboração de conclusões → generalização): paralelamente às aulas teóricas, as questões já vinham sendo discutidas dentro do contexto das ideias científicas e das leis que regem as máquinas térmicas. A partir da exploração dos objetos de aprendizagem distribuídos entre os grupos, foi proposta uma abordagem mais específica para cada grupo, a respeito dos diferentes tipos de máquinas: a) máquinas a vapor; b) motores de combustão interna (Ciclo de Carnot); c) Motores de combustão interna (Ciclo de Otto); d) geladeiras e refrigeradores (ciclo de refrigeração);
- Etapa 4 (exercitação → prova ou exame → avaliação): solicitou-se que o estudantes, em grupos, apresentassem uma aula do tipo seminário com 20 minutos de duração, tomando-se como base a compreensão acerca de cada objeto de aprendizagem explorado (Figura 4.4). Por fim, foi realizada a avaliação dos trabalhos pelo professor.

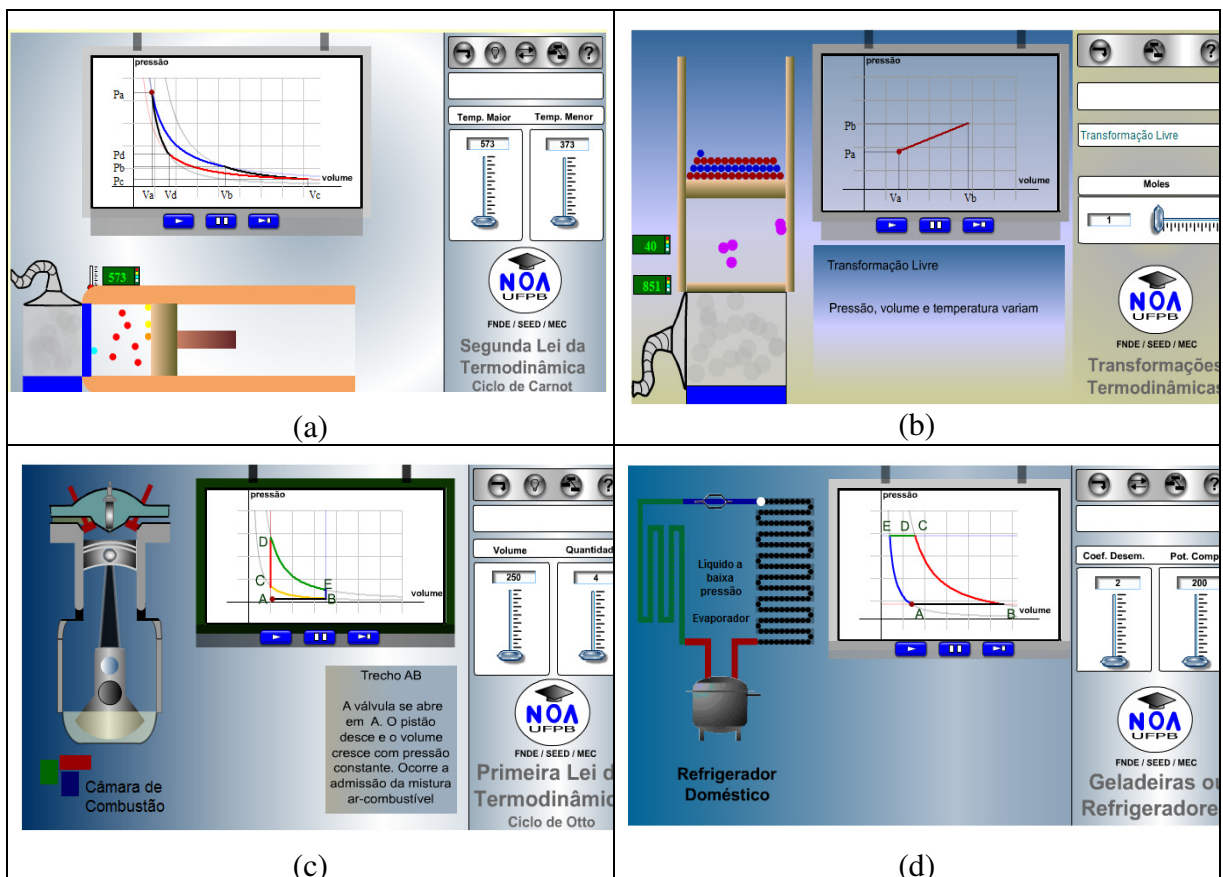


Figura 4.4– Captura de tela dos objetos de aprendizagem disponíveis em: <http://www.fisica.ufpb.br/~romero/>. (a) Segunda Lei da Termodinâmica (ciclo de Carnot); (b)

Transformações Termodinâmicas; (c) Primeira Lei da Termodinâmica (Ciclo de Otto); (d) Geladeiras e Refrigeradores.

A Sequência de Atividades ou Unidade Didática do tipo IV denominada “A Termodinâmica e o Desenvolvimento das Máquinas Térmicas” teve início com a apresentação de alguns questionamentos, conforme especificado abaixo:

- 1) O que são máquinas térmicas e como funcionam? Dê exemplos
- 2) Como surgiram as máquinas térmicas? (faça uma breve retrospectiva histórica)
- 3) Pode uma máquina térmica funcionar somente extraindo calor de uma fonte quente, sem liberar calor para o reservatório frio? Explique
- 4) Pode uma máquina térmica apresentar rendimento maior do que 100%? Explique

Após o registro das respostas intuitivas dos estudantes, partiu-se para a busca das informações na *web* a respeito das questões propostas. Os grupos de alunos tiveram uma semana para pesquisar sobre essas questões e posteriormente construir, com o auxílio do professor, suas respostas aos questionamentos.

Além das orientações que ocorreram presencialmente com o professor da disciplina, foi proposta a continuidade das discussões por meio do ambiente computacional PBworks. O uso desse ambiente permitiu que os estudantes criassem páginas colaborativamente, discutindo os temas que estavam sendo tratados nas aulas, mesmo à distância. Além disso, com o sistema virtual, foi possível o acompanhamento e orientação, por parte do docente, das discussões dentro dos grupos de alunos.

Desejava-se também conhecer as explicações científicas fornecidas pelos alunos a respeito do funcionamento das principais máquinas térmicas existentes na atualidade. Logo, solicitou-se que os grupos aprofundassem suas investigações, a respeito dos seguintes temas de pesquisa: a) máquinas a vapor; b) motores de combustão interna (Ciclo de Carnot); c) motores de combustão interna (Ciclo de Otto); e d) geladeiras e refrigeradores (ciclo de refrigeração).

Nessa etapa da investigação, que se estendeu por mais uma semana, foram distribuídos os objetos de aprendizagem que tratavam dos temas mencionados acima, para que fossem devidamente explorados por cada grupo. Depois de decorridas duas semanas, os grupos precisaram apresentar uma aula tipo seminário, tomando-se como base o objeto de aprendizagem sorteado - embora os mesmos também pudessem recorrer a outras fontes de consulta da sua escolha (como livros, artigos e filmes). Nessa etapa, os estudantes foram

avaliados em função dos conhecimentos adquiridos durante as aulas e também da desenvoltura na apresentação do tema de estudo.

Assim como ocorrera nas etapas anteriores, a realização dessa atividade contou com o auxílio do professor, seja durante a sugestão de leituras de referência, seja na orientação e correção de erros conceituais. As discussões não se restringiram à sala de aula, uma vez que tiveram continuidade por meio do ambiente computacional PBworks, possibilitando que cada aluno, individualmente, acrescentasse a sua contribuição para o desenvolvimento do texto coletivo, enquanto o professor mediava as discussões dentro dos grupos.

Ao final das cinco semanas, tiveram início as apresentações dos grupos sobre os temas pesquisados. À medida que as abordagens ocorriam, o professor tentava fazer uma associação com os conteúdos observados durante as aulas. Por fim, o docente sugeriu a realização de alguns exercícios de fixação, como forma de preparação para o teste final.

#### **4.1.4 Terceira fase ou fase de análise das sequências de atividades**

Adotou-se nessa pesquisa uma perspectiva integradora, ao vislumbrar uma relação de indissociabilidade entre os fatores cognitivos e socioculturais. Sendo assim, a avaliação da prática pedagógica, aqui caracterizada pelas sequências de atividades, contemplou diversos instrumentos de coleta de dados que se voltam, por um lado, para a análise do processo de formação de conceitos, e por outro, pela impressão dos estudantes quanto à qualidade das intervenções em sala de aula.

Quanto ao primeiro aspecto, optou-se por utilizar determinados tipos de registros que pudessem convergir para a observância do grau de eficiência apresentado pelas sequências de atividades, no que diz respeito à ampliação da capacidade de conceitualização dos estudantes. Para tanto, foram utilizados os seguintes instrumentos: registros dos estudantes (listas de exercícios, testes escritos, anotações), artefatos físicos (mapas conceituais, *log* do ambiente PBworks, produtos de simulações e modelagem) e registros do professor (tabela de acompanhamento das atividades realizadas e entregues). As impressões dos alunos respectivamente às sequências de atividades, por sua vez, foram extraídas por meio do instrumento denominado relatório de atividade.

Para um melhor entendimento das posteriores discussões tratadas na investigação, convém detalhar um pouco mais as características dos instrumentos aplicados na coleta de dados:

- **Listas de exercícios:** documentos recolhidos geralmente ao final de cada

sequência de atividades, e que possuem como finalidade avaliar o entendimento dos alunos quanto aos conteúdos tratados em sala de aula;

- **Testes escritos e provas:** Foi aplicado um teste objetivo de conhecimentos, com questões que versavam sobre os conceitos de calor, temperatura e energia interna, com o objetivo de levantar as ideias prévias dos estudantes sobre os conceitos analisados, e também detectar lacunas na aprendizagem ou falsas concepções dos estudantes (Apêndice J). Além desse teste, foram realizadas duas provas bimestrais, do tipo discursivas, como forma de avaliação dos conhecimentos pelos estudantes. Por meio das respostas dos alunos às provas, foi possível realizar uma análise mais criteriosa da suas aprendizagens quanto aos conceitos abordados durante as sequências de atividades. A primeira prova (Apêndice K), que consistiu de uma adaptação do trabalho de Meltzer (2004) - com exceção da questão de número 4, que foi extraída de Atkins (2003) - foi composta de cinco questões que abordavam os conceitos de calor, temperatura, capacidade calorífica, função de estado, além do princípio da conservação de energia e das transformações termodinâmicas. Nessa avaliação, foram explorados conhecimentos conceituais, mas também equações e interpretação gráfica. Já a segunda prova, adaptada de Meltzer (2008) - com exceção da questão de número 5, que foi extraída de Atkins (2003) -, envolveu conhecimentos da Segunda Lei da Termodinâmica, processos espontâneos, entropia associada a processos cíclicos, além de cálculos de entropia em algumas transformações termodinâmicas;
- **Anotações dos alunos:** durante algumas atividades computacionais, solicitou-se que os estudantes respondessem a alguns questionamentos, que tiveram como objetivo avaliar as suas ideias iniciais sobre determinados temas e conceitos. Esses documentos correspondem às respostas das questões problemas apresentadas ao início de cada sequência de atividades;
- **Artefatos físicos:** compreendem o produto das atividades computacionais, quais sejam os mapas conceituais, os arquivos de modelagem computacional e os hiperdocumentos gerados no ambiente PBworks;
- **Registros do professor:** para efeito de nota, utilizou-se a tabela de acompanhamento das atividades realizadas e entregues. Conforme já explicitado anteriormente, a entrega das tarefas esteve sempre condicionada à realização das atividades pelos alunos, e a pontuação atribuída a essas atividades pretendeu

provocar uma maior atmosfera de interesse entre os estudantes;

- **Relatório de atividades:** instrumento voltado principalmente à avaliação, pelo aluno, das atividades computacionais. Por meio desse instrumento (Apêndice E), realizou-se um aprimoramento constante das sequências de atividades com relação às falhas de planejamento e/ou execução.

No Quadro 4.1 abaixo, pode-se observar um resumo esquemático no qual se encontram as informações mais relevantes acerca das sequências de atividades propostas na investigação, como objetivos, classificação, instrumentos de fontes de dados, dentre outras.

Quadro 4.1– Descrição e classificação das seqüências de atividades.

Seqüência de Atividades	Objetivos	Classificação segundo Zabala (1998)	Atividades propostas	Recursos computacionais	Fontes de dados
<p><b>Seqüência 1:</b></p> <p><b>Equivalente mecânico de calor (experimento de Joule)</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reforçar o estudo dos conceitos de calor, trabalho, energia interna, temperatura, entalpia;</li> <li>- Estimular os trabalhos de autoria, realizados sob a forma colaborativa, utilizando-se o ambiente virtual de aprendizagem PBworks.</li> </ul>	<p>Unidade didática do tipo IV:</p> <p>Apresentação da situação problema</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- questões - respostas intuitivas - fontes de informação - busca de informação - elaboração de conclusões - generalização - exercitação - prova - avaliação.</li> </ul>	<p>Investigação, por meio de questões problema, de alguns conceitos da Termodinâmica, como calor e energia; realização de pesquisa na <i>web</i> e de uma simulação computacional sobre a experiência de Joule e o equivalente mecânico de calor.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>wiki</i> (PBworks);</li> <li>- simulação computacional;</li> <li>- pesquisa na <i>web</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relatório de atividades;</li> <li>- Atividades entregues</li> </ul>
<p><b>Seqüência 2:</b></p> <p><b>Cálculo de trabalho expansivo isotérmico para sistemas envolvendo gases ideais e reais</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reforçar o estudo do conceito de trabalho expansivo do tipo isotérmico, por meio da interpretação simultânea de equações e gráficos subjacentes;</li> <li>- Promover a familiarização dos estudantes com o <i>software</i> de modelagem computacional Modellus;</li> <li>- Exercitar a construção e a análise de modelos matemáticos aplicados a problemas da Físico-Química.</li> </ul>	<p>Unidade didática do tipo II:</p> <p>Apresentação da situação problema</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- busca de soluções - exposição do conceito e algoritmo - generalização - aplicação - exercitação - prova – avaliação.</li> </ul>	<p>Apresentação de algumas questões ou exercícios; abordagem, pelo professor, de conceitos como trabalho expansivo isotérmico e reversibilidade termodinâmica; proposta de realização dos exercícios iniciais no ambiente de modelagem computacional, utilizando-se o <i>software</i> Modellus; posterior comparação dos resultados encontrados nas duas abordagens.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>wiki</i> (PBworks);</li> <li>- modelagem computacional (Modellus);</li> <li>- pesquisa na <i>web</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relatório de atividades;</li> <li>- Atividades entregues</li> </ul>
<p><b>Seqüência 3:</b></p> <p><b>A Termodinâmica e o desenvolvimento das máquinas térmicas</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Reforçar os conceitos de calor, trabalho e entropia;</li> <li>- Valorizar o exercício da pesquisa, o trabalho colaborativo, a escrita e a análise crítica.</li> </ul>	<p>Unidade didática do tipo IV:</p> <p>Apresentação da situação problema</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- questões - respostas intuitivas - fontes de informação - busca de informação - elaboração de conclusões - generalização - exercitação - prova - avaliação.</li> </ul>	<p>Desenvolvimento de um estudo de investigação histórico e científico acerca dos principais tipos de máquinas (como a vapor, de combustão interna, refrigeradoras), tendo como ponto de partida uma série de questões problemas; exploração de objetos de aprendizagem específicos para cada assunto; apresentação do seminário.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>wiki</i> (PBworks);</li> <li>- Objetos de aprendizagem (simulação computacional);</li> <li>- pesquisa na <i>web</i>.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Relatório de atividades;</li> <li>- Atividades entregues;</li> <li>- <i>log</i> do PBworks.</li> </ul>



A análise dos dados da investigação foi realizada de acordo com a técnica proposta por Yin (2001) denominada de construção da explicação. Seu fundamento consiste em analisar os dados da pesquisa para se construir uma explicação sobre o caso, partindo-se de uma proposição inicial, com o objetivo de se admitir a viabilidade de aplicação das sequências de atividades para a melhora do processo de formação de conceitos químicos. A partir dessa conjectura, buscou-se explicar o fenômeno de interesse por meio de um conjunto de elos causais, que podem convergir ou não para a constatação da proposição inicial. Caso a previsão não se confirme, os posicionamentos teóricos precisam ser revisados e as evidências novamente examinadas de uma nova perspectiva. Julgou-se essa técnica a mais apropriada à questão de pesquisa, dado o caráter explanatório do estudo de caso.

Os dados constantes no Quadro 4.2 abaixo representam esquematicamente a retomada das principais questões da pesquisa, tais como objetivo geral e objetivos específicos, estratégias para análise dos resultados, categorias observadas, instrumentos de coleta de dados e resultados esperados. Essas informações servirão como ponto de partida para a próxima etapa desse trabalho, que consiste da apresentação e discussão dos resultados da investigação.

Quadro 4.2– Esquema geral das estratégias utilizadas durante a pesquisa.

<b>QUESTÃO DE PESQUISA:</b> Como as sequências de atividades mediadas por recursos computacionais contribuem para o processo de formação dos conceitos científicos de calor, trabalho e entropia entre estudantes do curso de licenciatura em Química do Instituto Federal Fluminense?		
<b>OBJETIVO GERAL:</b> investigar o processo de formação dos conceitos de calor, trabalho e entropia entre estudantes, durante as sequências de atividades mediadas por recursos computacionais.		
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS:</b>		
Descrição dos objetivos	1. Propor sequências de atividades mediadas por recursos computacionais que contribuam para o processo de formação dos conceitos científicos de calor, trabalho e entropia.	2. Analisar a dinâmica do processo de formação dos conceitos de calor, trabalho e entropia durante as sequências de atividades mediadas por recursos computacionais.
Estratégias e referencial teórico utilizado	A partir dos estudos de Zabala (1988) e Nuñez (2009), estruturar, implementar e avaliar sequências de atividades computacionais no ambiente PBworks, incorporando recursos de simulação e modelagem computacional.	Tomando-se como base as ideias de Vigotski (2001) sobre o processo de formação de conceitos durante a escolarização formal, observar nas diversas situações, a elaboração do conceito, sua transferência para novas situações, seu emprego no processo de associação, e por fim, sua percepção e representação.
Instrumentos de coleta de dados	Questionário sócio acadêmico, relatórios de atividades.	Mapas conceituais, testes de conhecimentos, artefatos físicos, provas e anotações dos alunos, <i>log</i> do ambiente computacional.
Categorias para análise dos dados	Conhecimentos prévios e dificuldades nos conceitos básicos da Físico-química;	Dimensão aprendizagem: Conceito científico elaborado: estabelecimento de dependência entre os conceitos ou sistema de conceitos; conscientização <sup>20</sup> da atividade mental ou emprego dos signos e sua aplicação não mecânica; reflexão acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos; capacidade de abstrair, ou seja, de considerar separadamente os elementos fora das conexões reais e concretas dadas;
	Identificação das etapas de assimilação mental (GALPERIN (1959, 1986) nas Sequências de Atividades	
	Utilidade dos recursos computacionais	Conceito científico não elaborado: descrição dos traços sensoriais ou perceptíveis dos objetos/fenômenos; uso mecânico da palavra.
	Interesse pelos assuntos da Termodinâmica;	
	Dificuldades dos alunos na condução das tarefas computacionais.	
Resultados esperados	Propor um desdobramento das ideias de Zabala e Galperin a respeito das qualidades desejáveis nas sequências de atividades mediadas por recursos computacionais.	Descrever, com base nas teorias adotadas, um modelo conceitual para a dinâmica do processo de formação de conceitos científicos durante as sequências de atividades mediadas por recursos computacionais.

<sup>20</sup> A consciência permite planejar as intencionalidades da atividade e corrigi-la a cada momento, conforme os objetivos que se perseguem e o produto ideal a que se propõe, em um processo reflexivo e crítico (NUÑES, 2009)

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para um melhor encadeamento de ideias, apresentaram-se os resultados e as discussões de forma sequencial, ou seja, a partir dos objetivos que se pretendem atingir com a investigação. Ou seja, em uma primeira etapa (Seções 5.1, 5.2 e 5.3), discutiram-se os dados provenientes do questionário sócio-acadêmico e dos relatórios de atividades. Esses dois instrumentos, ao serem analisados conjuntamente, buscaram refletir as características gerais dos estudantes quanto a alguns aspectos cognitivos e sociais, bem como suas expectativas e impressões a respeito das sequências de atividades propostas. Dessa forma, partindo-se da leitura dos registros de dados obtidos durante as sequências de atividades mediadas por recursos computacionais, realizou-se uma adaptação do sistema de princípios didáticos<sup>21</sup> originalmente proposto por Nuñez (2009), cujo marco teórico deriva da Teoria da Assimilação por Etapas de Galperin, de forma a introduzir elementos da simulação e modelagem computacionais no estudo dos conceitos termodinâmicos de calor, trabalho e entropia.

Na segunda etapa da investigação (Seção 5.4), analisaram-se os dados individuais provenientes de provas, testes e observações dos alunos, com o objetivo de explicar como ocorreu o processo de formação de conceitos relativos à Termodinâmica, nas respectivas situações de ensino e aprendizagem mediadas por recursos computacionais. Essas situações, aqui caracterizadas como sequências de atividades ou sequências didáticas, encontram-se devidamente descritas e ilustradas na Seção 4.1.3 (Segunda fase ou fase de execução e acompanhamento das sequências de atividades) do capítulo referente à metodologia.

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO DOS SUJEITOS DA INVESTIGAÇÃO

Tanto na primeira como na segunda etapa, foram admitidos dois casos: o primeiro referente à turma A, envolvendo 12 estudantes durante o segundo semestre de 2010, e o segundo referente à turma B, envolvendo outros 10 estudantes durante o primeiro semestre de 2011. Na turma A, as atividades computacionais foram realizadas de maneira não integrada com as aulas teóricas, enquanto que na turma B, a integração foi promovida a partir da realização de três sequências de atividades<sup>22</sup>, utilizando-se o ambiente computacional PBworks<sup>23</sup>.

---

<sup>21</sup> Os princípios didáticos correspondem a determinadas diretrizes que tratam da estruturação do conteúdo, da sua organização e do método de ensino.

<sup>22</sup> A partir da concepção de Zabala (1998), ou seja, referindo-se a uma série de atividades articuladas que contemplam as fases de planejamento, execução e avaliação e configuram-se em uma importante unidade de análise para a avaliação da nossa prática pedagógica.

<sup>23</sup> As características do ambiente PBworks encontram-se explicitadas na Seção 2.2

A partir das respostas dos alunos ao questionário sócio acadêmico (Apêndice B), foi possível se traçar um perfil das turmas A e B quanto às seguintes características: formação anterior, experiência profissional, afinidade pela disciplina de Físico-Química, principais dificuldades encontradas no estudo dos conteúdos envolvidos, dentre outras.

A faixa etária dos sujeitos da investigação que compuseram a turma A variou entre 21 e 24 anos, enquanto que na turma B, a variação foi de 20 a 23 anos. Quanto ao tipo de instituição de ensino de origem, percebe-se com base na Figura 5.1, que os alunos provenientes da rede pública (federal ou estadual) apresentaram-se em maior número.

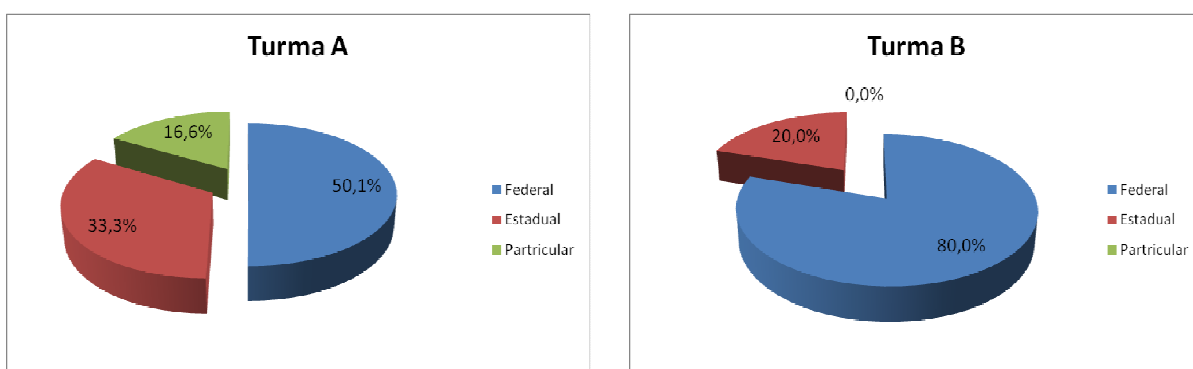


Figura 5.1 – Caracterização dos sujeitos de investigação: instituição de ensino de origem.

Todos os estudantes que afirmaram ser procedentes da rede federal de ensino cursaram alguma modalidade de técnico no próprio Instituto Federal Fluminense, sendo que destes, 100,0% da turma A e 50,0% da turma B concluíram o curso técnico em Química (Figura 5.2). Os 50,0% da turma B que não cursaram técnico em Química, optaram pelos cursos de agropecuária, manutenção industrial, eletrotécnica e informática.

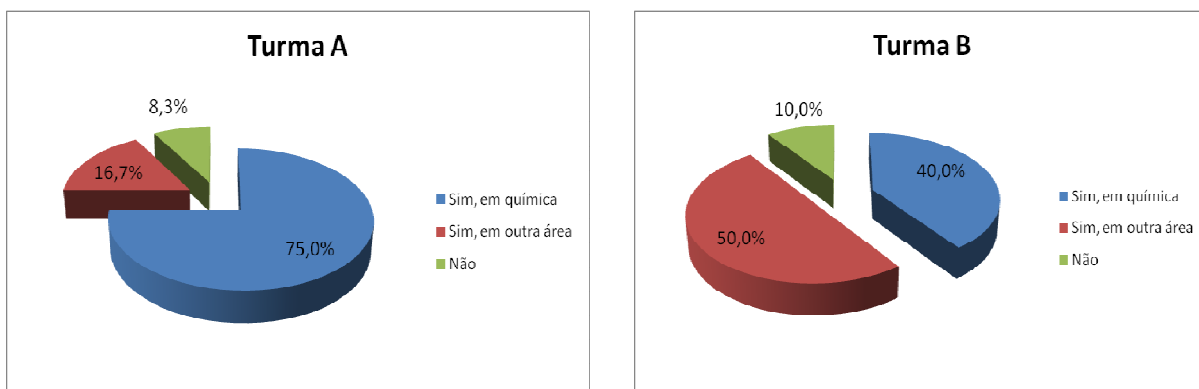


Figura 5.2 – Caracterização dos sujeitos de investigação: realização de curso técnico pelos estudantes.

Analisando-se esses aspectos, pode-se concluir que boa parte dos estudantes

licenciandos (50,1% da turma A e 80% da turma B) concluiu o curso anterior no próprio Instituto Federal Fluminense, uma vez que o oferecimento de cursos técnicos e superiores pelo IFF em áreas afins acarreta que muitos alunos se interessem em cursar o técnico e a graduação na própria instituição. Outra característica marcante que pode ser observada diz respeito à grande quantidade de estudantes que cursaram técnico em Química: 9 dos 12 alunos da turma A e 4 dos 10 alunos da turma B. Um fato curioso é que, como se pode ver na Figura 5.3, embora grande parte dos entrevistados tenha cursado técnico em Química, ao serem questionados sobre suas afinidades com os assuntos ou temas da Físico-Química, apenas 50,0% dos alunos da turma A e 30% dos alunos da turma B foram convictos em afirmar que sim.

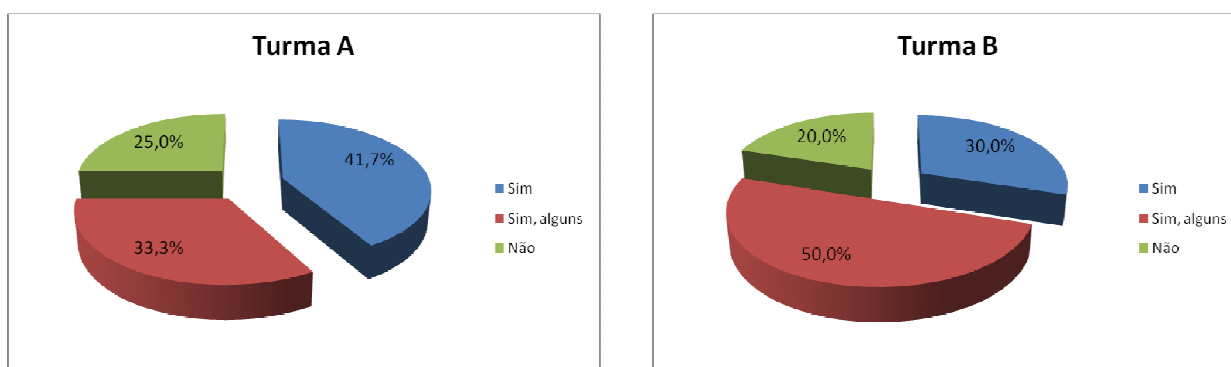


Figura 5.3 – Caracterização dos sujeitos de investigação: afinidade com os conteúdos abordados na disciplina de Físico-Química.

Na turma A, três alunos afirmaram não possuir qualquer afinidade pela disciplina, e dentre os cinco que assumiram possuir afinidade, um afirmara gostar do conteúdo, embora não tivesse estudado essa matéria no ensino médio. Já na turma B, dois estudantes afirmaram não possuir qualquer afinidade, enquanto três acenaram positivamente, embora um destes tivesse confessado gostar do conteúdo mesmo sem tê-lo estudado durante o ensino médio. Os cinco alunos restantes disseram ter pouca afinidade pela Físico-Química.

Por fim, de acordo com a Figura 5.4, que ilustra a resposta dos estudantes a respeito das suas experiências profissionais, constatou-se que mais de 70% dos entrevistados afirmaram possuir alguma experiência anterior, seja na área de magistério (incluindo monitoria) ou em outra área, como de saúde ou industrial.

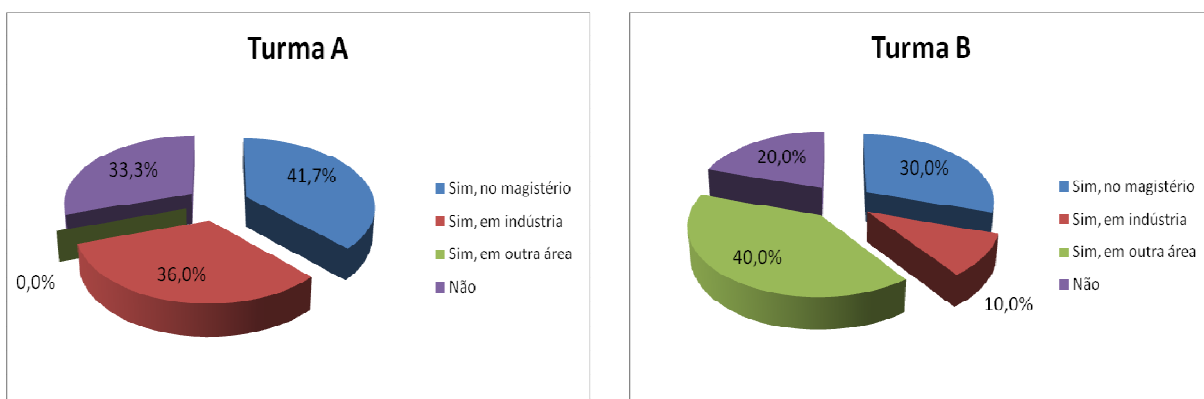


Figura 5.4 – Caracterização dos sujeitos de investigação: experiência profissional.

Com base nos dados da Tabela 5.1, que consiste em uma compilação das respostas dos alunos ao questionário, percebe-se que essa aparente falta de interesse pela disciplina está relacionada com as dificuldades enfrentadas pelos estudantes, sobretudo no uso correto das deduções matemáticas, na abstração de fenômenos e na compreensão de conceitos. Quando questionados a respeito de sugestões de abordagens que poderiam ser utilizadas pelo professor para minimizar essas dificuldades, foram mencionadas estratégias didáticas tais como: resolução de exercícios aplicados ao contexto dos estudantes; realização de experimentos práticos; e utilização de recursos que possibilitam a ilustração/visualização dos conceitos e fenômenos.

Tabela 5.1 – Consolidação das respostas dos alunos ao questionário sócio acadêmico.

<b>Enunciado da questão:</b>	<b>Classificação das respostas – turma A:</b>	<b>Classificação das respostas – turma B:</b>
1) A que rede de ensino pertence a escola na qual você concluiu o ensino médio?	Federal = 6 (50,1%) Estadual = 4 (33,3%) Particular = 2 (16,6%)	Federal = 8 (80,0%) Estadual = 2 (20,0%)
2) cursou ensino técnico profissionalizante? Caso positivo, em qual área?	Sim, em Química = 9 (75,0%) Sim, em outra área = 2 (16,7%) Não = 1 (8,3%)	Sim, em Química = 4 (40,0%) Sim, mas não em Química = 5 (50,0%) Não = 1 (10%)
3) Possui alguma experiência profissional? Caso positivo, de quantos anos? (especificar)	Sim, na área de magistério = 5 (41,7%) Sim, na área de indústria = 3 (36,0%) Não = 4 (33,3%)	Sim, na área de magistério = 3 (30,0%) Sim, na área de indústria = 1 (10,0%) Sim, em outra área = 4 (40,0%) Não = 2 (20,0%)
4) Possui afinidade pelos assuntos ou temas discutidos nas aulas de Físico-química?	Sim = 5 (41,7%) Sim, alguns = 4 (33,3%) Não = 3 (25,0%)	Sim = 3 (30,0%) Sim, alguns = 5 (50,0%) Não = 2 (20,0%)
5) Quais as principais dificuldades percebidas por você no estudo dessa disciplina?	Desenvolvimento de fórmulas = 6 (33,3%) Aplicações de fórmulas = 5 (27,8%) Compreensão de conceitos = 2 (11,1%) Visualização de fenômenos = 2 (11,1%) Conversão de unidades = 2 (11,1%) Análise de gráficos = 1 (5,6%)	Compreensão de conceitos: 6 (60,0%) Relacionar os cálculos com a teoria: 1 (10,0%) Falta de conhecimentos prévios: 1 (10,0%) Memorização de fórmulas: 1 (10,0%) Aplicação matemática e análise gráfica: 1 (10,0%)
6) Gostaria de sugerir alguma forma de abordagem que possa ser utilizada pelo professor para minimizar essas dificuldades?	Exercícios contextualizados: 3 (25,0%) Experimentos práticos: 3 (25,0%) Utilização de tecnologias: 1 (8,3%) Ilustrar aplicação dos conceitos: 1 (8,3%) Forma de abordagem histórica: 1 (8,3%) Leitura de artigos científicos: 1 (8,3%) Abordagem lúdica: 1 (8,3%) Abordar questões do cotidiano: 1 (8,3%)	Exercitação: 3 (30,0%) Ilustrar aplicação dos conceitos: 2 (20,0%) Experimentos práticos: 1 (10,0%) Avaliações por projetos: 1 (10,0%) Utilização de tecnologias: 1 (10,0%) Ampliar discussão sobre conceitos: 1 (10,0%)

Além das perguntas voltadas aos aspectos sociais e acadêmicos dos estudantes, o questionário sócio-acadêmico teve como objetivo captar a compreensão inicial dos estudantes (ou seus conhecimentos prévios) a respeito dos conceitos de calor, trabalho e entropia. Sobre essa questão, pode-se afirmar com base nas respostas dos alunos, que tanto na turma A como na turma B, existiam muitas ideias incompletas ou equivocadas, como por exemplo, a de que o calor é uma quantidade de energia liberada em um sistema, ou então que corresponde ao

grau de agitação das moléculas. Na conceitualização de trabalho, houve quem respondesse ser a energia liberada na expansão de um sistema ou a energia “gasta” em um sistema para que o gás ou líquido possa expandir o seu volume. Quanto ao conceito de entropia, as concepções dos estudantes convergiram, quase que exclusivamente, para os aspectos macroscópicos ou observáveis, quando não representaram uma repetição, tal qual aquela encontrada nos livros de Físico-Química: “entropia é uma medida do grau de desordem dos sistemas”.

A análise dos mapas conceituais construídos durante as aulas chama a atenção para a existência, entre os estudantes, de relações superficiais e inconsistentes acerca dos conceitos de calor, trabalho e entropia. Se por um lado, constatou-se uma grande dificuldade nas suas definições, por outro, as representações das relações existentes entre os mesmos mostraram-se bastante frágeis. Como se pode constatar na Figura 5.5, a dificuldade na operação com os conceitos foi evidenciada por dois aspectos: a) inabilidade em se utilizar os termos que representam os próprios conceitos (como no conceito de entropia, a palavra “reação” referindo-se a “sistema”); b) utilização incorreta das frases de ligação, como em “termodinâmica contém calor” ou ainda “termodinâmica possui trabalho de expansão”. Vale ressaltar que esses mesmos conceitos já haviam sido discutidos, embora de forma introdutória, nas turmas em uma disciplina lecionada no período anterior, denominada “Energia e Matéria em Transformação”.

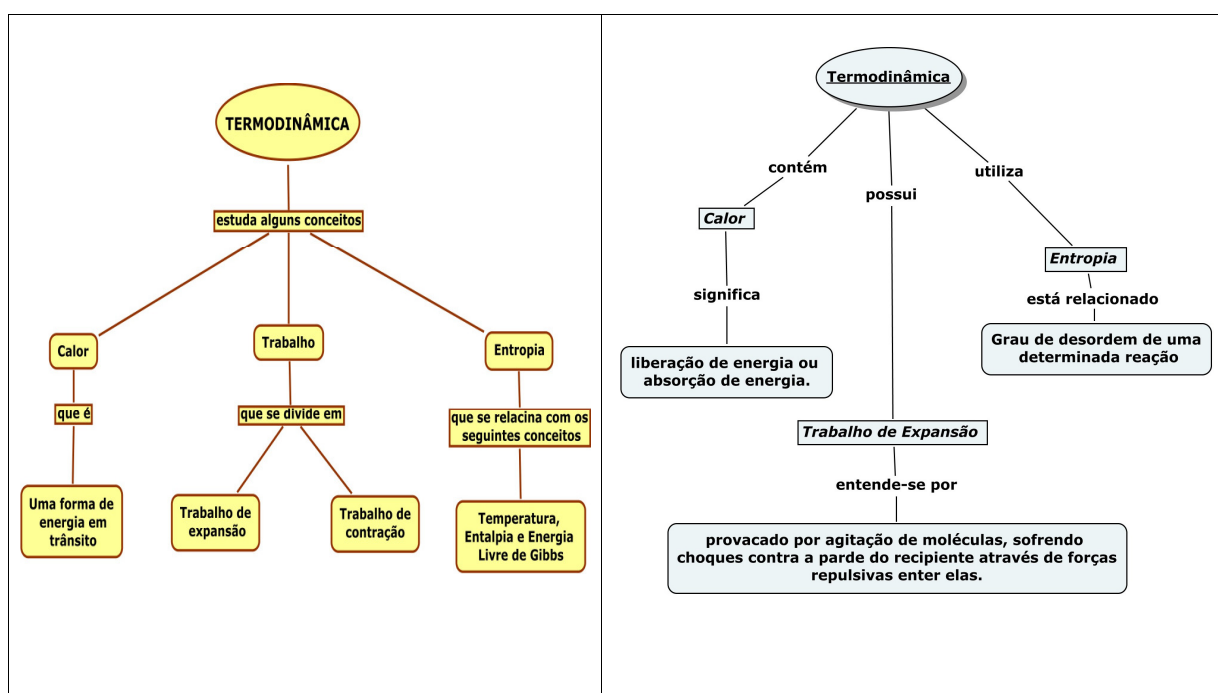


Figura 5.5 – Exemplos de mapas conceituais construídos pelos alunos.



A justificativa para toda essa dificuldade de conceitualização pode envolver muitos aspectos, embora todos culminem em um problema principal, que é a inabilidade em se compreender e interpretar ideias e fenômenos abstratos. Nesse sentido, Vigotski (2001) já alertara que o processo de formação de conceitos científicos pressupõe a abstração de uma série de atributos que posteriormente sintetizam-se, culminando na percepção da realidade pelo aprendiz. O autor esclarece que somente o domínio do processo da abstração, acompanhado do desenvolvimento do pensamento por complexos, pode levar o estudante a formar conceitos verdadeiros, os quais, em sua forma natural e desenvolvida, representam não apenas a união e a generalização dos elementos isolados, mas também a capacidade de abstrair, de considerar separadamente esses elementos fora das conexões reais e concretas dadas.

Retornar-se-á a esse assunto com mais detalhes na Seção 5.4, pois, nesse momento, tem-se como objetivo discutir as ideias ou princípios didáticos propostos por Nuñez (2009) ao introduzir elementos da simulação e da modelagem computacional no estudo dos conceitos termodinâmicos de calor, trabalho e entropia. Nesse sentido, convém analisar as respostas dos alunos aos relatórios de atividades, recolhidos após a realização das três sequências de atividades propostas, uma vez que esses dados permitiram captar suas expectativas e frustrações a respeito das aulas computacionais. A descrição das oito questões envolvendo as sequências de atividades realizadas pelas turmas A e B (Apêndice E), assim como sua discussão, tomando-se como base as etapas de assimilação mental propostas por Galperin, podem ser conferidas a seguir.

## **5.2 ANÁLISE DAS SEQUÊNCIAS DE ATIVIDADES COM BASE NA TEORIA DE GALPERIN**

### **5.2.1 Primeira Sequência de Atividades - Equivalente mecânico de calor (experimento de Joule)**

a) **Etapa motivacional:** consistiu na preparação dos estudantes para a realização das tarefas propostas. Nesse caso, ressalta-se o papel mediador assumido pelo professor, ao auxiliar os estudantes quanto ao uso correto dos recursos computacionais, ao propor a resolução de situações problema, ao definir os grupos de acordo com a afinidade dos estudantes, ao estipular notas para as atividades realizadas e entregues, e acima de tudo, ao dar sentido às atividades, enriquecendo-as e prezando pelo seu bom andamento. Esses fatores são importantes, notadamente sob o ponto de vista do impulsionamento da uma motivação interna, intrínseca a cada indivíduo no que diz respeito a sua vontade de aprender.

A utilização do ambiente computacional PBworks para organização e acompanhamento das sequências de atividades permitiu que a etapa motivacional fosse satisfatoriamente explorada pela turma B, porquanto que, conforme mencionado anteriormente, o mesmo ambiente não foi utilizado pela turma A. Além da vantagem de se poder acompanhar o desenvolvimento dos trabalhos dos alunos em tempo real, orientando-os e incentivando-os presencialmente ou à distância (pelos comentários no ambiente), a estrutura dessa ferramenta *wiki* possibilitou, por si só, a ampliação das possibilidades de interação e cooperação nos grupos de alunos, uma vez que: a) os alunos puderam se tornar autores de seus próprios materiais didáticos; b) os mesmos assumiram um papel ativo (e não de mero expectador) no processo educativo; c) conseguiu-se compartilhar, construir e desconstruir textos colaborativamente de forma fácil e rápida.

Ou seja, o PBworks permitiu pensar as atividades de forma diferenciada propondo-se uma sequência de atividades mais interessante e motivadora. Apesar disso, observando-se os dados constante na Tabela 5.2, correspondente às respostas dos alunos à questão 4: “O conteúdo trabalhado não despertou o meu interesse”, nota-se que o interesse dos estudantes da turma B ficou aquém do esperado (70,0% dos alunos da turma B discordam dessa afirmação, enquanto que na turma A, foram observadas 91,7% de respostas negativas).

Tabela 5.2 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 4 do relatório referente à primeira sequência de atividades.

<b>Opinião</b>	<b>Turma A</b>		<b>Turma B</b>	
	<b>Frequência</b>	<b>%</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>
Concordo plenamente	0	0,0	0	0,0
Concordo	0	0,0	1	10,0
Não opino	1	8,3	2	20,0
Discordo	9	75,0	3	30,0
Discordo totalmente	2	16,7	4	40,0
Total	12	100,0	10	100,0

A explicação para o fato de que, na segunda turma, o emprego do ambiente de

aprendizagem não tenha sido suficiente para interessar e motivar os estudantes tanto quanto esperado, pode estar relacionada com a falta de ênfase na explicitação, por parte do professor, dos objetivos que se pretendia atingir com as atividades. A resposta do estudante Lu (turma B) à questão de número 6 “Eu recomendo a utilização dessa atividade computacional nas aulas presenciais do próximo período letivo” (Tabela 5.3) serve para ilustrar esse ponto de vista, como também para destacar sua preocupação com o cumprimento do programa da disciplina. Ao ser interrogado sobre a ideia de recomendar ou não a utilização da atividade computacional nas aulas presenciais do próximo período letivo, o aluno ponderou: *“desde que fique mais claro como será utilizado (o recurso computacional), que todos tenham domínio (das ferramentas computacionais) e que o currículo mínimo da disciplina seja alcançado”*.

Da mesma forma, não se pode deixar de relatar a resposta do estudante La (também pertencente à turma B) às duas questões, pois ele declarou estar desinteressado pelas atividades e ainda optou pela não recomendação a respeito da utilização da sequência de atividades nas aulas presenciais futuras. De fato, ficou constatado que esse ponto de vista particular possui origem na falta de interesse do aluno com qualquer uma das sequências de atividades propostas, logo não diz respeito a nenhuma atividade específica.

Tabela 5.3 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 6 do relatório referente à primeira sequência de atividades.

Opinião	Turma A		Turma B	
	Frequência	%	Frequência	%
Concordo plenamente	5	41,7	3	30,0
Concordo	5	41,7	5	50,0
Não opino	1	8,3	1	10,0
Discordo	1	8,3	1	10,0
Discordo totalmente	0	0,0	0	0,0
Total	12	100,0	10	100,0

Analisando-se mais profundamente esses resultados, tomando-se como base a Teoria da Atividade de Leontiev, pode-se chegar à seguinte interpretação: provavelmente, em alguns

casos, o objetivo (realizar as tarefas propostas) e o motivo (satisfação pessoal do aluno no processo de aprendizagem) das atividades não tenham sido coincidentes. Isso significa dizer que, em uma parte dos estudantes, predominaram ações ao invés de operações, porque a motivação da aprendizagem não foi capaz de levar à transformação dos objetivos de aprendizagem em motivos. Ainda assim, um aspecto positivo mencionado na questão de número 4 por dois estudantes da turma B, diz respeito à valorização do espírito de pesquisador entre os alunos, o que pode ser constatado por meio dos seguintes comentários: “*o conteúdo trabalhado me ensinou a ser mais pesquisador*” - estudante J; “*... fez com que os alunos se interessarem pela pesquisa*” - estudante Ma.

Ainda a respeito das respostas à questão de número 6, percebe-se que as porcentagens de alunos que recomendam a utilização da atividade computacional nas aulas futuras ficaram equilibradas (83,4% na turma A e 80,0% na turma B), o que indica uma boa aceitação das atividades computacionais em ambas as turmas. De fato, muitos estudantes da turma B julgaram acreditar no potencial associado às atividades computacionais, embora muito provavelmente pelo motivo anteriormente exposto, eles não tenham se sentido suficientemente motivados durante a realização das aulas.

**b) Etapa de estabelecimento da BOA:** equivale às definições e orientações empregadas na realização do projeto de ação, ou seja, às suas bases estruturais e funcionais (orientação, execução e controle). Compreende os princípios envolvidos no modelo de unidade didática estabelecido, nesse caso correspondente à unidade do tipo IV na classificação proposta por Zabala (1998). Sob o ponto de vista dos critérios de generalidade, plenitude e modo de obtenção, mencionados na Seção 3.2, pode-se dizer que essa sequência de atividades insere-se no modelo de BOA do tipo IV, pois além de orientar-se a um objetivo geral (estudo dos conceitos de energia, calor, temperatura, capacidade calorífica), possui alto grau de detalhamento (plenitude completa) e o seu modo de obtenção é elaborado, ou seja, as diretrizes são fornecidas pelo professor.

Quanto a esses aspectos estruturais e funcionais, a abordagem proposta na turma B (Figura 5.6) diferenciou-se da abordagem na turma A em função da articulação, no segundo caso, envolvendo atividades de pesquisa concomitantemente com a simulação computacional. Na primeira turma, a simulação computacional foi explorada isoladamente, sem levar em conta outras atividades como a pesquisa, que esteve presente na sequência de atividades realizada pela segunda turma.

## licenciaturaemquimica2011: lista de atividades



### Atividade 1:

- Responda, sem consultar qualquer material, a seguinte pergunta: QUAL A DIFERENÇA ENTRE CALOR E TEMPERATURA?
- Utilize o vídeo disponível em <http://christiano.webnode.com.pt/news/experimento-de-joule/> e o texto disponível em [http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/CFQ/Experiencias\\_de\\_joule/Equivalncia\\_Trabalho\\_Calor.html](http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/CFQ/Experiencias_de_joule/Equivalncia_Trabalho_Calor.html) para direcionar a sua pesquisa na busca de respostas para a pergunta acima;
- Realizar uma pesquisa na web sobre os seguintes temas: calor e temperatura (definição); equivalente calor-trabalho; energia térmica; formas de propagação de calor e equilíbrio térmico. (PROCURE ILUSTRAR COM FIGURAS, ANIMAÇÕES, LINKS EXTERNOS, ETC.);
- Fazer a simulação sobre equivalente mecânico de calor acessando o link: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/joule/joule.htm> ou sua tradução para o português em: <http://www.fisica.ufs.br/CorpoDocente/egsantana/estadistica/otros/joule/joule.htm> (NÃO ESQUEÇAM DE PREENCHER O RELATÓRIO DE ATIVIDADES, PARA ENTREGAR EM 27/04/11)
- Será necessário que vocês se reunam nos grupos, conforme estabelecemos anteriormente, ou seja: [grupo 1]; [grupo 2]; [grupo 3]; [grupo 4]; [grupo 5]
- Cada grupo precisará desenvolver um documento único, sob a forma colaborativa, no ambiente PBworks;
- Ao final dessa atividade, o documento construído deverá ser apresentado (sob a forma de aula) aos demais colegas dos grupos.

Figura 5.6 – Descrição da primeira sequência de atividades (simulação computacional para o equivalente mecânico de calor) - turma B.

As respostas dos alunos à questão de número 1: “A experiência didática baseada no uso dos recursos computacionais foi útil para que eu compreendesse melhor os fenômeno(s) e conceito(s) físico-químico(s) estudado(s)” (Tabela 5.4), demonstram, em ambos os casos, a grande satisfação dos estudantes (91,6% na turma A e 80,0% na turma B) com as atividades propostas.

Tabela 5.4 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 1 do relatório referente à primeira sequência de atividades.

Opinião	Turma A		Turma B	
	Frequência	%	Frequência	%
Concordo plenamente	7	58,3	1	10,0
Concordo	4	33,3	7	70,0
Não opino	0	0,0	1	10,0
Discordo	1	8,4	1	10,0
Discordo	0	0,0	0	0,0

totalmente				
Total	12	100,0	10	100,0

Dentre os aspectos positivos mencionados pelos alunos da turma A, pode-se citar: “a animação deixou os conceitos mais claros” - estudante A; e “a animação facilitou a compreensão dos conceitos” - estudante J. Outros sentiram falta de um ambiente no qual se pudesse, futuramente, acessar o *link* que direcionasse para a animação. Um fator que, segundo os próprios estudantes, pode limitar as suas aprendizagens durante a realização da simulação, diz respeito à falta de conhecimentos prévios consolidados, que permitam a adequada exploração das ideias por meio do uso dos recursos computacionais.

Já os estudantes da turma B mostraram-se mais críticos, como se pode observar por meio da resposta do estudante Ma “... (sim), porém não tive uma compreensão precisa (dos conceitos) pois no meu grupo pesquisamos vários conceitos, não fazendo um aprofundamento”. O estudante Lu chegou a afirmar que a experiência didática baseada no uso dos recursos computacionais não foi útil, uma vez que “... até agora os fenômenos e conceitos foram desenvolvidos por nós, os recursos computacionais serviram somente como meio de pesquisa”. Segundo ele, ainda existiria o problema de que “... o conceito é trabalhado depois (de coletadas as ideias iniciais) e tudo o que fizemos está errado, causando confusão. Essa confusão a qual o estudante se refere na afirmação anterior corresponde, na verdade, a uma tentativa do professor em gerar uma situação de conflito cognitivo, por meio da qual a concepção equivocada venha à tona e posteriormente seja discutida.

Alguns aspectos positivos destacados pelos estudantes do segundo grupo dizem respeito, sobretudo: a) à viabilidade de se pesquisar sobre o conceito (“a atividade possibilitou que construíssemos nosso próprio conceito, através das pesquisas” - estudante I; “pode-se visualizar de forma mais clara os fenômenos e conceitos; além disso, somos incentivados a sermos mais pesquisadores” - estudante J; “a atividade foi uma maneira de nos levar a pesquisar o assunto sugerido; o professor pode acompanhar o desenvolvimento do trabalho à medida que o mesmo estava sendo feito” - estudante P); b) ao trabalho coletivo (“a utilização de recursos computacionais em sala de aula nos fez aprender a trabalhar coletivamente” - estudante Lu; “... há uma maior interação entre professor e alunos” - estudante Ma); c) ao uso das ferramentas computacionais (“... aprender um novo programa de computador e poder utilizá-lo onde eu estou, inclusive na minha casa” - estudante Th).

Ao serem analisadas as respostas à questão de número 2: “O método de ensino foi adequado para a abordagem do conteúdo estudado” (Tabela 5.5), observa-se que a forma de abordagem obteve uma maior aprovação na turma A, com 91,6%. Já na turma B, esse grupo foi composto de 60,0% dos alunos, enquanto que os 40,0% restantes preferiram não opinar sobre o assunto. Levando-se em consideração as respostas à questão de número 3: “A condução das tarefas da atividade computacional fora descritas de modo claro pelo professor” (Tabela 5.6), constatou-se que o problema não teve relação com a descrição das atividades, processo que segundo os próprios alunos, fora feito satisfatoriamente. É possível que a origem dessa insatisfação com o método de ensino (também) esteja relacionada com a falta de ênfase na explicitação, por parte do professor, dos objetivos que se pretendia atingir com as atividades.

Tabela 5.5 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 2 do relatório referente à primeira sequência de atividades.

<b>Opinião</b>	<b>Turma A</b>		<b>Turma B</b>	
	<b>Frequência</b>	<b>%</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>
Concordo plenamente	4	33,3	1	10,0
Concordo	7	58,3	5	50,0
Não opino	0	0,0	4	40,0
Discordo	1	8,4	0	0,0
Discordo totalmente	0	0,0	0	0,0
Total	12	100,0	10	100,0

Tabela 5.6 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 3 do relatório referente à primeira sequência de atividades.

<b>Opinião</b>	<b>Turma A</b>		<b>Turma B</b>	
	<b>Frequência</b>	<b>%</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>

Concordo plenamente	2	16,7	4	40,0
Concordo	10	83,3	6	60,0
Não opino	0	0,0	0	0,0
Discordo	0	0,0	0	0,0
Discordo totalmente	0	0,0	0	0,0
Total	12	100,0	10	100,0

Quando questionados sobre a existência de dificuldades na condução das tarefas computacionais (Questão de número 5), 41,7% dos estudantes da turma A acenaram positivamente, enquanto que um percentual de 30,0% foi observado na turma B (Tabela 5.7).

Tabela 5.7 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 5 do relatório referente à primeira sequência de atividades.

Opinião	Turma A		Turma B	
	Frequência	%	Frequência	%
Concordo plenamente	2	16,7	0	0,0
Concordo	3	25,0	3	30,0
Não opino	0	0,0	0	0,0
Discordo	5	41,6	6	60,0
Discordo totalmente	2	16,7	1	10,0
Total	12	100,00	10	100,00

Dentre as justificativas apontadas para tais dificuldades, o fator que mais foi mencionado pelos alunos da turma A diz respeito ao tempo reservado para a atividade, enquanto que na turma B, grande parte dos alunos ressaltou a impossibilidade de acesso à *web* fora da escola.



c) **Etapa da formação no plano material:** foi proposta uma ação do tipo materializada, ou seja, pela qual a representação do objeto de estudo (simulação sobre equivalente mecânico de calor) consistia de uma mera representação da realidade. Nessa etapa, cuja execução contou com a ajuda de um roteiro de atividades<sup>24</sup> (Apêndice F), teve-se como objetivo possibilitar que o estudante visualizasse as transformações por meio de uma realidade objetiva, para que em seguida ele tivesse condições de refletir sobre o que observara. Dessa forma, a transição para o plano mental equivale à internalização das ações materiais, externas, para sua posterior generalização - o que caracteriza o processo de conceitualização.

Nessa etapa, particularmente importante nas situações em que os conceitos representam objetos ou fenômenos muito abstratos, pôde-se observar que a visualização de gráficos e animações não representou a garantia de um processo mais eficiente sob o ponto de vista cognitivo. Ao invés disso, esses recursos visuais provocaram, em alguns casos, a distração de muitos estudantes das turmas A e B, a respeito de detalhes pouco importantes ou desnecessários.

d) **Etapa da formação no plano da linguagem externa:** ocorreu com o estabelecimento das interações entre grupos de alunos e também com o professor. Nessa etapa, os significados dos signos passaram a ser compartilhados pelos estudantes, durante as atividades mediadas pelo professor. Além disso, as discussões sobre os assuntos tratados na classe permitiram que cada aluno refletisse sobre suas ideias, em contraste com as ideias dos colegas.

Na turma B, diferentemente da turma A, atribuiu-se grande importância tanto à linguagem escrita como à verbalização das atividades, o que culminou no desenvolvimento de um documento colaborativo no ambiente computacional PBworks e também na apresentação de um seminário para os demais colegas da classe. Nesse seminário, cujo tempo de apresentação foi de 20 minutos, os grupos de estudantes puderam relembrar conceitos, apresentar e discutir ideias, além de defender seus pontos de vista sobre os assuntos pesquisados.

e) **Etapa da ação no plano mental:** na aquisição dessa etapa, observa-se no aluno uma nova forma de pensamento, cujas características envolvem a presença de representações mentais, a reflexão da própria ação e também o domínio de signos específicos. Essa última

---

<sup>24</sup> Nuñez (2009) utiliza para esse instrumento a denominação de mapa da atividade.

etapa envolve o processo de formação de conceitos propriamente dito, que em função da sua importância, será discutido com mais detalhes na Seção 5.4.

Conforme mencionado anteriormente, a ideia das etapas mentais proposta por Galperin não estabelece a existência de um caminho único e estático para o processo de aquisição de conhecimentos. De fato, nem toda ação precisa percorrer essa sequência de etapas, desde que alguma(s) dela(s) já faça(m) parte da estrutura cognitiva do indivíduo. Da mesma forma, algumas etapas - principalmente a etapa motivacional - precisam estar presentes em vários momentos do processo de assimilação de conceitos.

### **5.2.2 Segunda Sequência de Atividades - Cálculo de trabalho expansivo isotérmico para sistemas envolvendo gases ideais e reais**

a) Etapa motivacional: além dos recursos já mencionados anteriormente, qual sejam: orientação dos estudantes a respeito do uso correto dos recursos computacionais, proposição de situações problema, organização dos grupos de alunos segundo o critério de afinidade, e estabelecimento de notas para as atividades entregues, a turma B contou ainda com a realização de uma atividade de modelagem computacional com o *software* Modellus, cuja orientação e acompanhamento, realizada por meio do ambiente PBworks, ficou a cargo do docente da disciplina. Já na turma A, semelhantemente com o que ocorrera na primeira sequência de atividades, o ambiente *wiki* não fora utilizado e a estratégia didática empregada se restringiu às atividades de simulação computacional, realizadas com o mesmo *software*. A vantagem em se utilizar o PBworks reside na possibilidade de articulação e acompanhamento das atividades computacionais em paralelo com outras atividades, mesmo fora do ambiente de sala de aula, como a pesquisa, a indicação de leituras correlatas e a orientação na resolução de exercícios.

Quanto à utilização do Modellus, destacam-se, na Seção 2.2, diversos aspectos desse *software* de modelagem computacional que o tornam muito bem aceito, tanto entre estudantes quanto entre pesquisadores, uma vez que possibilita ampliar a atmosfera de interesse nos conteúdos tratados em aula.

De fato, como se pode constatar na Tabela 5.8, as respostas dos alunos referentes à questão de número 4 “O conteúdo trabalhado não despertou o meu interesse”, indicaram que em ambas as turmas, obtiveram-se mais de 70% de respostas negativas, ou seja, os entrevistados se mostraram bastante interessados com as aulas.

Tabela 5.8 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 4 do relatório referente à segunda sequência de atividades.

Opinião	Turma A		Turma B	
	Frequência	%	Frequência	%
Concordo plenamente	0	0,0	0	0,0
Concordo	0	0,0	0	0,0
Não opino	3	25,0	2	20,0
Discordo	5	41,7	5	50,0
Discordo totalmente	4	33,3	3	30,0
Total	12	100,0	10	100,0

Mas para que os alunos se sentissem motivados com a realização das atividades de modelagem computacional, foi fundamental a condução das tarefas pelo professor, que esteve atento às dificuldades que se instalaram entre os estudantes, uma vez que a utilização do Modellus não é tarefa trivial. Essas dificuldades envolveram principalmente dois fatores: a correta utilização dos recursos do *software* e a representação das equações no ambiente. Com o objetivo de minimizar essas dificuldades, foi oferecido um minicurso para os alunos, com duração de quatro horas, que ocorreu no período extraclasse para não prejudicar o cumprimento do programa da disciplina. De forma que, posteriormente, quando os alunos foram questionados (na questão de número 6) sobre se recomendavam ou não essa atividade computacional para as aulas dos próximos períodos, houve unanimidade de respostas positivas (Tabela 5.9), o que demonstra ter havido uma boa aceitação quanto às estratégias motivacionais utilizadas nessa sequência de atividades.

Tabela 5.9 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 6 do relatório referente à segunda sequência de atividades.

Opinião	Turma A		Turma B	
	Frequência	%	Frequência	%

Concordo plenamente	4	33,3	3	30,0
Concordo	8	66,7	7	70,0
Não opino	0	0,0	0	0,0
Discordo	0	0,0	0	0,0
Discordo totalmente	0	0,0	0	0,0
Total	12	100,0	10	100,0

b) **Etapa de estabelecimento da BOA:** essa segunda sequência de atividades se enquadra no modelo de Unidade do tipo II, segundo a classificação proposta por Zabala (1998). Já a partir dos modelos de BOA mencionados na Seção 3.2.3, pode-se afirmar que essa sequência de atividades insere-se no modelo de BOA do tipo II, pois as ações orientam-se para um objetivo particular (que é o cálculo de trabalho isotérmico expansivo), possui alto grau de detalhamento (plenitude completa) e o seu modo de obtenção é elaborado, ou seja, as diretrizes de trabalho são fornecidas pelo professor.

Na estruturação dessas atividades, foram valorizados principalmente os conteúdos conceituais e procedimentais. Os conteúdos conceituais foram enfatizados na primeira parte da sequência (parte teórica), e os conteúdos procedimentais foram predominantes na segunda parte (experimento de modelagem computacional). A descrição da segunda sequência de atividades - Cálculo de trabalho expansivo isotérmico para sistemas envolvendo gases ideais e reais - pode ser conferida na Figura 5.7 abaixo.

## licenciaturaemquimica2011: lista de atividades



### Sequência de Atividades 2: Trabalho expansivo reversível e irreversível

#### • PARTE 1 - TEÓRICA

- Responder, com base nos seus conhecimentos adquiridos em aula, às seguintes perguntas:
  1. O que é o trabalho expansivo e como ele pode ser calculado?
  2. Qual a quantidade máxima de trabalho expansivo isotérmico ( $T = 298\text{K}$ ) que podemos obter quando um mol de um gás ideal passa de um estado inicial em que  $P=10\text{atm}$  e  $V=1$  litro para um estado final em que  $P=1$  atm e  $V=10$  litros, caso a transformação ocorra:
    - (a) em uma etapa contra pressão externa constante igual a 1 atm?
    - (b) em duas etapas?
    - (c) em "n" etapas infinitesimais, nas quais a pressão externa é sempre ligeiramente menor do que a pressão do gás? Nesse caso, temos o que se pode chamar de uma expansão isotérmica reversível, na qual a pressão varia infinitesimalmente com o volume na expansão. (R:  $w = -56,18 \text{ atm.L}$ )
  3. Como ficariam os cálculos efetuados no item "c" anterior, caso o gás apresentasse o comportamento descrito pela equação de van der Waals, com  $a = 1,408 \text{ L}^2.\text{atm.mol}^{-2}$  e  $b = 0,0391 \text{ L.mol}^{-1}$ , ao invés de apresentar um comportamento ideal. (R:  $w = -55,88 \text{ atm.L}$ )

Lembre-se que:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} \left( \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2} \right) dV = RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V-b} - a \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V^2}$$

de donde el trabajo  $W$  toma la forma:

$$W = RT \ln(V_2 - b) \Big|_{V_1}^{V_2} - a \left( -\frac{1}{V} \right) \Big|_{V_1}^{V_2} = RT \ln \frac{V_2 - b}{V_1 - b} + \frac{a}{V_2} - \frac{a}{V_1}$$

#### • PARTE 2 - MODELAGEM COMPUTACIONAL

- Desenvolver a modelagem computacional para os sistemas envolvendo trabalho expansivo de gases ideais e reais, com base no roteiro que pode ser acessado [aquí](#);
- Após o término dessa atividade, cada grupo precisará desenvolver um documento no qual sejam discutidas as ideias teóricas propostas anteriormente, e as constantes no roteiro de atividades (item "interpretação do modelo e análise dos dados");
- O DOCUMENTO GERADO E O RELATÓRIO DE ATIVIDADES DEVERÃO SER FINALIZADOS EM 25/05/11. O PRIMEIRO FICARÁ NO AMBIENTE JUNTO COM A MODELAGEM COMPUTACIONAL E O SEGUNDO PRECISARÁ SER ENTREGUE SOB A FORMA IMPRESSA.

Figura 5.7 – Descrição da segunda sequência de atividades (modelagem computacional para trabalho expansivo isotérmico de gases ideais e reais) - turma B.

Nessa segunda sequência, assim como ocorrera na primeira (Seção 5.2.1), o que diferenciou as abordagens realizadas nas duas turmas (turma A e turma B), foi a articulação, nessa segunda turma, das atividades de pesquisa concomitantemente com a realização da modelagem computacional e também a resolução de exercícios com o *software* Modellus. Na primeira turma, as atividades concentraram-se em dois dias de aula (com 1h40m em cada dia), com interstício de 6 dias entre as mesmas. Já na segunda turma, as atividades se estenderam por 6 dias de aula presenciais de mesma duração, sem falar nas discussões extraclasse, realizadas por meio do ambiente PBworks.

Assim sendo, quando se analisam as respostas dos alunos à questão de número 1: “A experiência didática baseada no uso dos recursos computacionais foi útil para que eu compreendesse melhor os fenômeno(s) e conceito(s) físico-químico(s) estudado(s)” (Tabela

5.10), constata-se que, na turma A, 83,4% dos alunos concordaram com a afirmação, enquanto que na turma B, esse número chegou a 100,0%. Ou seja, a julgar pelo alto índice de aprovação das respostas obtidas, pode-se afirmar que a estruturação e desenvolvimento da referida sequência de atividades proporcionou uma melhora na compreensão dos conceitos trabalhados em aula. Tal observação ficou mais evidente na turma B, indicando que a articulação das diversas atividades de pesquisa e exercitação com a atividade de modelagem computacional, pode contribuir ainda mais para o aperfeiçoamento dessa abordagem. Esse ponto de vista é reforçado pelas declarações de dois estudantes da turma B: “... *consegui visualizar no Modellus o que estava sendo estudado*” - estudante Lu; “*os gráficos ajudaram na compreensão da matéria*” - estudante Th.

A respeito dos aspectos positivos dessa abordagem, na opinião dos estudantes da turma B, pode-se citar ainda: “*rápida utilização e interpretação gráfica, fácil visualização e possibilidade de abordagem interdisciplinar*” - estudante Da; “*melhor compreensão do conteúdo, visualizando melhor os fenômenos*” - estudantes J, K, Ma e Th; “*possibilidade de visualizar, no gráfico, a influência de uma variável em outra no gráfico*” - estudantes Lu e P. Quanto aos aspectos negativos, predominou a seguinte resposta: “*houve pouco tempo para se desenvolver as atividades*” - estudantes D, J, K, La, Li, Ma, Pr e Th.

Tabela 5.10 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 1 do relatório referente à segunda sequência de atividades.

Opinião	Turma A		Turma B	
	Frequência	%	Frequência	%
Concordo plenamente	3	25,0	2	20,0
Concordo	7	58,4	8	80,0
Não opino	1	8,3	0	0,0
Discordo	1	8,3	0	0,0
Discordo totalmente	0	0,0	0	0,0
Total	12	100,0	10	100,0

Analisando-se as respostas dos alunos à questão de número 2: “O método de ensino foi adequado para a abordagem do conteúdo estudado” (Tabela 5.11), pode-se observar que, tanto na turma A como na turma B, as respostas positivas prevaleceram, totalizando 100,0% dos casos na turma A e 90,0% dos casos na turma B.

Tabela 5.11 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 2 do relatório referente à segunda sequência de atividades.

<b>Opinião</b>	<b>Turma A</b>		<b>Turma B</b>	
	<b>Frequência</b>	<b>%</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>
Concordo plenamente	3	25,0	1	10,0
Concordo	9	75,0	8	80,0
Não opino	0	0,0	1	10,0
Discordo	0	0,0	0	0,0
Discordo totalmente	0	0,0	0	0,0
Total	12	100,0	10	100,0

Considerando-se as respostas à questão de número 3: “A condução das tarefas da atividade computacional fora descrita de modo claro pelo professor” (Tabela 5.12), pode-se concluir que na turma B, com exceção do estudante La, que preferiu novamente não opinar, todos foram unânimes em se considerar satisfeitos com o nível de detalhamento das atividades.

Tabela 5.12 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 3 do relatório referente à segunda sequência de atividades.

<b>Opinião</b>	<b>Turma A</b>		<b>Turma B</b>	
	<b>Frequência</b>	<b>%</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>
Concordo plenamente	5	41,7	1	10,0
Concordo	7	58,3	8	80,0

Não opino	0	0,0	1	10,0
Discordo	0	0,0	0	0,0
Discordo totalmente	0	0,0	0	0,0
Total	12	100,0	10	100,0

A respeito das dificuldades observadas durante a realização das tarefas computacionais (questão de número 5), pode-se verificar na Tabela 5.13 que 66,7% dos entrevistados da turma A acenaram positivamente, enquanto que na turma B, esse percentual foi consideravelmente menor, com 50,0% das respostas positivas. Essa menor dificuldade na condução das tarefas pelos estudantes da turma B deve-se provavelmente a dois fatores: a) realização prévia do minicurso sobre as funcionalidades do Modellus; b) a articulação e acompanhamento pelo docente, no ambiente PBworks, das tarefas realizadas pelos estudantes.

Tabela 5.13 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 5 do relatório referente à segunda sequência de atividades.

Opinião	Turma A		Turma B	
	Frequência	%	Frequência	%
Concordo plenamente	1	8,3	1	10,0
Concordo	7	58,4	4	40,0
Não opino	1	8,3	0	0,0
Discordo	3	25,0	5	50,0
Discordo totalmente	0	0,0	0	0,0
Total	12	100,0	10	100,0

Uma das dificuldades enfrentadas pelos estudantes da turma A durante a realização da modelagem computacional com o *software* Modellus ocorreu em função do travamento do programa. Já na turma B, foi usada uma versão mais nova do *software*, a versão 4.01, de maneira que esse problema foi sanado. Outro problema diz respeito ao desconhecimento e a



falta de habilidade apresentada por muitos estudantes no uso dessa ferramenta, o que exigiu muito tempo de explicação e treino. Os comentários dos estudantes da primeira turma à questão de número 5 ilustram bem esse ponto de vista: “*tive dificuldade na primeira aula, mas na segunda ficou mais claro*” - estudante A; “*no início sim, (tive dificuldade) mas com o auxílio do professor ficou mais fácil*” - estudante Th; “*tive (dificuldade) porque o programa travou várias vezes durante a atividade, fazendo com que eu recomeçasse*” - estudante J; “*tive dificuldade na representação e interpretação das equações*” - estudante L; “*houve pouco tempo para manusear o programa*” - estudante Ml; “*no início, foi difícil trabalhar sozinho, mas com a ajuda do professor e o material de consulta, se tornou fácil... seria difícil construir o gráfico sozinho*” - estudante To.

c) **Etapa da formação no plano material:** o Modellus, enquanto ferramenta cognitiva com função mediadora no processo de ensino-aprendizagem, pode funcionar tanto como um instrumento quanto como um signo. Ao permitir que sejam modelados e simulados diversos fenômenos e situações, fica caracterizada sua função de instrumento; e se trata também de um signo porque, ao se fazer esse processo anterior, os próprios objetos são capazes de provocar mudanças nos indivíduos, alterando seu comportamento em um processo conhecido como internalização.

Propondo a realização de uma ação materializada, nesse caso a modelagem do comportamento de sistemas gasosos, optou-se em ambas as turmas, pela sistematização das ações dos estudantes por meio de um roteiro de atividades (Apêndice G). Esse roteiro, que foi desenvolvido pelo professor/ pesquisador, contemplou todas as orientações necessárias para o estudo desenvolvido, em termos de análise das transformações nos sistemas, relações de dependência entre variáveis, dentre outros aspectos. Nesse processo, a maior vantagem em se utilizar o Modellus residiu no fato de se poder contar com várias possibilidades de representação, como equações, gráficos, tabelas e figuras.

d) **Etapa da formação no plano da linguagem externa:** Essa etapa foi mais explorada nas atividades da turma B, tendo em vista que a proposta de resolução dos exercícios em grupos e também a criação do documento colaborativo permitiram que os estudantes expusessem melhor seus pontos de vista durante a resolução das tarefas propostas. Já na turma A, as interações se limitaram aos momentos de aula, de modo que tanto as ideias como as dificuldades dos alunos foram pouco valorizadas, em função do curto tempo de

duração das atividades de modelagem, se comparado com a turma B.

e) **Etapa da ação no plano mental:** durante as atividades de modelagem computacional, a passagem das representações materializadas (no Modellus) para as representações mentais, consiste em uma mudança qualitativamente significativa na forma de pensamento do aluno. Isso porque ele passa a operar conscientemente com os signos (que podem ser equações, gráficos ou conceitos) sem precisar necessariamente observar a representação física do processo ou transformação de interesse. Ou seja, as ações passam a ser essencialmente representações mentais, que extrapolam a realidade externa e observável, para permitir tanto a manipulação mental dos parâmetros como a análise multifacetada dos processos envolvidos.

### **5.2.3 Terceira Sequência de Atividades - A Termodinâmica e o desenvolvimento das máquinas térmicas**

a) Etapa motivacional: Na turma B, a sequência de atividades teve início a partir de uma série de questões propostas a respeito da origem e funcionamento das máquinas térmicas, que foram respondidas individualmente. Nesse momento, pôde-se perceber que a falta de conhecimentos mais aprofundados a respeito do tema levou muitos estudantes a demonstrarem um sentimento de indiferença e falta de motivação no que diz respeito à tarefa proposta. Mas à medida que a pesquisa passou a ser realizada colaborativamente em grupos, alguns alunos mais interessados deram início às discussões no ambiente PBworks, contagiando os demais, principalmente porque havia uma cobrança interna, entre os próprios membros dos grupos.

Ou seja, a própria atividade colaborativa no ambiente computacional parece ter contribuído para a etapa motivacional, da mesma forma que a abordagem do tipo contextualizada, na qual o conhecimento das leis e conceitos da Termodinâmica esteve associado a alguns temas mais comuns e de interesse geral, tais como: máquinas a vapor, motores de combustão interna, geladeiras e refrigeradores. Para o estudante Th, esse último aspecto foi fundamental, pois “... *se estudou com coisas presentes no nosso cotidiano...*”.

Diferentemente da forma de abordagem empregada na turma B, a qual envolveu atividades de pesquisa, exercitação e simulação, combinadas no ambiente PBworks, a estratégia utilizada na turma A baseou-se exclusivamente no uso de animações interativas.

Nos dois casos, os objetos de aprendizagem<sup>25</sup> que abordavam as transformações termodinâmicas foram os mesmos, extraídos de <<http://www.fisica.ufpb.br/~romero/objetosaprendizagem/Rived/>>. A vantagem em se utilizar o PBworks, no segundo caso, residiu na possibilidade de articulação e acompanhamento das atividades computacionais em paralelo com outras atividades, mesmo fora do ambiente de sala de aula, como a pesquisa, a indicação de leituras correlatas e a orientação na resolução de exercícios.

Como se pode observar na Tabela 5.14, referente às respostas dos alunos à questão de número 4, a totalidade dos alunos da turma A e 90,0% dos alunos da turma B discordaram da seguinte afirmação: “O conteúdo trabalhado não despertou o meu interesse”.

Tabela 5.14 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 4 do relatório referente à terceira sequência de atividades.

<b>Opinião</b>	<b>Turma A</b>		<b>Turma B</b>	
	<b>Frequência</b>	<b>%</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>
Concordo plenamente	0	0,0	0	0,0
Concordo	0	0,0	1	10,0
Não opino	0	0,0	0	0,0
Discordo	6	50,0	5	50,0
Discordo totalmente	6	50,0	4	40,0
Total	12	100,0	10	100,0

Na turma A, pode-se afirmar que todos os alunos que na questão de número 4 confessaram estar interessados nas atividades computacionais, também optaram na questão de número 6 (Tabela 5.15), por “Recomendar a utilização dessas atividades nas aulas presenciais do próximo período letivo”. Analisando-se as respostas dos estudantes para essas duas questões, conclui-se que a exploração dos objetos de aprendizagens, concomitantemente com as aulas teóricas, configura-se em uma estratégia interessante e porque não dizer estimulante -

<sup>25</sup> A captura de tela dos referidos objetos de aprendizagem podem ser conferidos na Figura 4.4, localizados na Seção 4.1.2.

portanto recomendada nesse contexto de investigação.

Tabela 5.15 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 6 do relatório referente à terceira sequência de atividades.

Opinião	Turma A		Turma B	
	Frequência	%	Frequência	%
Concordo plenamente	10	83,3	3	30,0
Concordo	2	16,7	7	70,0
Não opino	0	0,0	0	0,0
Discordo	0	0,0	0	0,0
Discordo totalmente	0	0,0	0	0,0
Total	12	100,0	10	100,0

b) **Etapa de estabelecimento da BOA:** essa terceira sequência, classificada por Zabala (1998) como unidade do tipo IV, enquadra-se no modelo de BOA do tipo IV (NUÑES, 2009), pois além de orientar-se a um objetivo geral (estudo de conceitos como calor, trabalho, entropia), possui alto grau de detalhamento (plenitude completa) e o seu modo de obtenção é elaborado, ou seja, as diretrizes são completamente fornecidas pelo professor. Sua estruturação, ilustrada na Figura 5.8, permite-nos explorar principalmente os conteúdos conceituais e atitudinais, uma vez que as pesquisas e discussões em grupos, bastante valorizadas durante a realização das atividades, englobam uma série de princípios como normas, atitude e valores individuais.

## licenciaturaemquimica2011: lista de atividades



### Sequência de Atividades 3: Termodinâmica e o desenvolvimento das máquinas térmicas

#### ● PARTE 1 - TEÓRICA

- Responder, com base nos conhecimentos adquiridos durante as aulas de termodinâmica, às seguintes perguntas:
  1. O que são máquinas térmicas e como funcionam? Dê exemplos
  2. Como surgiram as máquinas térmicas?
  3. Pode uma máquina térmica funcionar somente extraindo calor de uma fonte quente, sem liberar calor para o reservatório frio? Explique
  4. Pode uma máquina térmica apresentar rendimento maior do que 100%? Explique?

#### ● PARTE 2 - PESQUISA NA WEB

- Realizar (em grupos) uma pesquisa para responder aos questionamentos propostos, organizando suas ideias em uma página do ambiente PBworks (PROCURE ILUSTRAR COM FIGURAS, ANIMAÇÕES, LINKS EXTERNOS, ETC.);
- Baseie-se na leitura dos artigos: [Carnot e a Primeira Lei.pdf](#) , [Carnot e a segunda Lei.pdf](#) e [facilitando\\_segLei.pdf](#)

#### ● PARTE 3 - SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL COM OBJETOS DE APRENDIZAGEM

- Explorar os objetos de aprendizagem distribuídos pelo professor, de forma a aplicar seus conhecimentos adquiridos nos seguintes assuntos:
  - Máquinas a vapor - **GRUPO 1** ( )
  - Motores de combustão interna (Ciclo de Carnot) - **GRUPO 2** ( )
  - Motores de combustão interna (Ciclo de Otto) - **GRUPO 3** ( )
  - Geladeiras e refrigeradores (ciclo de refrigeração) - **GRUPO 4** ( )
- Ao final, cada grupo deverá apresentar uma aula (30') voltada à aplicação dos conhecimentos de termodinâmica no estudo do seu objeto de aprendizagem. Na mesma data da apresentação do seminário, cada grupo deverá trazer as respostas das questões contidas na "avaliação" entregues pelo professor e discuti-las em sala.
- Utilize os arquivos intitulados "gula" e "saiba mais" como leitura de referência e explorem as simulações.

Figura 5.8 – Descrição da terceira sequência de atividades (A Termodinâmica e o desenvolvimento das máquinas térmicas) - turma B.

Da mesma forma que ocorrera na sequência anterior, a abordagem na turma B diferenciou-se daquela tratada na turma A em função da articulação entre a atividade computacional e as atividades de pesquisa, escrita colaborativa e apresentação de seminário. Portanto, tendo em vista a maior complexidade dessa segunda abordagem, foi necessário que se reservasse, nesse caso, um tempo maior para as atividades - algo em torno de 6 aulas presenciais, sem contar com o tempo para as discussões extra classe.

Analisando-se os dados referentes à questão de número 1: “a experiência didática baseada no uso dos recursos computacionais foi útil para que eu compreendesse melhor os fenômeno(s) e conceito(s) físico-químico(s) estudado(s) (Tabela 5.16), constata-se que 100,0% das respostas dos estudantes foram positivas.

Tabela 5.16 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 1 do relatório referente à terceira sequência de atividades.

Opinião	Turma A		Turma B	
	Frequência	%	Frequência	%
Concordo plenamente	5	41,7	2	20,0
Concordo	7	58,3	8	80,0
Não opino	0	0,0	0	0,0
Discordo	0	0,0	0	0,0
Discordo totalmente	0	0,0	0	0,0
Total	12	100,0	10	100,0

Nesse sentido, algumas observações realizadas pelos alunos da turma A levaram em consideração os seguintes aspectos: *“foi possível uma melhor visualização dos conteúdos propostos”* - estudante L; *“ficou muito mais fácil visualizar as transformações no ciclo (de Carnot), quando se identifica o comportamento das variáveis ao longo do mesmo”* - estudante To. Já na turma B, o estudante Ma ressaltou a importância de se pesquisar sobre o funcionamento das máquinas térmicas no âmbito do estudo das leis da Termodinâmica e o estudante Pr destacou a importância de uma atividade que permitisse a realização de ações primeiramente no plano material (simulação computacional).

Outros pontos positivos destacados pelos estudantes da turma A dizem respeito: ao campo de aplicação da abordagem (*“a animação proporciona uma visão diferenciada do conteúdo, sendo possível trabalhar com qualquer nível de ensino”* - estudante To) e ao fator motivacional (*“a animação despertou meu interesse pelo conteúdo”* - estudante A). A respeito das oportunidades de melhoria, mencionou-se o fato de que o tempo reservado para a atividade tenha sido insuficiente.

Na turma B, um ponto positivo mencionado por muitos alunos tem a ver com a possibilidade de pesquisar sobre o próprio tema de aula: *“a pesquisa para o seminário ajudou a compreender o funcionamento e as transformações que estão envolvidas no ciclo (de Carnot)”* - estudante I; *“... é uma aula diferente que estimula os alunos”* - aluno Ma;

“possibilitou a pesquisa de assunto através de diversos meios como textos, artigos, vídeos, entre outros. Também foi muito importante a contextualização do assunto, mostrando onde e como é empregado na nossa vida” - aluno P; “podemos fazer uma pesquisa mais ampla do que se ficássemos apenas na sala de aula e no livro didático... devido ao ambiente todos os alunos puderam ter acesso ao material dos outros (grupos)” - aluno Th.

Em relação ao método de ensino empregado, as respostas dos alunos à questão de número 2: “O método de ensino foi adequado para a abordagem do conteúdo estudado” apontam para a existência de uma grande satisfação, tanto na turma A como na turma B (Tabela 5.17). Apesar das nuances que tornaram as abordagens diferenciadas em ambas as turmas (os recursos e as estratégias não foram as mesmas), pode-se dizer, com base nas respostas aos relatórios, que as atividades conseguiram atender às expectativas dos alunos.

Tabela 5.17 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 2 do relatório referente à terceira sequência de atividades.

Opinião	Turma A		Turma B	
	Frequência	%	Frequência	%
Concordo plenamente	4	33,3	2	20,0
Concordo	8	66,7	8	80,0
Não opino	0	0,0	0	0,0
Discordo	0	0,0	0	0,0
Discordo totalmente	0	0,0	0	0,0
Total	12	100,0	10	100,0

Esse ponto de vista é reforçado quando se analisam as respostas dos estudantes à questão de número 3: “A condução das tarefas da atividade computacional fora descritas de modo claro pelo professor (Tabela 5.18), pois 100% dos alunos das turmas A e B concordaram com essa afirmação.

Tabela 5.18 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 3 do relatório referente à terceira sequência de atividades.

<b>Opinião</b>	<b>Turma A</b>		<b>Turma B</b>	
	<b>Frequência</b>	<b>%</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>
Concordo plenamente	3	25,0	4	40,0
Concordo	9	75,0	6	60,0
Não opino	0	0,0	0	0,0
Discordo	0	0,0	0	0,0
Discordo totalmente	0	0,0	0	0,0
Total	12	100,0	10	100,0

Apesar da afirmação, em 100% dos casos, de que o método de ensino foi empregado adequadamente e que as tarefas foram descritas de modo claro pelo professor, 30,0% dos estudantes da turma B admitiram ter passado por dificuldades na condução das tarefas computacionais (questão de número 5). Já na turma A, em função da menor complexidade das atividades propostas, nenhum dos alunos concordou com essa afirmação (Tabela 5.19).

Tabela 5.19 – Tabulação das respostas dos alunos à questão de número 5 do relatório referente à terceira sequência de atividades.

<b>Opinião</b>	<b>Turma A</b>		<b>Turma B</b>	
	<b>Frequência</b>	<b>%</b>	<b>Frequência</b>	<b>%</b>
Concordo plenamente	0	0,0	0	0,0
Concordo	0	0,0	3	30,0
Não opino	0	0,0	0	0,0
Discordo	8	66,7	6	60,0
Discordo totalmente	4	33,3	1	10,0



Total	12	100,0	10	100,0
-------	----	-------	----	-------

c) **Etapa da formação no plano material:** a ação materializada, nessa terceira sequência, consistiu basicamente na exploração dos objetos de aprendizagem propostos: 1) ciclo de Carnot, 2) ciclo de Otto, 3) transformações termodinâmicas, 4) geladeiras e refrigeradores. Na turma B, os quatro objetos foram sorteados e entregues aos respectivos grupos somente após a realização das abordagens teóricas feitas pelo professor e da pesquisa colaborativa sobre o tema, no ambiente PBworks. Pretendeu-se, com isso, favorecer a aplicação dos conhecimentos teóricos obtidos nas diversas situações materializadas acerca desses quatro temas de estudo, o que se deu por meio das simulações envolvendo os fenômenos e transformações termodinâmicas.

A sistematização das ações pelos alunos da turma B, também nessa terceira sequência, baseou-se no uso de um roteiro de atividades que pode ser conferido no Apêndice H. Esse roteiro, ao fundamentar-se na ideia de que era preciso que os estudantes visualizassem as transformações e posteriormente refletissem sobre o observado, propõe um modelo pedagógico voltado à internalização dos conhecimentos, a partir de ações externas e tangíveis.

Na turma A, contrariamente à turma B, não foi seguido exatamente um roteiro de atividades: a aula experimental baseou-se somente na exploração dos objetos de aprendizagem pelos grupos de alunos, sem uma proposta de pesquisa que direcionasse suas ações.

d) **Etapa da formação no plano da linguagem externa:** na turma B, essa etapa consistiu nas seguintes atividades: pesquisa, construção de texto colaborativo e apresentação de seminário. Essas duas últimas estratégias visavam principalmente à exposição de ideias e o debate nos grupos de alunos. Já na turma A, as interações foram bem menos estimuladas, restringindo-se aos momentos de exploração dos objetos de aprendizagem em sala de aula.

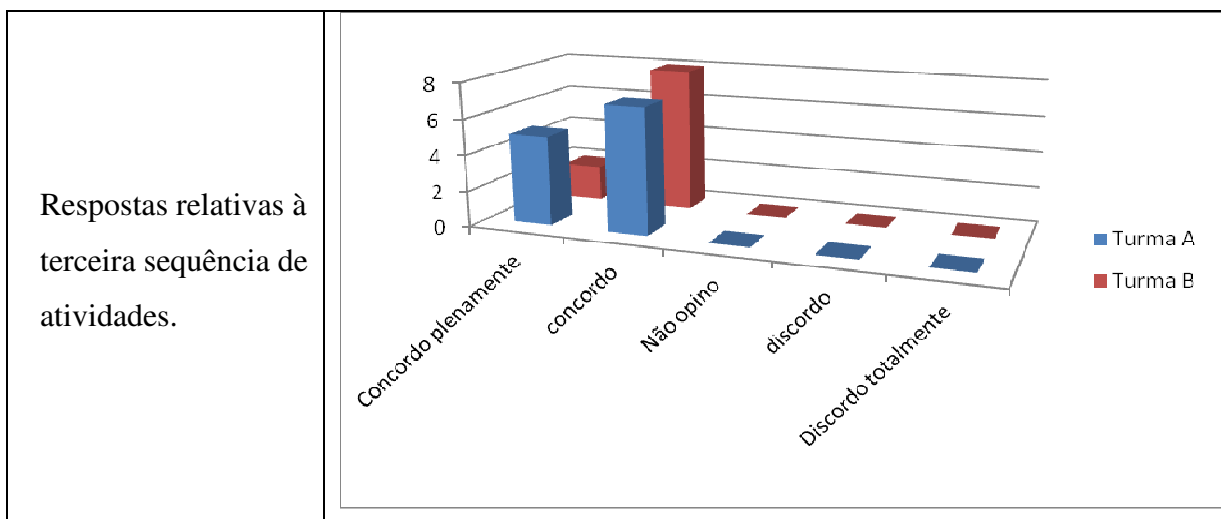
e) **Etapa da ação no plano mental:** a passagem para essa etapa equivale, em linhas gerais, à presença do processo de conceitualização. Ou seja, uma vez que se possa dizer que determinada ação (como por exemplo, a simulação de um processo termodinâmico) é parte integrante da estrutura mental do aluno, supõe-se que ele seja capaz de: interpretar e compreender fenômenos ou situações; refletir acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos; analisar os elementos isolados que constituem os conceitos e compreendê-los fora das conexões reais e concretas dadas.

### 5.3 ANÁLISE COMPARATIVA DAS SEQUÊNCIAS DE ATIVIDADES

Efetuada esse primeiro estudo envolvendo a presença das etapas da assimilação mental de Galperin nas sequências de atividades, convém traçar uma análise comparativa entre as mesmas, a respeito dos aspectos “Utilidade das sequências de atividades” (questão de número 1), “Interesse nas sequências de atividades” (questão de número 4) e “Dificuldade na realização das sequências de atividades” (questão de número 5).

Quadro 5.1 – Análise comparativa das respostas à questão de número 1 do relatório referente às três sequências de atividades

Questão de número 1: A experiência didática baseada no uso dos recursos computacionais foi útil para que eu compreendesse melhor os fenômeno(s) e conceito(s) físico-químico(s) estudado(s).																			
Respostas relativas à primeira sequência de atividades.	<table border="1"> <caption>Dados para o gráfico da primeira sequência de atividades</caption> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>Turma A</th> <th>Turma B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Concordo plenamente</td> <td>7</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>concordo</td> <td>4</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>Não opino</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>discordo</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Discordo totalmente</td> <td>1</td> <td>0</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	Turma A	Turma B	Concordo plenamente	7	2	concordo	4	8	Não opino	0	2	discordo	1	1	Discordo totalmente	1	0
Resposta	Turma A	Turma B																	
Concordo plenamente	7	2																	
concordo	4	8																	
Não opino	0	2																	
discordo	1	1																	
Discordo totalmente	1	0																	
Respostas relativas à segunda sequência de atividades.	<table border="1"> <caption>Dados para o gráfico da segunda sequência de atividades</caption> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>Turma A</th> <th>Turma B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Concordo plenamente</td> <td>3</td> <td>4</td> </tr> <tr> <td>concordo</td> <td>7</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>Não opino</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>discordo</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Discordo totalmente</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	Turma A	Turma B	Concordo plenamente	3	4	concordo	7	9	Não opino	1	1	discordo	1	1	Discordo totalmente	1	1
Resposta	Turma A	Turma B																	
Concordo plenamente	3	4																	
concordo	7	9																	
Não opino	1	1																	
discordo	1	1																	
Discordo totalmente	1	1																	



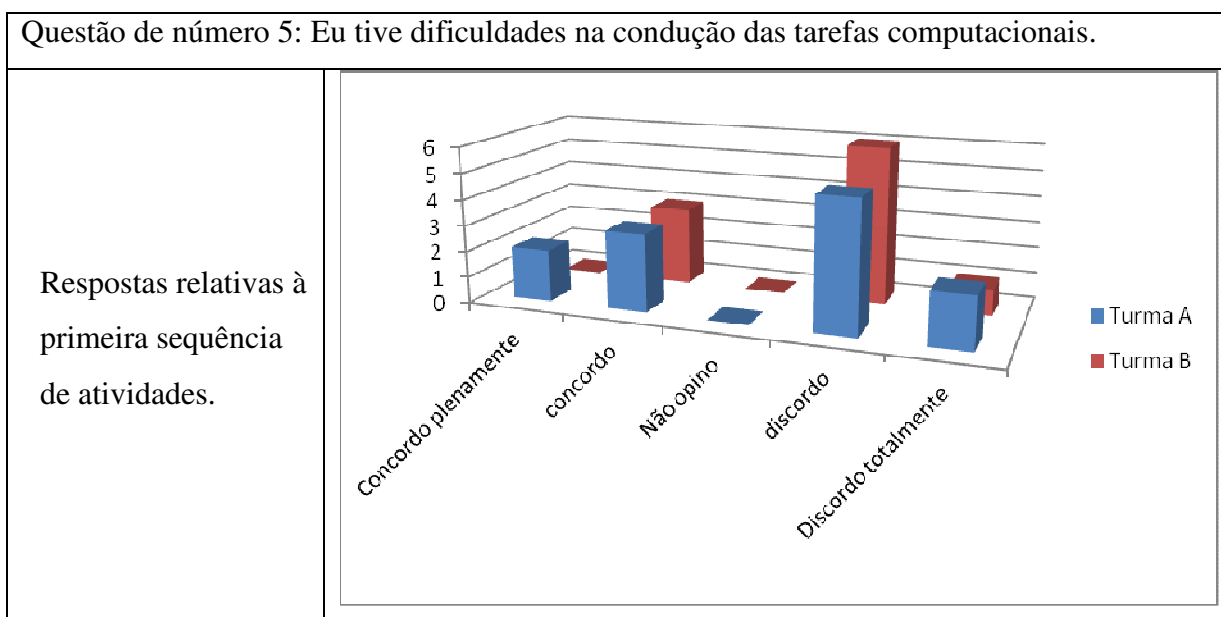
Analisando-se os três gráficos (Quadro 5.1), conclui-se que tanto para a turma A quanto para a turma B, a terceira sequência de atividades foi a mais bem avaliada quanto ao aspecto “Utilidade dos recursos computacionais”. Ou seja, na visão dos estudantes entrevistados, a utilização dos objetos de aprendizagem (terceira sequência) durante as aulas experimentais funcionou como um instrumento facilitador da aprendizagem de leis e conceitos relativos ao funcionamento das máquinas térmicas. Na primeira e na segunda sequências de atividades, diferentemente da terceira, as respostas dos alunos não foram unânimes em considerar a utilidade dos recursos computacionais na compreensão dos respectivos fenômenos e conceitos da Físico-Química. A avaliação da primeira sequência (simulação computacional) foi semelhante nas turmas A e B, com uma resposta contrária à afirmação para cada turma. Já quanto à segunda sequência (modelagem computacional), pode-se dizer que a mesma foi mais bem avaliada pelos estudantes da turma B, pois em 100,0% dos casos, as respostas dos alunos concordaram com a afirmação. Tal opinião se deve ao fato de que, na turma B, as atividades de modelagem computacional foram mais estruturadas.

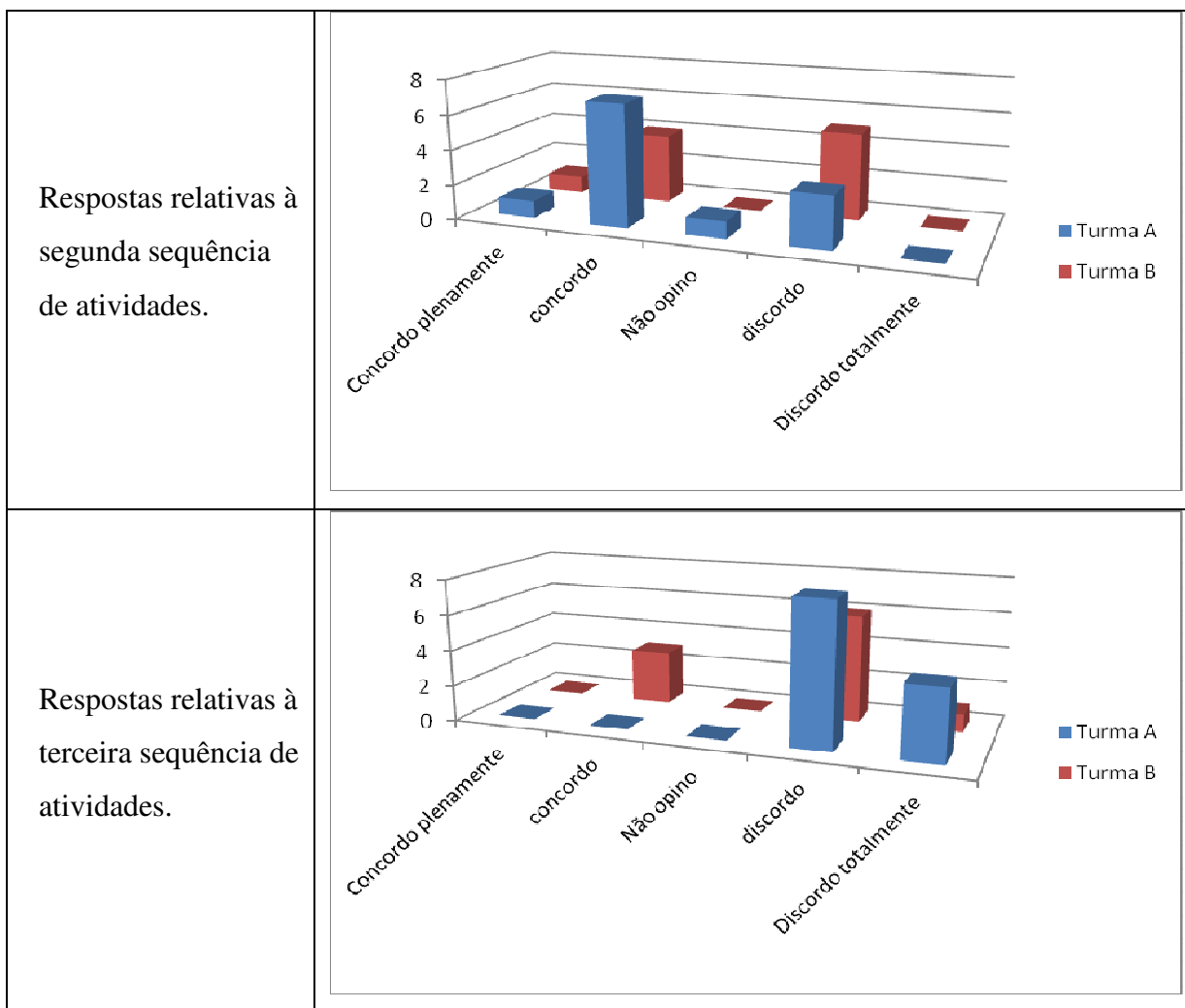
Quadro 5.2 – Análise comparativa das respostas à questão de número 4 do relatório referente às três sequências de atividades.

Questão de número 4: O conteúdo trabalhado não despertou o meu interesse.																			
<p>Respostas relativas à primeira sequência de atividades.</p>	<table border="1"> <caption>Respostas relativas à primeira sequência de atividades</caption> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>Turma A</th> <th>Turma B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Concordo plenamente</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>concordo</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Não opino</td> <td>1</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>discordo</td> <td>8</td> <td>3</td> </tr> <tr> <td>Discordo totalmente</td> <td>1</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	Turma A	Turma B	Concordo plenamente	0	0	concordo	1	2	Não opino	1	2	discordo	8	3	Discordo totalmente	1	4
Resposta	Turma A	Turma B																	
Concordo plenamente	0	0																	
concordo	1	2																	
Não opino	1	2																	
discordo	8	3																	
Discordo totalmente	1	4																	
<p>Respostas relativas à segunda sequência de atividades.</p>	<table border="1"> <caption>Respostas relativas à segunda sequência de atividades</caption> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>Turma A</th> <th>Turma B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Concordo plenamente</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>concordo</td> <td>0</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Não opino</td> <td>3</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>discordo</td> <td>4</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Discordo totalmente</td> <td>3</td> <td>5</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	Turma A	Turma B	Concordo plenamente	0	0	concordo	0	1	Não opino	3	1	discordo	4	2	Discordo totalmente	3	5
Resposta	Turma A	Turma B																	
Concordo plenamente	0	0																	
concordo	0	1																	
Não opino	3	1																	
discordo	4	2																	
Discordo totalmente	3	5																	
<p>Respostas relativas à terceira sequência de atividades.</p>	<table border="1"> <caption>Respostas relativas à terceira sequência de atividades</caption> <thead> <tr> <th>Resposta</th> <th>Turma A</th> <th>Turma B</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Concordo plenamente</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>concordo</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Não opino</td> <td>0</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>discordo</td> <td>5</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Discordo totalmente</td> <td>5</td> <td>4</td> </tr> </tbody> </table>	Resposta	Turma A	Turma B	Concordo plenamente	0	0	concordo	1	1	Não opino	0	2	discordo	5	1	Discordo totalmente	5	4
Resposta	Turma A	Turma B																	
Concordo plenamente	0	0																	
concordo	1	1																	
Não opino	0	2																	
discordo	5	1																	
Discordo totalmente	5	4																	

Com relação ao assunto “Interesse pelas atividades computacionais”, os dados apresentados nos gráficos constantes no Quadro 5.2 também indicam que a terceira sequência foi a mais bem avaliada pelas duas turmas. Nessa sequência, só houve um estudante da turma B que concordou com tal afirmativa (estudante La, conforme mencionado na Seção 5.2.1), sendo que ele declarou estar desinteressado pelas atividades computacionais de modo geral, por uma questão de falta de afinidade. Com relação à primeira e à segunda sequências, alguns alunos preferiram não opinar, mas de fato, a impressão que se teve durante as aulas, foi que os estudantes da turma A mostraram-se mais interessados pelas atividades do que os da turma B. Já as respostas que indicam o interesse pelas atividades de modelagem computacional (segunda sequência) ficaram bem distribuídas nas duas turmas, sugerindo que a estratégia utilizada na turma B, ou seja, de reunir diferentes tarefas na mesma sequência, se comparada com a estratégia anterior (turma A), não pareceu contribuir de forma significativa para aumentar o interesse pelas atividades propostas. As explicações possíveis podem estar, por um lado, na falta de envolvimento notada na segunda turma, e por outro, nas dificuldades intrínsecas a esse tipo de atividade computacional, o que, de certa forma, pode ter contribuído para esse aparente desinteresse.

Quadro 5.3 – Análise comparativa das respostas à questão de número 5 do relatório referente às três sequências de atividades.





As maiores dificuldades enfrentadas pelos estudantes de ambas as turmas, com relação às atividades propostas, ocorreram durante a realização da modelagem computacional (segunda sequência). Cabe destacar que os problemas observados durante essas atividades não ocorreram em função da dificuldade em se operar com o *software*. De fato, na maioria das vezes, o problema esteve relacionado a questões muito mais profundas e difíceis de sanar, envolvendo a falta de habilidade na representação de equações, operação com conceitos (sobretudo aqueles que envolvem muito formalismo matemático), interpretação de gráficos, relacionamento de parâmetros e análise de resultados. Já a respeito da primeira sequência, observa-se que alguns estudantes afirmaram ter sentido dificuldades, embora elas estivessem mais relacionadas com o acesso à internet do que com a atividade em si. Já na terceira sequência, apenas três alunos disseram ter apresentado dificuldades na realização das tarefas computacionais, o que leva a constatar mais uma vantagem em se trabalhar com os objetos de aprendizagem, qual seja a facilidade de uso desse tipo de recurso.

## 5.4 REFLEXÕES INICIAIS

Com base na análise anterior, é possível perceber que as diferentes estratégias didáticas utilizadas nesse trabalho repercutiram positivamente em alguns casos, mas também serviram para apontar falhas e oportunidades de melhoria. Nesse sentido, os pressupostos da Teoria da Assimilação por Etapas de Galperin, quando observados a partir das ideias defendidas por Nuñez (2009), permitem fazer uma análise mais criteriosa dos dados, a fim de que sejam observados diversos aspectos didático-pedagógicos envolvendo as atividades voltadas ao estudo de conceitos químicos mediadas por recursos computacionais.

Em primeiro lugar, destaca-se que a fase de estruturação e planejamento das sequências de atividades é tão importante quanto às fases de acompanhamento e avaliação. Portanto, a respeito dessa primeira etapa, é preciso chamar a atenção para o fato de que a incorporação dos recursos computacionais nas aulas regulares, de modo não estanque, exige tempo e dedicação por parte da(s) pessoa(s) envolvida(s). Além disso, o sucesso de uma abordagem que está sendo utilizada hoje não significa que ela possa ser reproduzida com êxito em qualquer época e situação, pois cada turma possui as suas especificidades, demandando recursos pessoais, materiais e temporais diferenciados.

Mesmo planejando as atividades computacionais com certa antecedência, convém contar com a possibilidade de imprevistos. Sendo assim, deve-se ter em mente que a realização das atividades computacionais precisa estar atrelada a uma estrutura mínima que contemple a existência de: a) recursos materiais disponíveis: como sala(s) de aula preparada(s) e equipada(s) para a realização das atividades computacionais; b) recursos humanos: suporte técnico para problemas de hardware e *software*, bem como apoio específico às atividades, o que pode ser tarefa de um bolsista ou de monitor, responsável por auxiliar o docente; c) flexibilidade de horário para a realização das atividades: pois cada aluno possui as suas necessidades e também o seu ritmo de trabalho, fato que precisa ser levado em consideração, sob o risco de que alguns alunos se sintam desmotivados ou excluídos perante as aulas informatizadas.

Garantidas essas condições, o próximo passo consiste em se concentrar na etapa motivacional, ou seja, na preparação e estimulação dos alunos. Inicialmente, é preciso esclarecê-los a respeito dos objetivos que se deseja alcançar com as atividades, para que os discentes consigam perceber alguma utilidade que diferencie a abordagem proposta da abordagem convencional. Também é importante que se estimule o engajamento dos estudantes nas tarefas, o que pode ser conseguido por meio do acompanhamento presencial e

da atribuição de pontos às atividades realizadas e entregues. Além disso, as estratégias motivacionais precisam ser constantemente valorizadas ao longo das sequências de atividades, sob o risco de que os alunos se comportem de forma desinteressada e indiferente. Nesse sentido, o papel do professor deve envolver a realização de comentários regulares sobre o andamento das atividades dos alunos e fornecer *feedback* imediato, toda vez que solicitado.

Mais especificamente quanto aos tipos de abordagem preferidos pelos alunos, destacam-se aqueles que privilegiam as interações pessoais e as experiências relacionadas ao cotidiano, vinculando teoria e prática, como por exemplo, as oficinas, as pesquisas ação e também a proposição de situações problema. Em todos esses casos, pode-se conseguir estimular as discussões e trocas de experiências entre os estudantes por meio da realização de atividades em grupos, como forma de potencializar aspectos como análise crítica e reflexiva, entrosamento, confiança e capacidade de negociação.

Nos casos em que não se dispõe de muito tempo em sala de aula para a realização das atividades computacionais, pode-se lançar mão de um ambiente colaborativo, do tipo *wiki*, para organização e acompanhamento das tarefas propostas. Uma das vantagens em se trabalhar com esse tipo de ambiente diz respeito à possibilidade de valorização do trabalho de autoria, o qual permite que os alunos possam criar seus próprios conteúdos de forma ativa e colaborativa.

Outro fator importante para o sucesso das atividades consiste em se garantir o manuseio adequado dos diferentes tipos de *software* pelos estudantes. A não ser que haja uma carga horária suficiente que contemple um curso essencialmente prático, torna-se necessário o oferecimento de minicursos fora do horário regular das aulas, com o intuito de nivelar as condições de trabalho nos ambientes computacionais.

Ainda que se tenha ressaltado, por diversas vezes, a importância atribuída ao uso dos recursos computacionais no ensino formal, é preciso enfatizar que o sucesso desse tipo de abordagem depende, em grande parte, da qualidade da sua execução. Nesse sentido, o objetivo da base orientadora da ação (BOA) é estabelecer as condições teóricas e práticas necessárias ao bom andamento das atividades, no que diz respeito à sua orientação, execução e controle. De outro modo, a escassez de tempo para a realização das atividades e também as dificuldades tanto no acesso como no manuseio dos *softwares*, podem comprometer todo o processo de aproveitamento dos recursos didáticos.

Ao se adotar como estratégia da pesquisa a incorporação de diferentes recursos computacionais - como simulação, modelagem e objetos de aprendizagem - em um mesmo



ambiente *wiki*, optou-se por estruturar as sequências de atividades com base em dois tipos de BOA: tipo II (na segunda sequência) e tipo IV (na primeira e na terceira sequência). A diferença entre essas duas estratégias reside basicamente no aspecto de generalidade: enquanto a BOA do tipo IV trata-se de uma orientação teórica que busca a generalização dos conteúdos trabalhados em aula, com possibilidade de transferência dos conhecimentos para outras situações mais novas, a BOA do tipo II só é aplicável a uns poucos casos particulares - como ocorreu no nesse caso, em que foi explorado o cálculo de trabalho expansivo isotérmico dos tipos reversível e irreversível.

A opção por um ou outro tipo de BOA deve-se principalmente às características presentes nas atividades desenvolvidas. No caso dessa investigação, tanto a primeira quanto a terceira sequência envolveram, em linhas gerais, a pesquisa sobre determinados conceitos da Termodinâmica, como calor, trabalho e entropia. Portanto, suas estruturas possibilitam que sejam aplicadas em diversas situações semelhantes, com foco no processo de conceitualização. Já a segunda sequência, mais restritiva, é aplicável em poucas situações específicas envolvendo o cálculo de trabalho expansivo.

As três sequências compartilham em comum o fato de que, em maior ou menor grau, os recursos computacionais foram utilizados para materializar as ações relacionadas ao estudo dos conceitos propostos, uma vez que muitos estudantes mostraram-se incapazes de acessar as diversas situações diretamente no plano mental. Nesses casos, a manipulação dos objetos e fenômenos representativos da realidade serviu para facilitar a transição do plano externo e observável para o plano interno e mental. Esse processo de interiorização, no entanto, pressupõe o domínio de determinados conhecimentos e habilidades pelos alunos, pois na sua falta, corre-se o risco de conduzi-los a uma mera automatização das suas ações.

No plano da linguagem externa, cabe destacar a importância das atividades de pesquisa com escrita colaborativa e apresentação de seminários. Como a comunicação entre professor e alunos nem sempre se processa com facilidade, em função de uma resistência natural e até certo grau compreensível por parte dos estudantes, optou-se por lançar mão dessas estratégias para estimulá-los a refletir e debater sobre os assuntos tratados em aula. Além disso, as atividades realizadas em grupos apresentaram a vantagem de permitir uma melhor interação entre os alunos, com trocas de experiências e negociações de significados linguísticos (signos). Dessa forma, pôde-se perceber que à medida que os grupos foram avançando nas discussões e amadurecendo suas ideias, um tipo de pensamento mais estruturado e complexo, característico da linguagem científica, tomou forma. A etapa de

linguagem verbal externa consiste, portanto, em uma via importante para a formação de novas estruturas cognitivas, caracterizadas pela presença de processos abstrativos e representações mentais, as quais possibilitam que os alunos raciocinem a partir do significado dos vários conceitos envolvidos.

Todos esses aspectos convergem para o sentido de orientar as práticas pedagógicas, posto que sejam consequências diretas dos pressupostos das teorias e Vigotski, Davidov, Galperin, e também das ideias defendidas por Nuñez.

## 5.5 FORMAÇÃO DE CONCEITOS NAS SEQUÊNCIAS DE ATIVIDADES MEDIADAS POR RECURSOS COMPUTACIONAIS

Nessa Seção, busca-se levar em consideração as produções dos estudantes, realizadas individualmente ou em grupos, a fim de avaliar a dinâmica do processo de formação de conceitos durante as aulas mediadas por recursos computacionais. Como existiram dois diferentes casos de estudo (turma A e turma B), cada qual com suas particularidades, convém observar no Quadro 5.4 de que forma os instrumentos ou fontes de dados foram distribuídos nos diferentes momentos da presente pesquisa, qual sejam as fases de diagnóstico, o desenvolvimento das atividades computacionais e avaliação da aprendizagem dos referidos conceitos.

Quadro 5.4 – Descrição dos instrumentos ou fontes de dados utilizados nas diferentes fases de estudo do processo de formação de conceitos.

	<b>a) Fase de Diagnóstico</b>	<b>b) Fase de Acompanhamento das Atividades</b>	<b>c) Fase de Avaliação</b>
<b>2010-II (turma A)</b>	Questionário sócio acadêmico  Teste inicial de conhecimentos (objetivo) Mapa conceitual inicial	Atividade de simulação computacional para o equivalente mecânico de calor Atividade de modelagem computacional para o trabalho de expansão Atividade de exploração do objeto de aprendizagem Segunda Lei da Termodinâmica	Mapa conceitual final  Testes finais discursivos (primeira lei e segunda lei da Termodinâmica)
<b>2011-I (turma B)</b>	Questionário sócio acadêmico  Teste inicial de conhecimentos (objetivo)	Sequência de atividades 1: equivalente mecânico de calor  Sequência de atividades 2: modelagem computacional para o trabalho de expansão	Exercício prático sobre trabalho reversível e irreversível.  Teste final discursivo (primeira lei da Termodinâmica)

	Mapa conceitual  Respostas ao questionamento sobre as máquinas térmicas  Registros no ambiente PBworks	Sequência de atividades 3: A Termodinâmica e o desenvolvimento das máquinas térmicas	Hiperdocumentos gerados no ambiente PBworks e Log do ambiente
--	--	--	---

Em um primeiro momento, foram classificadas as ideias iniciais dos estudantes segundo as Zonas de Perfil Conceitual para calor (AMARAL e MORTIMER, 2001) e também para entropia (AMARAL e MORTIMER, 2007). Quanto ao conceito de trabalho de expansão, por outro lado, não foi encontrada na literatura nenhuma pesquisa equivalente que pudesse servir de referência. Objetivou-se com isso estabelecer um “marco” ou ponto de partida indicativo do nível de compreensão inicial dos estudantes acerca dos respectivos conceitos, previamente à realização das atividades, para que em seguida se acompanhasse a evolução das suas ideias conceituais. A constatação de um maior amadurecimento conceitual implica necessariamente dois aspectos: o primeiro mais geral, que consiste na ampliação das Zonas de Perfil Conceitual<sup>26</sup>, e o segundo mais específico, que compreende a elaboração do conceito científico (VIGOTSKI, 2001), o que pressupõe a capacidade de empregar os signos de forma não mecânica, de refletir acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos, e também de abstrair, ou seja, de considerar separadamente os elementos fora das conexões reais e concretas dadas.

Nas seções seguintes, são analisados de forma detalhada os resultados obtidos por meio das diferentes fontes de dados ilustradas na Tabela 5.23, com vistas à elucidação do processo de formação dos conceitos durante as atividades de aula. Inicialmente foram consideradas as particularidades de alguns indivíduos previamente escolhidos que representassem os casos de estudo (turma A e turma B), para que posteriormente fosse possível se criar um modelo representativo do processo de conceitualização, aplicável ao contexto de investigação.

---

<sup>26</sup> Amaral e Mortimer (2007) afirmam que uma compreensão mais completa da realidade está relacionada à ampliação das Zonas de Perfil individual, considerando que elas sejam complementares, mas não excludentes. Quanto ao conceito de calor, isso equivale ao seguinte movimento: Zona Realista (ZR), Zona Animista (ZA), Zona Substancialista (ZS), Zona Empírica (ZE) e Zona Racionalista (ZRa). Já quanto ao conceito de entropia, o movimento consiste em: Zona Perceptiva/ intuitiva (ZP), Zona Empírica (ZE), Zona Formalista (ZF) e Zona Racionalista (ZRa).

### 5.5.1. Primeiro caso ou turma A (2010-II)

Essa turma foi composta por doze estudantes, dentre os quais apenas nove participaram regularmente das atividades propostas, configurando-se assim sujeitos da nossa investigação. São os alunos identificados por A, B, D, J, L, M, MI, Th e To, cujos nomes foram substituídos pelas suas respectivas iniciais.

Foram analisadas as suas produções individuais nas duas fases (fase de diagnóstico e fase de avaliação), com relação à aprendizagem dos conceitos de calor, trabalho e entropia, durante as atividades computacionais propostas, apresentadas no Capítulo 4, quais sejam: a) simulação para o equivalente mecânico de calor; b) modelagem computacional para trabalho isotérmico de gases ideais e reais; c) exploração do objeto de aprendizagem intitulado Segunda Lei da Termodinâmica, voltado ao conceito de entropia.

Na fase de diagnóstico, foram levados em consideração, além do questionário sócio acadêmico, o teste inicial de conhecimentos (objetivo) e os mapas conceituais construídos pelos alunos, nesse caso denominados de mapas conceituais iniciais por refletirem as suas concepções iniciais.

Na fase de avaliação, foram observados: os mapas conceituais finais, produzidos após a simulação computacional e pesquisa na *web* sobre os conceitos de calor, trabalho e entropia; as respostas a dois testes discursivos sistemáticos e sem consulta, sob a forma escrita, intitulados de teste final da primeira lei da Termodinâmica e teste final relativo à segunda lei da Termodinâmica. Esses últimos dois testes foram estruturados com base nas pesquisas de Meltzer (2004, 2008) envolvendo as dificuldades de aprendizagem dos respectivos conteúdos ora analisados.

No primeiro teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (Apêndice K), foram analisados os seguintes aspectos, respectivamente às cinco questões propostas:

T1-q1) Compreendeu-se que dois corpos que possuem a mesma energia cinética total, logo a mesma temperatura, ao serem postos em contato, não trocarão calor?

T1-q2) Conseguiu-se aplicar corretamente o conceito de capacidade calorífica na situação prática de produção de calor envolvendo dois corpos em diferentes temperaturas?

T1-q3) Soube-se associar corretamente o trabalho à área sob a curva do diagrama pressão *versus* volume? Além disso, conseguiu-se compreender que a energia interna é uma função de estado, e por isso o seu cálculo não depende do caminho?

T1-q4) Conseguiu-se interpretar e aplicar corretamente as fórmulas matemáticas no problema proposto?

T1-q5) Soube-se diferenciar o trabalho realizado sobre o sistema do trabalho realizado pelo sistema? Chegou-se a representar e interpretar as mudanças em um processo cíclico, identificando as variáveis que são funções de estado?

No segundo teste final voltado ao conceito de entropia (Apêndice L), as cinco perguntas direcionadas aos estudantes tiveram como objetivo desvendar as seguintes questões:

T2-q1) Foram analisadas corretamente as modificações de entropia no sistema e nas vizinhanças, em uma transformação espontânea?

T2-q2) Atribuiu-se ao conceito de entropia uma característica de função de estado, quando analisada uma transformação gasosa em um processo cíclico?

T2-q3) Soube-se descrever corretamente as transformações de entropia nos dois diferentes casos explicitados (expansão isotérmica de um gás e expansão no vácuo)?

T2-q4) Conseguiu-se determinar, por meio da variação de entropia do sistema e das vizinhanças, se um processo é termodinamicamente reversível?

T2-q5) Soube-se calcular e interpretar corretamente a variação de entropia na transformação proposta?

Para fins de análise do processo de amadurecimento conceitual, considerou-se que os itens (T1-q1), (T1-q3), (T2-q1) e (T2-q2) relacionam-se com o emprego correto dos signos de forma não mecânica, os itens (T1-q1), (T1-q5), (T2-q1), (T2-q2) e (T2-q4) com a capacidade de refletir acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos, e os itens (T1-q2), (T1-q3), (T1-q4), (T2-q3), (T2-q5) com a habilidade em abstrair, ou seja, em considerar separadamente os elementos fora das conexões reais e concretas dadas.

Com vistas a uma apresentação mais facilmente compreensível dos resultados, os dados individuais dos estudantes estão representados na mesma sequência temporal de realização das atividades, paralelamente ao desenvolvimento da discussão teórica envolvendo os fatos observados durante as respectivas tarefas computacionais. A partir desse ponto, será traçado um panorama mais geral que representa uma espécie de modelo das transformações envolvidas no processo de formação de conceitos, nas diversas situações estabelecidas de sala de aula.

Optou-se por não descrever com detalhes os dados obtidos para todos os estudantes individualmente, pois isso tornaria o texto demasiadamente extenso. Contudo, são

apresentadas e discutidas as produções de quatro estudantes previamente escolhidos, os quais representam a heterogeneidade da turma sob o ponto de vista sócio acadêmico. Na turma A, o estudante A não possuía formação acadêmica anterior e nem experiência profissional na área, enquanto que o estudante J concluiu o curso técnico em Química e atuou como estagiário e técnico na área. Já na turma B, enquanto o estudante Ma não possuía formação acadêmica anterior e nem experiência profissional na área, o estudante Lu concluiu o curso técnico em Química, além de atuar em um grupo de educação tutorial na área de ensino e aprendizagem dos conteúdos de Química, Física e Biologia

- **ESTUDANTE A:** Concluiu o Ensino Médio em escola estadual e fez curso técnico em Patologia Clínica; além disso, estudava Ciências Biológicas no CEDERJ. Afirmou possuir afinidade pelos conteúdos de Química que estão relacionados ao cotidiano, mas não se mostrou interessado por assuntos abstratos. Suas principais dificuldades eram fórmulas, gráficos e alguns conceitos que não foram vistos no ensino médio, mas que servem como base para a Termodinâmica.

A concepção inicial do aluno sobre o conceito de calor vinculou-se estritamente ao fenômeno de aumento de temperatura. Ao ser solicitado, no questionário, a fornecer uma definição para o respectivo conceito, afirmou que “*é quando a temperatura se eleva muito... as moléculas se agitam*”. Essa confusão observada envolvendo os conceitos de calor e temperatura é algo bastante comum, como se pode perceber em Meltzer (2004) e também em Caldeira e Martins (1990).

Pode-se dizer que a tentativa de explicação tomando-se como base uma percepção microscópica do fenômeno sugere a existência de um pensamento lógico- abstrato, ainda que carente de conexões que lhe permitam descrever corretamente o conceito. Ou seja, essa afirmação é um forte indício que nos leva a acreditar na existência de um pseudoconceito, ao invés de um conceito científico desenvolvido. Esse último, por sua vez, deve estar vinculado à existência do pensamento teórico, o que pressupõe o domínio dos fenômenos interrelacionados dentro de um sistema integrado de conceitos.

Analisando o mapa conceitual inicial do estudante A (Figura 5.9), percebe-se que o conceito de calor significa para o aluno uma forma de energia presente em sistemas aquecidos, em que moléculas encontram-se agitadas. Ou seja, o mesmo corrobora com a inferência anterior, de que a ideia de calor no aluno constitui um pseudoconceito,

assim como a ideia de trabalho de expansão.

Já as respostas ao teste inicial de conhecimentos (Apêndice J) realizado pelo estudante permitem inferir as seguintes ideias: de que o calor seja equivalente à energia contida nos corpos; de que todo corpo possui calor; de que calor é equivalente à temperatura, ou seja, quando uma amostra de água entra em ebulição, o calor dessa amostra varia; de que a extremidade de uma barra mais quente possui mais calor que a extremidade mais fria, de modo que um corpo que possui mais calor “doa” para o outro que possui menos. Embora o aluno possua noção de equilíbrio térmico, ele crê que objetos de metal em uma sala são mais frios do que os de madeira. Resumindo, as falsas ideias observadas acerca do conceito de calor apontam para a predominância das Zonas de Perfil Animista (ZA) e Substantialista (ZS), conforme se pode observar a partir das informações constantes na Tabela 2.1, relativa à classificação das Zonas de Perfil para o conceito de calor.

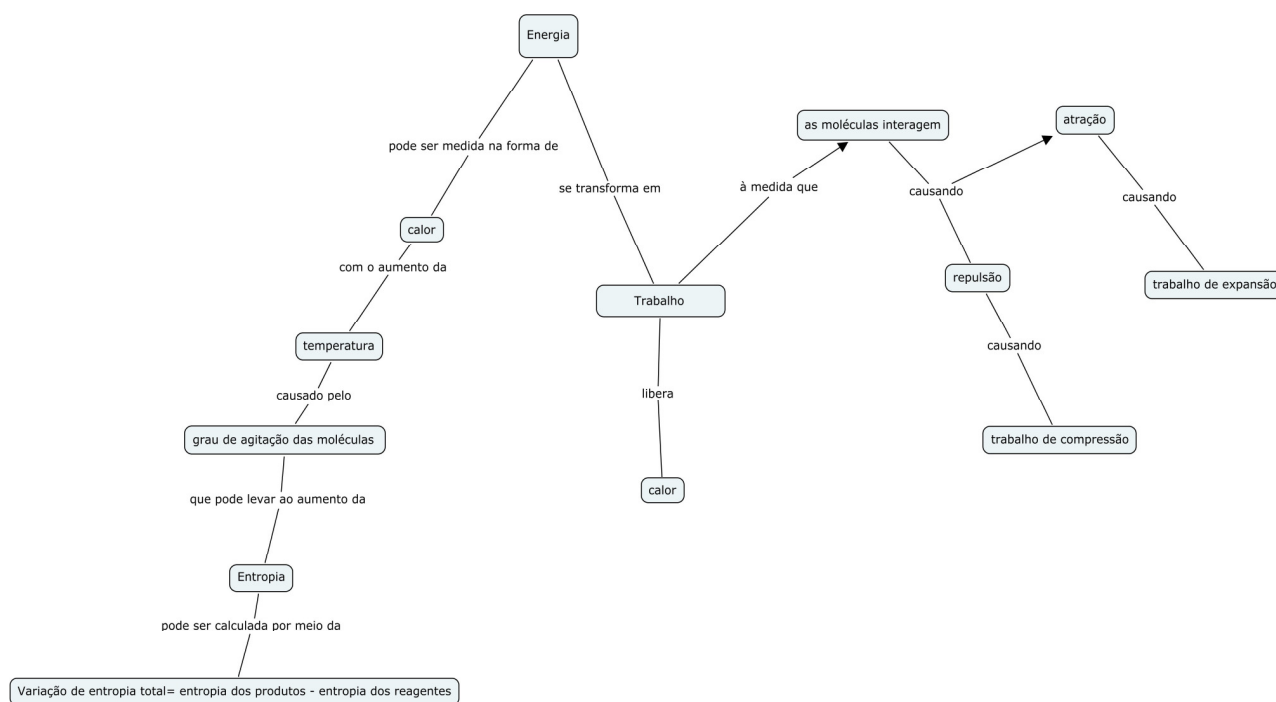


Figura 5.9 – Mapa conceitual inicial - estudante A (2010-II)

Posteriormente à aplicação da sequência de atividades envolvendo a simulação do Equivalente Mecânico de Calor, foi possível encontrar indícios de uma ampliação, em termos quantitativos, das ideias associadas ao conceito de calor (Figura 5.10). Mas como esclarece Vigotski (2001), o desenvolvimento do conceito não deve ser observado somente em função da quantidade de nexos associativos, posto que esse

processo superior da atividade mental tenha caráter produtivo (orientado a um fim) e não reprodutivo.

No entanto, como também foi mostrada uma concepção diferente (cientificamente mais correta) para o mesmo conceito, descrevendo calor como sendo a “*transferência de energia entre dois corpos que possuem temperaturas diferentes*”, percebe-se agora uma mudança qualitativa na conceitualização, mas que carece de mais evidências para ser confirmada. Como se verá mais adiante, buscam-se obter essas evidências principalmente por meio das respostas ao teste final discursivo envolvendo a primeira lei da Termodinâmica.

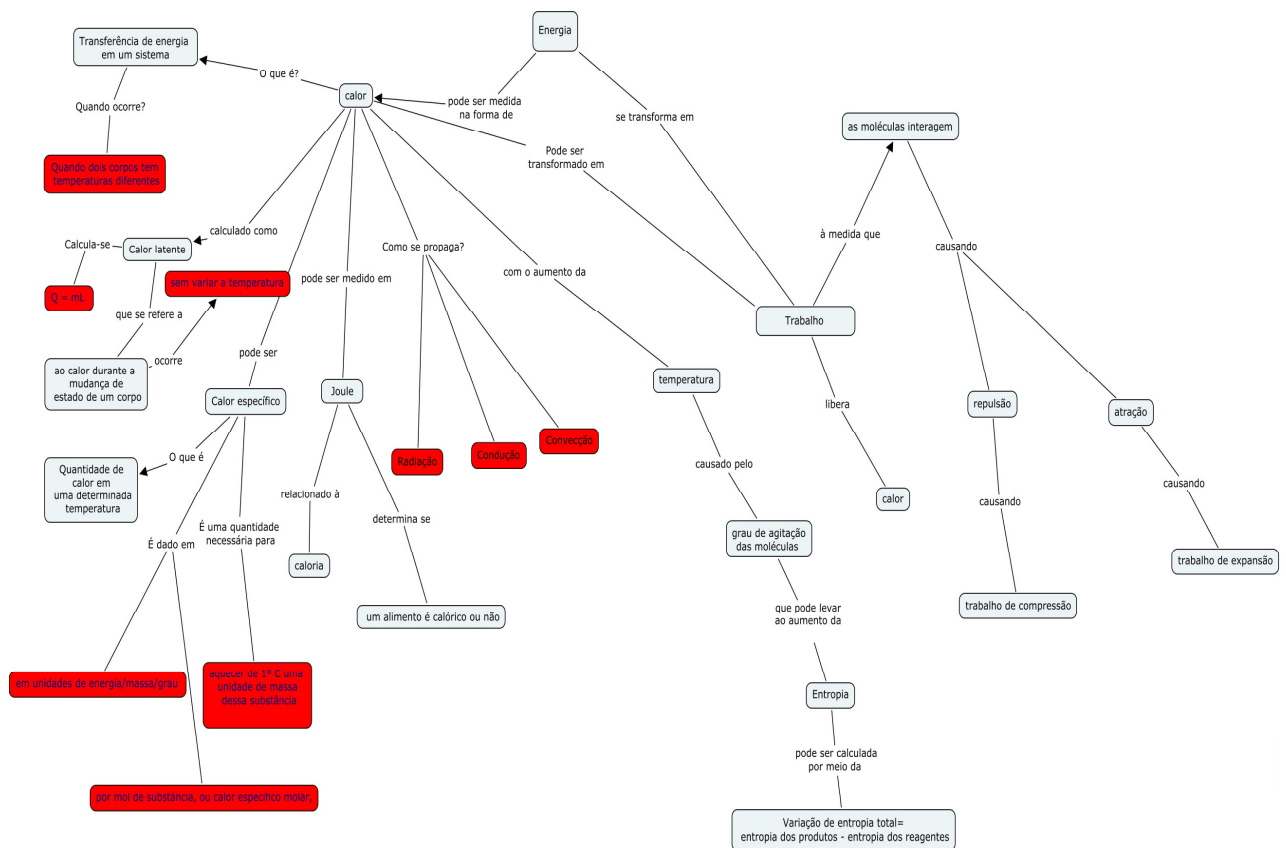


Figura 5.10 – Mapa conceitual final - estudante A (2010-II)

Com relação aos conceitos de trabalho e entropia, o levantamento das ideias iniciais do estudante por meio do questionário sócio acadêmico indicou a existência de concepções ligadas às interações intermoleculares (“*o gás exerce trabalho de expansão para aumentar seu volume... as moléculas se repelem e se expandem*”),



enquanto que o segundo foi descrito simplesmente como “*grau de desordem de um sistema*”.

Para o conceito de trabalho expansivo, da mesma forma que para o conceito de calor, as ideias do estudante indicam a existência de um pseudoconceito, tendo em vista os argumentos anteriormente apresentados. Já a ideia relacionada ao conceito de entropia não passou de uma reprodução mecânica, desarticulada e que carece de experimentos mentais para que ocorra a contemplação e representação correta do conceito.

O uso dessa expressão para o conceito de entropia, por sua vez, caracteriza a existência da Zona de Perfil Empírica (ZE), uma vez que a superficialidade da afirmação equivale à utilização de uma medida empírica para descrever o aumento da desordem dos sistemas termodinâmicos.

Com efeito, mesmo após a realização da primeira atividade envolvendo a simulação computacional para o equivalente mecânico de calor, percebe-se por meio do mapa conceitual final (Figura 5.10) que algumas falsas ideias a respeito do conceito de trabalho foram mantidas, como por exemplo, em “*trabalho libera calor*” e em “*expansão causa trabalho de compressão*”.

Somente com a segunda atividade, correspondente à modelagem computacional realizada no *software* Modellus, pôde-se observar uma maior compreensão das expressões matemáticas e também das características que envolvem os conceitos de trabalho de expansão reversível e irreversível - o que ficou demonstrado por meio das anotações pessoais do estudante (área da Figura 5.11 intitulada de “notas”) e também das atividades realizadas em sala de aula.

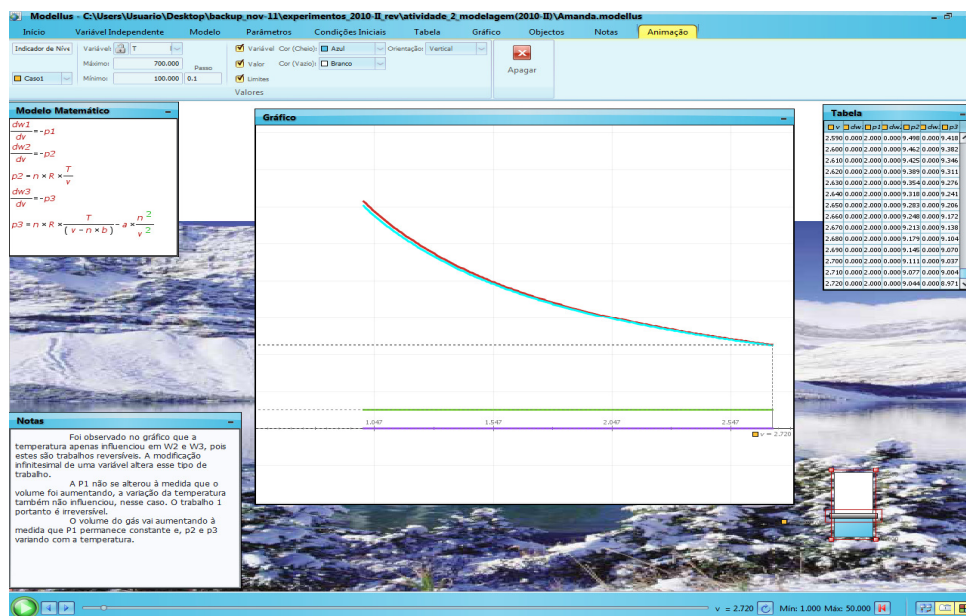


Figura 5.11 – Atividade de modelagem computacional realizada no Modellus pelo estudante A (2010-II)

O *software* Modellus, enquanto instrumento de mediação, pode funcionar como uma ferramenta cognitiva importante em função do seu forte apelo simbólico, permitindo a construção e desconstrução dos modelos matemáticos e gráficos representativos das diversas transformações ou processos termodinâmicos. Ao mesmo tempo, possibilitando a utilização simultânea de gráficos e equações subjacentes, institui-se a orientação voltada para o próprio sujeito na construção dos signos ou instrumentos psicológicos, o que requer grandes esforços direcionados à memória e à atenção.

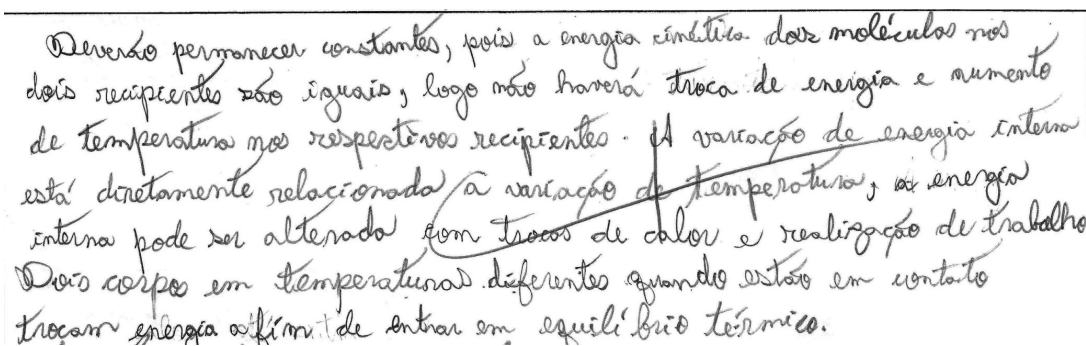
De fato, o exercício de modelagem permitiu que fossem explorados alguns aspectos como: análise comparativa da coerência teórica dos modelos, interpretação das transformações a partir da análise gráfica vinculada às respectivas expressões matemáticas, e também a valorização do pensamento visual. Eles são particularmente importantes nos casos em que a etapa de formação no plano material (transformação da situação objetiva) precisa anteceder a etapa da ação no plano mental (desenvolvimento das funções mentais de reflexão e fala “para si”), em função da inexistência, na estrutura cognitiva do estudante, da etapa materializada.

Contudo, antes de se tirarem conclusões, é preciso que seja realizada uma análise mais criteriosa do amadurecimento conceitual posterior à atividade de modelagem. Convém analisar as respostas ao teste final, envolvendo o estudo da primeira lei da

Termodinâmica.

A resposta à primeira questão (T1-q1) demonstra ter havido uma boa compreensão dos conceitos de calor e temperatura, muito embora o aluno não tenha considerado, na sua resposta, o aspecto das diferentes massas de gás contidas nos recipientes (Figura 5.12). Além disso, é possível observar a partir do texto, a noção de equilíbrio térmico.

1) (1,0 ponto) Dois quilogramas de um gás ideal são colocados em um recipiente A, e outros quatro quilogramas do mesmo gás ideal são colocados em um recipiente B. A energia cinética total das moléculas do gás no recipiente A (ou seja, a soma das energias das moléculas individuais) é exatamente igual à energia cinética total das moléculas do gás no recipiente B. Os dois recipientes são colocados em contato térmico um com o outro, mas ficam isolados do ambiente ao seu redor, ou seja, das vizinhanças. Quando os dois recipientes entrarem em contato um com o outro, o que se poderá esperar das suas temperaturas? Deverão **aumentar, diminuir ou permanecer constantes**? **Explique sua resposta.**



Deverão permanecer constantes, pois a energia cinética das moléculas nos dois recipientes são iguais, logo não haverá troca de energia e aumento de temperatura nos respectivos recipientes. A variação de energia interna está diretamente relacionada a variação de temperatura, a energia interna pode ser alterada com trocas de calor e realização de trabalho. Dois corpos em temperaturas diferentes quando estão em contato trocam energia até entrarem em equilíbrio térmico.

Figura 5.12 – Resposta à questão de número 1 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q1) - estudante A

O primeiro ponto positivo observado diz respeito à distinção, pelo aluno, entre os conceitos de calor e de temperatura, em que esse último representaria uma medida da energia cinética das moléculas, a qual pode ser alterada pela “troca” de calor. Essa concepção representa um avanço em direção à compreensão das propriedades essenciais dos objetos, embora o conceito de calor ainda esteja sendo utilizado de forma incorreta, em uma visão substancialista.

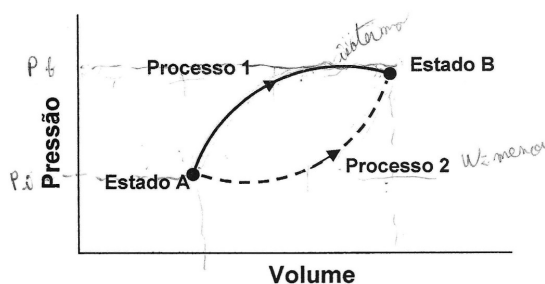
Apesar disso, a resposta fornecida à questão de número 2 (T1-q2) traduz a inabilidade do aluno em abstrair o conceito de capacidade calorífica, nas situações práticas que envolvem produção de calor entre dois corpos com temperaturas diferentes.

Observando essas duas respostas, conclui-se que as ideias associadas aos conceitos de calor e temperatura não evoluíram com a atividade de simulação computacional a ponto de proporcionar o emprego correto dos signos, tendo em vista que houve a manutenção da visão substancialista; além disso, faltaram conhecimentos mais

aprofundados sobre a interpretação do conceito de capacidade calorífica.

Quanto ao conceito de trabalho de expansão, pode-se afirmar que a resposta ao item “a” da questão de número 3 (T1-q3) está em parte correta, apesar de a explicação não ter ficado suficientemente clara a ponto de se afirmar que o estudante soube identificar o trabalho isotérmico expansivo como a área sob a curva do diagrama de pressão *versus* volume (Figura 5.13).

3) (1,5 pontos) O diagrama P versus V ilustrado abaixo representa um sistema consistindo de uma quantidade fixa de um gás ideal que realiza uma transformação do estado A para o estado B através de dois processos diferente (Processo 1 e Processo 2):



Considere que  $w$  representa o trabalho realizado pelo sistema e  $q$  representa o calor transferido para o sistema nos processos 1 e 2 para responder as questões a seguir:

a. O trabalho realizado pelo sistema durante o processo 1 é (em módulo) **maior, menor ou igual** ao trabalho realizado pelo sistema no processo 2? **Explique sua resposta.**

O trabalho no processo 2 é menor que no processo 1. Pois de acordo com o gráfico a pressão em 1 aumenta muito mais rápido que em 2.

b. O calor absorvido pelo sistema durante o processo 1 é (em módulo) **maior, menor ou igual** ao calor transferido para o sistema no processo 2? **Explique sua resposta.**

Em 2 é maior que no processo 1

c. Em qual processo ocorre maior variação na energia total (cinética mais potencial) de todos os átomos no sistema: o **Processo n° 1, o Processo n° 2, ou ambos os processos produzem a mesma variação?** **Explique sua resposta.**

No processo 1 há maior variação de energia total, as moléculas se movimentam mais rápido; se chocam, realizam movimento rotacional mais rápido para atingir uma pressão mais alta que em 2.

Figura 5.13 – Resposta à questão de número 3 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q3) - estudante A

Nesse caso, chama-se a atenção para a importância da atividade de modelagem

computacional na valorização do pensamento abstrato e simbólico. Ainda que a representação gráfica proposta no exercício tenha sido uma variante distinta do que foi visto em sala de aula, o aluno soube empregar o signo de forma não mecânica, refletir sobre as propriedades intrínsecas aos tipos de trabalho isotérmico expansivo e ainda abstrair, considerando separadamente os elementos fora das conexões reais e concretas dadas.

Na resposta à questão de número 4 (T1-q4), observa-se que o estudante soube distinguir as expressões de trabalho expansivo isotérmico reversível e irreversível, bem como interpretá-las e aplicá-las (embora com certa dificuldade) no contexto do exercício proposto (Figura 5.14).

4) (1,5 pontos) Uma amostra de 2,0 moles de He se expande isotermicamente, a 22°C, de 22,8L até 31,7L, (a) reversivelmente, (b) contra pressão externa constante igual à pressão final do gás e (c) livremente (contra pressão externa nula). Em cada processo, calcule q, w, ΔU e ΔH.  $\Delta H = \Delta U + nRT$

$n = 2 \text{ moles de He}$   
 $T = 22^\circ\text{C} = 295 \text{ K}$   
 $\Delta T = 0$   
 $V_i = 22,8 \text{ L}$   
 $V_f = 31,7 \text{ L}$

(a)  $w_{rev} = -nRT \cdot \log \frac{V_f}{V_i}$   
 $w_{rev} = -2(8,314)(295) \log \frac{31,7}{22,8}$   
 $w_{rev} = +702,06 \text{ J} = +0,7 \text{ KJ}$

$\Delta U = 0$   
 $\Delta H = \Delta U + nRT$   
 $\Delta H = 0 + nRT$   
 $\Delta H = 2 \cdot 8,314 \cdot 295$   
 $\Delta H = 4905,26 \text{ J}$

$q = -w$   
 $q = -0,7 \text{ KJ}$

$P_{ext} = \text{constante}$   
 $w = -P_{ext} \Delta V$   
 $w = -1,53(31,7 - 22,8)$   
 $w = -151987,5 (8,9)$   
 $w = -1352688,75 \text{ J}$   
 $w = -1352,6 \text{ KJ}$

$P_i V_i = nRT$   
 $P_i = \frac{nRT}{V_i}$   
 $P_i = \frac{2(0,082)295}{31,7}$   
 $P_i = 1,5 \text{ atm}$   
 $1 \text{ atm} = 101325 \text{ Pa}$   
 $1,5 \text{ atm} = x$   
 $x = 151987,5$

$\Delta U = q + w$   
 $\Delta H = \Delta U + nRT$   
 $\Delta H =$   
 $\Delta H = q$

$P_{ext} = 0$   
 $w =$

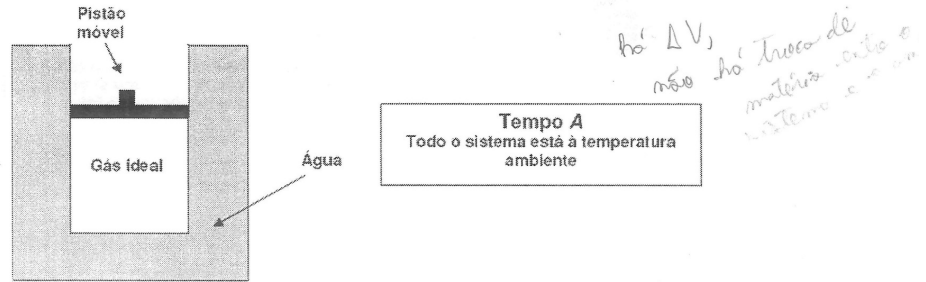
	q	w	ΔU	ΔH
a	+702,06 J	+702,06 J	0	4905,26 J
b	—	-1352,6 KJ	—	—
c	—	—	—	—

Figura 5.14 – Resposta à questão de número 4 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q4) - estudante A

Na questão de número 5 (T1-q5), no entanto, o aluno esbarrou na dificuldade de representar as etapas que representam o processo cíclico, o que o impossibilitou de interpretar as mudanças nesse processo, com identificação das variáveis que se

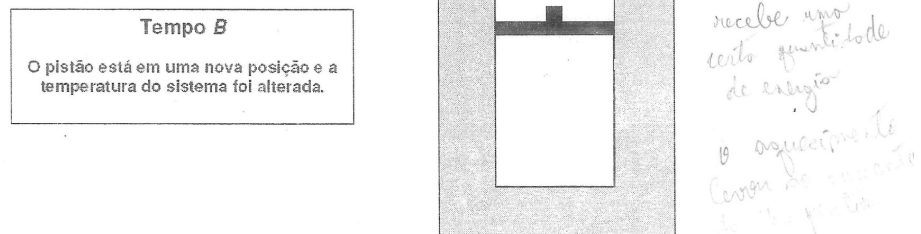
caracterizam como função de estado. Apesar disso, ele conseguiu diferenciar o trabalho realizado sobre o sistema. (Figura 5.15).

5) (3,0 pontos) Uma quantidade fixa de um gás ideal está contida em um cilindro de metal que é selado com um pistão móvel (sem atrito e isolante térmico). O êmbolo pode mover-se para cima ou para baixo sem a menor realização de atrito, enquanto que o gás não consegue entrar ou sair do cilindro. O pistão é pesado e então o cilindro é rodeado por um grande recipiente de água com paredes altas, como mostrado na figura abaixo. Vamos analisar e descrever o processo que se inicia no ponto A e termina no ponto D.



No primeiro momento, o gás, o cilindro e água foram deixados em repouso em uma sala por um determinado período de tempo, estando todos na mesma temperatura ambiente ( $T=25^{\circ}\text{C}$ ).

**Etapa 1.** Inicia-se o processo. O reservatório de água é aquecido gradualmente, e muito lentamente o pistão se move para cima contra pressão externa constante ( $P = 1 \text{ atm}$ ). A temperatura do sistema aumenta até  $T = 30^{\circ}\text{C}$  e, atingido o tempo B, o aquecimento da água cessa e o pistão pára de se mover com um deslocamento de **10 cm de altura**, localizando na posição representada na figura abaixo:



- a. Durante o processo que ocorre desde o tempo A até o tempo B, podemos afirmar que: (a) o trabalho é feito sobre o gás pelas vizinhanças, (b) o trabalho é realizado pelo gás sobre as vizinhanças, (c) nenhum trabalho é feito no gás ou pelo gás. **Explique sua resposta.**

O êmbolo não permite a troca de matéria entre o sistema e suas vizinhanças. Mas houve troca de energia, por meio do aquecimento do reservatório de água a temperatura do sistema aumentou e assim ocorreu o trabalho de expansão do gás. As moléculas começaram a se agitar, houve um aumento das colisões, aumentando a área e consequentemente o volume.

- b. Durante o processo que ocorre desde o tempo A até o tempo B, o gás absorve "X" joules de energia da água. Qual das seguintes afirmações é verdadeira: A energia cinética total de todas as moléculas de gás (a) aumenta em mais de X Joules, (b) aumenta em X Joules, (c) aumenta, porém em menos de X Joules, (d) permanece inalterada, (e) diminui em menos de X Joules, (f) diminui X joules, (g) diminui em mais de X Joules. **Explique sua resposta:**  $\Delta U = q + w$

Uma parte dessa energia será convertida em trabalho de expansão e outra parte aumentará a temperatura. Com o aumento da energia cinética as moléculas do gás realçarão uma pressão sobre o êmbolo, além disso o aumento do grau de agitação dos mesmos leva ao aumento da temperatura.

Figura 5.15 – Resposta à questão de número 5, item a, do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q5) - estudante A

Retomando a análise da formação do conceito de entropia, pode-se afirmar com base na comparação entre os dados iniciais e os dados coletados por meio do teste relativo à segunda lei da Termodinâmica (Apêndice L), que houve uma significativa ampliação das ideias conceituais que são cientificamente aceitas, posteriormente às aulas seguidas da atividade de exploração do objeto de aprendizagem intitulado Segunda Lei da Termodinâmica.

No início da investigação, o conceito de entropia apresentava-se bastante vago e insipiente, restringindo-se à afirmação de que a entropia representa o grau de desordem dos sistemas e que ela sempre deve aumentar, mesmo nos casos em que essa afirmação carecia de informações para ser verdadeira. De modo que as aulas seguidas da atividade computacional tiveram como objetivo promover as seguintes ideias: a) reconhecer a entropia como função de estado; b) interpretar as transformações, em termos de modificações no sistema e nas vizinhanças; c) analisar as transformações que ocorrem nas máquinas térmicas, em termos de parâmetros termodinâmicos, como a entropia e energia de Gibbs.

A análise das respostas à primeira questão do teste final (T2-q1), envolvendo o estudo da segunda lei da Termodinâmica demonstra uma boa compreensão das transformações que ocorrem no sistema e nas suas vizinhanças, em termos de entropia total (Figura 5.16).

1) (1,5 pontos) Um objeto é colocado em uma sala isolada termicamente que contém ar. O objeto e o ar da sala estão inicialmente em temperaturas diferentes, sendo permitida troca térmica entre ambos, mas não entre o ar da sala e as suas paredes, que são isolantes. Durante um processo espontâneo, o que se pode concluir a respeito da entropia:

- a) do ar que está na sala;  $\Delta S_{sala}$
- b) do objeto;  $\Delta S_{objeto}$
- c) do ar que está na sala mais a entropia do objeto;  $\Delta S_{total}$



**Aumentam, diminuem, permanecem as mesmas, ou não podem ser determináveis com as informações fornecidas? Justifique sua resposta.**



- (a) Não pode ser determinada, pois não sabemos se o objeto é capaz de liberar calor por exemplo, não sabemos as temperaturas do sistema e das vizinhanças e etc.
- (b) Não pode ser determinada, pois seria preciso algumas características do objeto para relacionar ao grau de desordem de seus moléculas, LS.
- (c) Aumenta ou poderá se manter constante. Segundo Clausius<sup>†</sup> quando um objeto é colocado em um ambiente e considera-se a entropia total (sistema + vizinhanças) esta não poderá diminuir.

Figura 5.16 – Resposta à questão de número 1 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q1) - estudante A

Nesse caso, a falta de alguns parâmetros termodinâmicos necessários à completa interpretação do problema não impediu que o estudante desenvolvesse o seu raciocínio, dentro das possibilidades impostas, como na afirmação “*não pode ser determinada, pois seria preciso algumas características do objeto...*”. Ou seja, ficou evidenciada a capacidade de reflexão no estudante, a partir da qual as propriedades essenciais relativas ao conceito de entropia vieram à tona para serem aplicadas na nova situação, acarretando uma nova formação de juízo voltada à resolução do problema proposto.

Já na resposta à segunda questão do mesmo teste (T2-q2), envolvendo o conhecimento dos parâmetros descritos como função de estado, constata-se que o estudante soube associar corretamente entropia e energia interna à característica de função de estado, da mesma forma que soube negar que calor tenha essa propriedade (Figura 5.17).

2) (1,5 pontos) Considere uma máquina térmica que utiliza uma quantidade fixa de gás ideal. Esse gás realiza um processo cíclico, que consiste de uma série de modificações de pressão, volume e temperatura. O processo é chamado de "cíclico", porque o sistema gasoso repetidamente retorna ao seu estado original (ou seja, mesmo valor de temperatura, pressão e volume) quando o ciclo é completado. Julgue as afirmativas abaixo (**explicando sua resposta**), quanto à observação de um ciclo completo no qual o sistema começa em um determinado estado e retorna ao mesmo estado:

- A variação de energia interna ( $\Delta U$ ) do gás durante um ciclo completo é sempre igual a zero para qualquer que seja o caminho efetuado no processo?
- A variação de entropia ( $\Delta S$ ) do gás durante um ciclo completo é sempre igual a zero para qualquer que seja o caminho efetuado no processo?
- A quantidade líquida de calor ( $q$ ) trocada pelo gás durante um ciclo completo é sempre igual a zero para qualquer que seja o caminho efetuado no processo?



- (a) Sim. Se for considerado um ciclo completo e não as suas etapas separadamente a temperatura final será a mesma que a inicial. Como  $\Delta U$  depende da temperatura, se se está ~~no mesmo~~,  $\Delta U = 0$ . Além disso,  $\Delta U$  é função de estado depende apenas do estado inicial e final, não depende do caminho percorrido.
- (b)  $\Delta S$  também é função de estado e não depende do caminho percorrido,  $\Delta S$  é igual a zero em processos que não ocorrem, como essa máquina térmica utiliza uma quantidade fixa de gás ideal e um processo que não tem possibilidade de ocorrer.
- (c) Não. Considerando que houve variações da quantidade de calor quando a mesma realizou trabalho ( $q$ ) durante um ciclo completo não é igual a zero.

Figura 5.17 – Resposta à questão de número 2 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q2) - estudante A

Na questão de número 4 (T2-q4), o estudante demonstrou reconhecer a característica presente nas transformações reversíveis, ou seja, a observância de uma entropia total nula (Figura 5.18). Ele ainda soube fazer corretamente a distinção entre a característica presente nos processos reversíveis (entropia total nula) e nos irreversíveis/ espontâneos (entropia total positiva).

4) (1,5 pontos) Um sistema sofre um processo no qual a variação da sua entropia é  $+ 5,51 \text{ J.K}^{-1}$ . Durante o processo, o sistema recebe  $1,50 \text{ KJ}$  de calor, a  $350 \text{ K}$ . O processo é termodinamicamente reversível? **Explique o seu raciocínio.**

$$\Delta S = +5,51 \text{ J.K}^{-1}$$

$$q = 1,50 \text{ KJ} =$$

$$T = 350 \text{ K}$$

$$q_{\text{res}} = -1,50 \text{ KJ} = -1500 \text{ J}$$

$$\Delta S_{\text{res}} = \frac{q_{\text{res}}}{T}$$

$$\Delta S_{\text{res}} = -\frac{1500 \text{ J}}{350 \text{ K}}$$

$$\Delta S_{\text{res}} = -4,28 \text{ J/K}$$

$$\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{sist}} + \Delta S_{\text{res}}$$

$$\Delta S_{\text{total}} = +5,51 + (-4,28)$$

$$\Delta S_{\text{total}} = +1,23 \text{ J/K}$$

$\Delta S_{\text{total}} > 0$   
 O processo é termodinamicamente irreversível e pode ocorrer espontaneamente, pois  $\Delta S_{\text{total}}$  é positivo. Só seria reversível, se o  $\Delta S_{\text{total}}$  fosse igual a zero.

Figura 5.18 – Resposta à questão de número 4 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q4) - estudante A

Ainda que na resposta à questão de número 5 (T2-q5), o aluno tenha demonstrado dificuldades na interpretação das etapas que representaram a transformação proposta, ele soube representar as equações envolvidas de forma correta. Logo, analisando conjuntamente as respostas fornecidas às cinco questões anteriores relativas ao segundo teste, conclui-se que o estudante exibiu uma razoável compreensão das propriedades essenciais relacionadas ao conceito de entropia, como demonstrado: a) na análise adequada das modificações de entropia no sistema e nas vizinhanças durante uma transformação espontânea; b) na atribuição da propriedade de função de estado ao conceito de entropia; c) na determinação, por meio da variação de entropia do sistema e das vizinhanças, se um processo é considerado termodinamicamente reversível.

Em síntese, a análise dos dados anteriormente apresentados reflete um avanço no grau de amadurecimento conceitual por parte do estudante A, a partir do qual os conceitos de calor, trabalho e entropia puderam ser mais compreendidos no contexto da primeira e da segunda leis da Termodinâmica.

Quanto às ideias relacionadas ao conceito de calor, destaca-se a manutenção da visão substancialista para o referido conceito e também a inabilidade do estudante em abstrair a ideia de capacidade calorífica na situação prática de produção de calor envolvendo dois corpos em diferentes temperaturas. Muito embora o aluno tenha demonstrado conhecimento de algumas características essenciais desse conceito, como a necessidade de dois corpos para a produção de calor e a noção de equilíbrio térmico, não se pode afirmar que ele se encontrava em sua forma elaborada, pois nesse caso, o signo deveria ser empregado de forma consciente. Como explica Vigotski (2001), é possível haver comunicação verbal ainda que um dos interlocutores (aluno) utilize-se de um pseudoconceito, enquanto o outro (professor) opere mediante conceitos.

Já a respeito dos conceitos de trabalho expansivo e entropia, nota-se uma ampliação significativa da capacidade de operar e empregar corretamente os signos, caracterizando a existência de um pensamento mais complexo sob o ponto de vista qualitativo. Atribuiu-se ao uso da modelagem computacional e da simulação (objeto de aprendizagem), a vantagem de se poder valorizar a exploração de modelos e ideias abstratas, inacessíveis quando não há na estrutura cognitiva do estudante, a etapa materializada previamente estabelecida. Nesses

casos, a construção das funções superiores presentes no processo de conceitualização pressupõe, em um primeiro momento, uma atividade externa que se reconstrói e começa a suceder internamente.

Nos Quadros 5.5, 5.6 e 5.7 ilustrados abaixo, encontram-se representadas, sob a forma esquemática, a descrição dos instrumentos de coleta de dados, as categorias de análise e os recortes extraídos dos textos do estudante A para caracterizar cada aspecto do processo de formação dos respectivos conceitos de calor, trabalho e entropia.

Quadro 5.5 – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de calor – estudante A (2010-II)

Momento das atividades	Instrumentos de coleta de dados	Análise do conceito de calor	
		Categoria: análise do perfil conceitual	Categoria: elaboração do conceito
<b>Fase de diagnóstico</b>	Questionário sócio acadêmico, teste inicial de conhecimentos (objetivo) e mapa conceitual inicial	Predominância das Zonas de Perfil Animista (ZA) e Substancialista (ZS) (“ <i>calor equivalente à energia contida nos corpos; todo corpo possui calor; calor equivalente à temperatura, ou seja, quando uma amostra de água entra em ebulição, o calor dessa amostra varia</i> ”).	Emprego incorreto dos signos (calor = energia contida nos corpos = temperatura) Incapacidade de reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (“ <i>todo corpo possui calor</i> ”; “ <i>um corpo que possui mais calor “doa” para o outro que possui menos</i> ” Inabilidade em abstrair (“ <i>calor.. é quando a temperatura se eleva muito... as moléculas se agitam</i> ”)
Desenvolvimento da atividade de pesquisa na <i>web</i> e da simulação computacional sobre o equivalente mecânico de calor, concomitantemente com as aulas teóricas.			
<b>Fase de avaliação</b>	Mapa conceitual final, produzido após pesquisa na <i>web</i> sobre os conceitos de calor, trabalho e entropia; teste final (primeira lei da Termodinâmica)	Manutenção da visão substancialista (ZS) de calor (“ <i>... houve variação da quantidade de calor...</i> ”; “ <i>... houve troca de calor</i> ”) Indícios de existência da Zona de Perfil Empírica (ZE) (“ <i>calor é... a energia transferida entre dois corpos que possuem temperaturas diferentes</i> ”)	Emprego incorreto dos signos (calor = energia contida nos corpos; emprego do termo “troca de calor”) -T1q1 Reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (compreensão de que dois corpos que possuem a mesma energia cinética total, logo a mesma temperatura, ao serem postos em contato, não trocarão calor) Inabilidade em abstrair (aplicação incorreta do conceito de capacidade calorífica na situação prática de produção de calor envolvendo dois corpos em diferentes temperaturas)

Quadro 5.6 – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de trabalho de expansão – estudante A (2010-II)

Momento das atividades	Instrumentos de coleta de dados	Análise do conceito de trabalho de expansão	
		Categoria: análise do perfil conceitual	Categoria: elaboração do conceito
<b>Fase de diagnóstico</b>	Questionário sócio acadêmico, teste inicial de conhecimentos (objetivo) e mapa conceitual inicial	Não se aplica	Emprego incorreto dos signos (“ <i>trabalho libera calor</i> ”; “ <i>repulsão causa trabalho</i> ”); Incapacidade de reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (“ <i>repulsão causa trabalho de compressão</i> ”) Inabilidade em abstrair (não soube descrever e interpretar corretamente o conceito nas situações propostas)
Desenvolvimento da atividade de modelagem computacional com o <i>software</i> Modellus para o trabalho isotérmico de expansão gasosa, concomitantemente com as aulas teóricas.			
<b>Fase de avaliação</b>	Mapa conceitual final, produzido após pesquisa na <i>web</i> sobre os conceitos de calor, trabalho e entropia; teste final (primeira lei da Termodinâmica)	Não se aplica	Emprego correto dos signos (associação correta de trabalho de expansão como a área sob a curva do diagrama de pressão <i>versus</i> volume); Reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (compreensão de que o trabalho de expansão não pode ser classificado como função de estado; diferenciação de trabalho realizado sobre o sistema do trabalho realizado pelo sistema) Realização de abstração (interpretação do conceito e aplicação correta das fórmulas e expressões matemáticas no problema proposto)

Quadro 5.7 – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de entropia – estudante A (2010-II)

Momento das atividades	Instrumentos de coleta de dados	Análise do conceito de entropia	
		Categoria: análise do perfil conceitual	Categoria: elaboração do conceito
<b>Fase de diagnóstico</b>	Questionário sócio acadêmico, teste inicial de conhecimentos (objetivo) e mapa conceitual inicial	Predominância da Zona de Perfil Empírica (ZE) (entropia é “o grau de desordem de um sistema”)	Emprego incorreto dos signos (definição mecânica: “ <i>entropia é o grau de desordem dos sistemas</i> ”) Incapacidade de reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (afirmação de que a entropia dos sistemas sempre deve aumentar) Inabilidade em abstrair (não soube descrever e interpretar corretamente o conceito nas situações propostas)
Desenvolvimento da atividade de exploração do objeto de aprendizagem intitulado Segunda Lei da Termodinâmica, concomitantemente às aulas teóricas.			
<b>Fase de avaliação</b>	Mapa conceitual final, produzido após pesquisa na <i>web</i> sobre os conceitos de calor, trabalho e entropia; teste final (segunda lei da Termodinâmica)	Estabelecimento da Zona de Perfil Formalista (ZF) (ideias matemáticas aplicadas aos processos ou transformações espontâneas)	Emprego correto dos signos (análise correta das modificações de entropia no sistema e nas vizinhanças em uma transformação espontânea); Reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (compreensão do conceito de entropia com característica de função de estado, quando analisada uma transformação gasosa em um processo cíclico; determinação, por meio da variação de entropia do sistema e das vizinhanças, se um processo é termodinamicamente reversível) Inabilidade em abstrair (não soube descrever e calcular corretamente as transformações de entropia nos dois diferentes casos propostos)

- **ESTUDANTE J:** Concluiu o Ensino Médio e o curso técnico em Química no Instituto Federal Fluminense; além disso, foi estagiário e posteriormente técnico de uma empresa do ramo da Química. Possui afinidade pelos conteúdos de Química, mas afirmara ter dificuldades com a “memorização” de alguns conceitos atrelados a fenômenos que não podem ser facilmente visualizados e que não estão relacionados a fatos do cotidiano. Nesse sentido, ressaltou a importância dos recursos computacionais no ensino de transformações e fenômenos microscópicos e/ou moleculares.

A concepção inicial do aluno sobre o conceito de calor, extraída do questionário sócio acadêmico é descrita como “*uma forma de energia em trânsito, pela qual se manifestam as trocas térmicas (endotérmicas e exotérmicas) nas reações químicas*”. Esta definição demonstra, em princípio, o conhecimento de alguns aspectos importantes: a) distinção entre os conceitos de calor e temperatura; b) restrição de que o calor só existe durante uma mudança de estado, ou seja “em trânsito”; c) associação com o conceito de entalpia das reações químicas, que consiste na aplicação mais comum de calor no âmbito das reações químicas.

Já as respostas ao teste inicial de conhecimentos indicam a existência das seguintes ideias para o conceito de calor: equivalente à quantidade de energia contida nos corpos; de que o calor flui de uma extremidade quente para outra mais fria de um material; de que quando a água entra em ebulição seu calor modifica. Ou seja, algumas vezes o estudante considera o conceito de calor equivalente ao de temperatura.

Comparando as respostas fornecidas a essas duas fontes de dados – o questionário sócio acadêmico e teste inicial de conhecimentos – conclui-se que apesar de o estudante ter conseguido definir corretamente o conceito, ele não soube aplicá-lo nas diversas situações práticas envolvendo a produção de calor. Isso porque apesar de demonstrar compreensão das distintas características atribuídas aos conceitos de calor e temperatura, o mesmo insistiu em utilizar, por diversas vezes, os dois termos como sinônimos. Essas observações nos levam a acreditar que existem duas Zonas de Perfil predominantes na estrutura cognitiva do aluno: a Zona Substancialista (ZS) e a Zona Empírica (ZE).

A análise do mapa conceitual inicial (Figura 5.19) ilustra as concepções do estudante J quanto aos conceitos de calor, trabalho e entropia. Sobre o primeiro conceito, confirma-se o conhecimento do fato de que o calor só existe durante uma mudança de estado, ou seja, “em trânsito”. Sobre os conceitos de trabalho de expansão

e entropia, percebe-se que o primeiro conceito relacionou-se ao trabalho isotérmico expansivo dos gases, enquanto que o segundo vinculou-se à ideia de energia livre de Gibbs, sem que, contudo, fossem detalhadas as relações desse último parâmetro termodinâmico. Dessa forma, pode-se afirmar que para o conceito de entropia, há predominância das Zonas de Perfil Empírica (ZE) e Formalista (ZF).

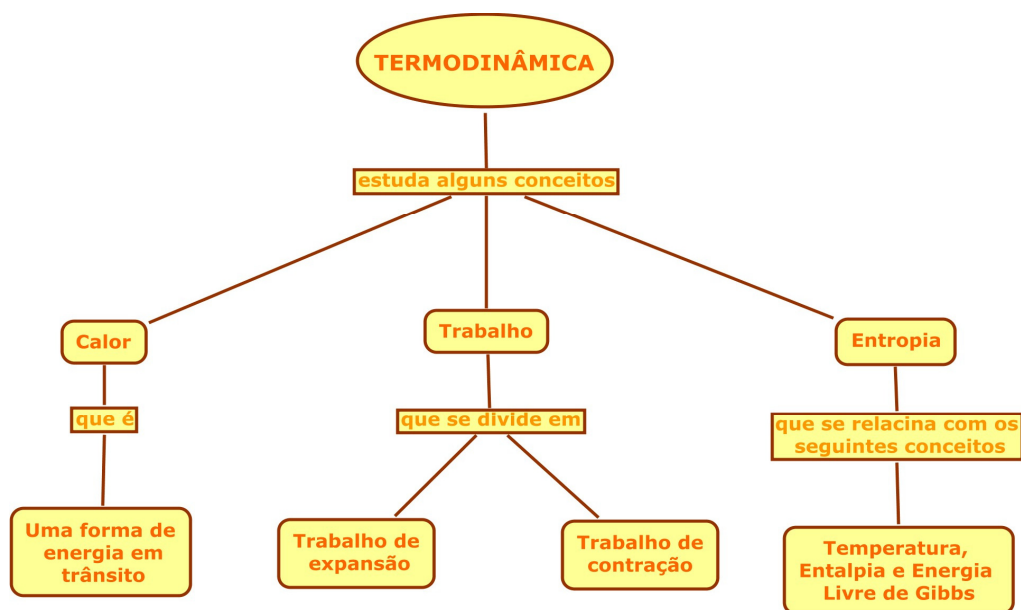


Figura 5.19 – Mapa conceitual inicial - estudante J (2010-II)

Depois da abordagem de aula que contou tanto com o auxílio da simulação computacional para equivalente mecânico de calor quanto com a pesquisa na *web*, ficou demonstrado por meio do mapa conceitual final (Figura 5.20), um aumento quantitativo da gama de ideias associadas ao conceito de entropia. Além disso, foi fornecida uma definição para esse mesmo conceito.



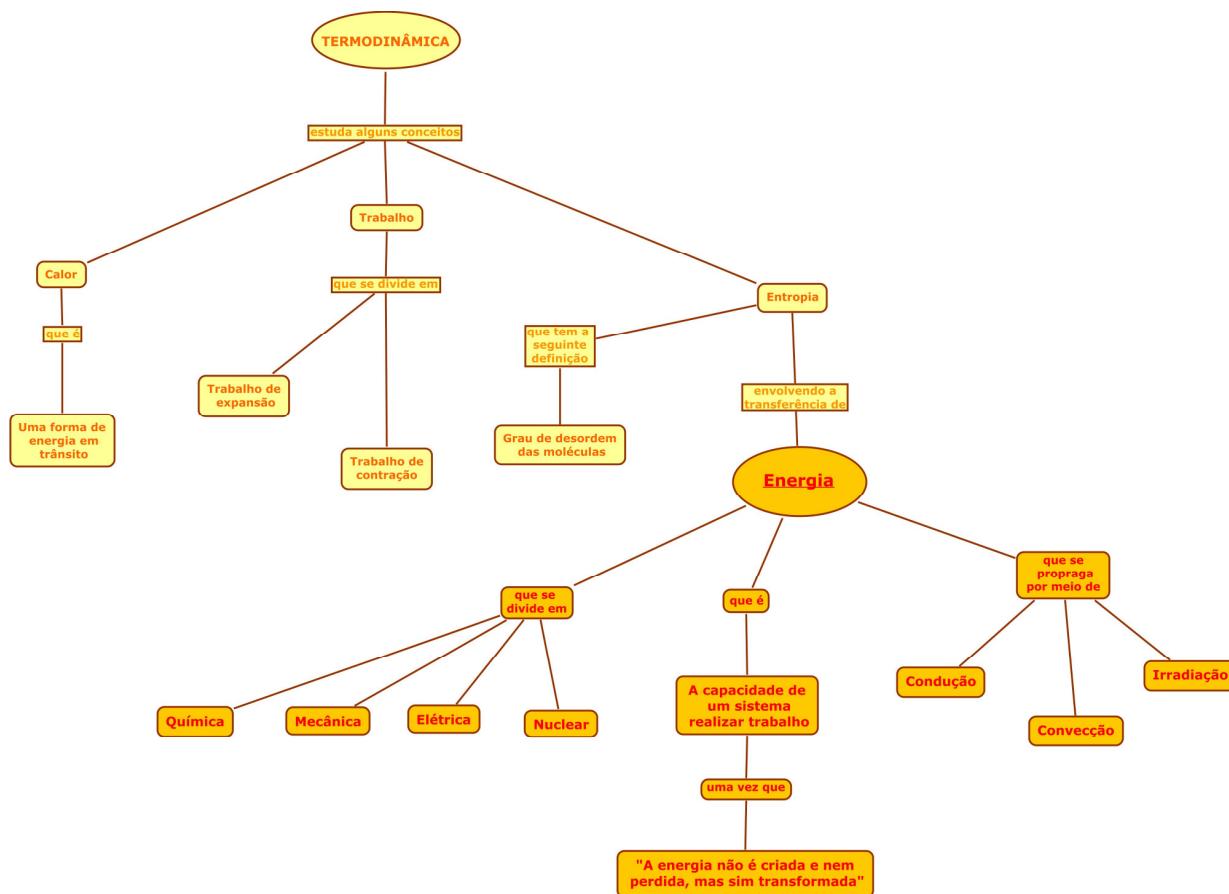


Figura 5.20 – Mapa conceitual final - estudante J (2010-II)

Pode-se perceber que as novas ideias relacionaram-se principalmente com o surgimento de um novo conceito chave, o de energia. Mas nenhuma alteração pôde ser notada com respeito às ideias anteriores relativas aos conceitos de calor e trabalho. Ou seja, a realização da primeira atividade envolvendo o equivalente mecânico de calor parece não ter refletido na ampliação quantitativa das ideias relativas a esses dois conceitos. Isso não significa que as ideias tenham se mantido estagnadas, pois como explica Vigotski (2001), a elaboração dos conceitos não necessariamente resulta de um aumento quantitativo dos vínculos associativos, mas sim do surgimento de uma nova forma superior (mais complexa) de comportamento. Sendo assim, retomar-se-á essa análise mais adiante, a partir das respostas ao teste final discursivo, relativo ao estudo da primeira lei da Termodinâmica.

Posteriormente à realização da segunda atividade, especificamente pensada para se trabalhar com a modelagem computacional os conceitos de trabalho expansivo isotérmico dos tipos reversível e irreversível, observou-se no estudante uma boa

capacidade de interpretação e operação com os respectivos signos.

Observando-se o campo “notas” da Figura 5.21, pode-se constatar algumas observações feitas pelo estudante que comprovam a afirmação anterior. Como por exemplo: a) de que à pressão constante, o trabalho (nesse caso irreversível) varia linearmente com o volume; b) de que a taxa de variação do trabalho reversível varia de forma decrescente, ou seja, a variação no início do processo é maior do que ao fim do processo; c) de como os parâmetros “a” e “b” influenciam o comportamento do sistema gasoso; d) de como a temperatura influencia o comportamento do sistema gasoso.



Figura 5.21 – Atividade de modelagem computacional realizada no Modellus pela estudante J (2010-II)

Em função da complexidade das observações apresentadas pelo aluno, conclui-se que a atividade de modelagem computacional funcionou como um recurso auxiliar importante, sobretudo sob o aspecto da valorização das representações mentais. Pode-se afirmar com segurança que a realização de uma abordagem sem que fosse utilizado esse tipo de recurso dificilmente suscitaria observações semelhantes.

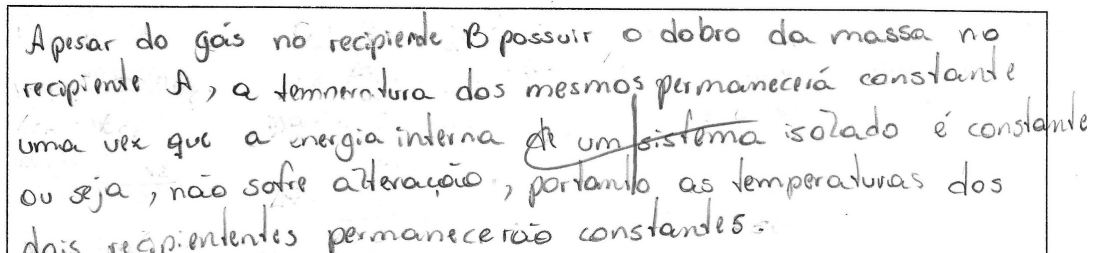
A possibilidade de representar diferentes parâmetros interrelacionados, com análise das modificações das variáveis em tempo real, configura-se em um mecanismo favorável à explicação e exploração de fenômenos e ideias abstratas. Além disso, à medida que o estudante consegue analisar, interagir e comparar os modelos propostos surge uma maior aproximação entre as entidades formais e os objetos ou

transformações reais, presentes no seu contexto.

Com o intuito de sustentar com mais argumentos essas proposições, convém analisar as respostas aos testes finais envolvendo a primeira e a segunda lei da Termodinâmica – o primeiro teste voltado aos conceitos de calor e trabalho de expansão e o segundo, ao conceito de entropia.

Na primeira questão do teste que tratou da primeira lei (T1-q1), buscou-se analisar os conceitos de calor, temperatura e equilíbrio térmico. A resposta do estudante J (Figura 5.22), assim como ocorrera com o estudante A, voltou-se para a compreensão de que dois corpos com mesma energia cinética total (logo mesma temperatura, caso as massas sejam iguais), quando postos em contato, não trocam calor. Dessa forma, é possível perceber a distinção entre os conceitos de calor e temperatura, no referido processo termodinâmico. Assim como o estudante A, esse segundo aluno não levou em consideração, na sua resposta, o fato de que as massas dos sistemas tenham sido diferentes, caracterizando uma compreensão apenas parcial do problema proposto.

1) (1,0 ponto) Dois quilogramas de um gás ideal são colocados em um recipiente A, e outros quatro quilogramas do mesmo gás ideal são colocados em um recipiente B. A energia cinética total das moléculas do gás no recipiente A (ou seja, a soma das energias das moléculas individuais) é exatamente igual à energia cinética total das moléculas do gás no recipiente B. Os dois recipientes são colocados em contato térmico um com o outro, mas ficam isolados do ambiente ao seu redor, ou seja, das vizinhanças. Quando os dois recipientes entrarem em contato um com o outro, o que se poderá esperar das suas temperaturas? Deverão **aumentar, diminuir ou permanecer constantes?** Explique sua resposta.



Apesar do gás no recipiente B possuir o dobro da massa no recipiente A, a temperatura dos mesmos permanecerá constante uma vez que a energia interna de um sistema isolado é constante ou seja, não sofre alteração, portanto as temperaturas dos dois recipientes permanecerão constantes.

Figura 5.22 – Resposta à questão de número 1 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q1) - estudante J

Já a resposta à segunda questão (T1-q2), envolvendo o raciocínio complexo em termos de capacidades caloríficas, quantidade de matéria e trocas de calor, comprova o domínio da capacidade de abstração por parte do aluno (Figura 5.23). A compreensão das propriedades relativas aos elementos (conceitos) isolados, fora das conexões reais dadas, culminando na percepção da situação proposta no contexto de análise, é um forte indício da existência de um pensamento conceitual.

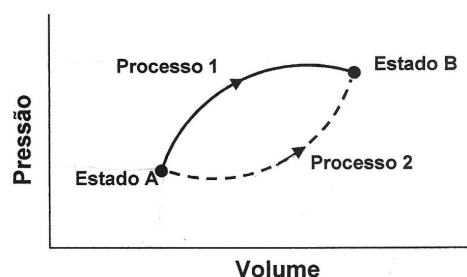
2) (1,0 ponto) Um objeto A (de maior capacidade calorífica) é adicionado a um calorímetro adiabático que está parcialmente preenchido com um líquido B (de menor capacidade calorífica). A massa do objeto é a mesma do líquido, mas sua temperatura é maior do que a temperatura inicial do líquido. Após isso, o calorímetro é deixado em repouso por várias horas. Admitindo-se que a capacidade calorífica do calorímetro seja nula, responda: depois de ultrapassado o tempo necessário para que seja atingido o equilíbrio térmico entre o objeto e o líquido, deverá se constatar que a variação de temperatura do objeto será **maior, menor ou igual** à variação de temperatura do líquido? **Explique sua resposta.**

$C_A > C_B$ $m_A = m_B$ $T_{iA} > T_{iB}$ $C_{\text{calorim}} = 0$ $T_{fA} = T_{fB}$	$\Delta U = C_v \cdot \Delta T$ $\Delta U_A = \Delta U_B$ $C_{vA} \cdot (T_f - T_{iA}) = C_{vB} \cdot (T_f - T_{iB})$ Como $T_{iA} > T_{iB}$ $\Delta T_A < \Delta T_B$	Portanto, podemos observar que como $\Delta T = T_f - T_i$ e que $T_f$ é igual para o objeto e para o líquido pois estes alcançaram o equilíbrio térmico; a variação de temp. do objeto é menor que a do líquido, pois a tem. inicial do objeto é maior que a do líquido.
--	--	---

Figura 5.23 – Resposta à questão de número 2 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q2) - estudante J

A respeito do conceito de trabalho de expansão, a resposta ao item “a” da questão de número 3 (T1-q3) leva a concluir que o estudante soube associar corretamente esse tipo de trabalho à área sob a curva do diagrama de pressão *versus* volume, apesar de a frase “sobre a curva” ter sido empregada de forma incorreta, em que o correto seria “sob a curva” (Figura 5.24). Além disso, o aluno demonstrou compreender os parâmetros que se configuram como funções de estado e os que não o são (como o trabalho de expansão).

3) (1,5 pontos) O diagrama P versus V ilustrado abaixo representa um sistema consistindo de uma quantidade fixa de um gás ideal que realiza uma transformação do estado A para o estado B através de dois processos diferente (Processo 1 e Processo 2):



Considere que  $w$  representa o trabalho realizado pelo sistema e  $q$  representa o calor transferido para o sistema nos processos 1 e 2 para responder as questões a seguir:

- a. O trabalho realizado pelo sistema durante o processo 1 é (em módulo) maior, menor ou igual ao trabalho realizado pelo sistema no processo 2? **Explique sua resposta.**

O trabalho é maior, porque apesar de apresentarem a mesma variação de pressão e volume, a área sobre a curva do processo 1 é maior que a área sobre a curva do processo 2.

- b. O calor absorvido pelo sistema durante o processo 1 é (em módulo) maior, menor ou igual ao calor transferido para o sistema no processo 2? **Explique sua resposta.**

É maior devido a maior temperatura do processo 1 do que o processo 2. Com isso, quanto maior a diferença de temperatura maior é a transferência de energia em forma de calor para o sistema. Como  $w_1 > w_2$  e  $\Delta U = 0$  então  $q_1 > q_2$

- c. Em qual processo ocorre maior variação na energia total (cinética mais potencial) de todos os átomos no sistema: o Processo n° 1, o Processo n° 2, ou ambos os processos produzem a mesma variação? **Explique sua resposta.**

$\Delta U = q + w$   
Ambos os processos produzem a mesma variação, uma vez que assim como o  $w$  aumenta,  $q$  também aumenta, fazendo com que o balanço de energia interna para os dois processos seja o mesmo, uma vez que o  $w$  aumenta, mas é negativo, ou seja, 2 de expansão.

Figura 5.24 – Resposta à questão de número 3 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q3) - estudante J

Essas observações indicam, por um lado, a aplicação correta dos signos correspondentes (por exemplo, quando o aluno identifica o trabalho isotérmico como a área sob a curva), e por outro, a boa capacidade de refletir sobre as propriedades essenciais dos objetos (no que diz respeito à compreensão de que trabalho não se configura como função de estado e também pela diferenciação de trabalho realizado pelo sistema do trabalho realizado sobre o sistema). Nesse sentido, destaca-se a importância das atividades de modelagem computacional com o *software* Modellus,

cuja contribuição para o processo de interiorização das ações materializadas foi determinante.

Já na resposta à questão de número 4 (T1-q4), ficou caracterizada no aluno a habilidade em abstrair e relacionar, uma vez que ele soube (na maioria dos casos) aplicar corretamente as fórmulas e expressões matemáticas na resolução do problema proposto (Figura 5.25).

4) (1,5 pontos) Uma amostra de 2,0 moles de He se expande isotermicamente, a 22°C, de 22,8L até 31,7L, (a) reversivelmente, (b) contra pressão externa constante igual à pressão final do gás e (c) livremente (contra pressão externa nula). Em cada processo, calcule q, w, ΔU e ΔH.

$n = 2 \text{ moles He}$   
 $t_{\text{constante}} = 295 \text{ K}$   
 $V_i = 22,8 \text{ L}; V_f = 31,7 \text{ L}$   
 $\downarrow \qquad \qquad \downarrow$   
 $0,0228 \text{ m}^3 \quad 0,0317 \text{ m}^3$

a)  $t = \text{cte} \rightarrow \Delta T = 0 \rightarrow \Delta U = 0$

$w_{\text{rev}} = -nRT \ln(V_f/V_i)$   
 $w_{\text{rev}} = -2,8314 \cdot 295 \cdot \ln\left(\frac{0,0317}{0,0228}\right)$   
 $w_{\text{rev}} = -1,6 \text{ kJ}$

$\Delta U = q + w$   
 $q = -w$   
 $q = +1,6 \text{ kJ}$   
 $\Delta H = \Delta U + w$   
 $\Delta H = 0 + (-1,6)$   
 $\Delta H = -1,6 \text{ kJ}$

b)  $p_{\text{ext}} = \text{cte} = P_f \text{ gás}$   $t_{\text{const}} \rightarrow \Delta T = 0$   $\Delta U = 0$

$P_f = \frac{nRT_f}{V_f}$   
 $P_f = \frac{2,8314 \cdot 295}{0,0317}$   
 $P_f = 154.740 \text{ Pa}$

$w = -P_{\text{ext}} \cdot \Delta V$   
 $w = -154.740 (0,0317 - 0,0228)$   
 $w = -1377,2$   
 $w = -1,4 \text{ kJ}$

$\Delta H = \Delta U + w$   
 $\Delta H = 0 + (-1,4)$   
 $\Delta H = -1,4 \text{ kJ}$

c) contra um  $P_{\text{ext}} = 0$

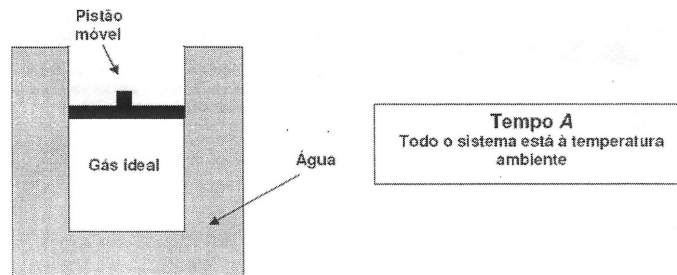
$t = \text{cte} \rightarrow \Delta T = 0 \rightarrow \Delta U = 0$   
 $w = -P_{\text{ext}} \cdot \Delta V \rightarrow w = 0$   
 $q = -w \rightarrow q = 0$   
 $\Delta H = \Delta U + w$   
 $\Delta H = 0$

	q	w	ΔU	ΔH
a	+1,6 kJ	-1,6 kJ	zero (0)	-1,6 kJ
b	+1,4 kJ	-1,4 kJ	zero (0)	-1,4 kJ
c	zero (0)	zero (0)	zero (0)	zero (0)

Figura 5.25 – Resposta à questão de número 4 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q4) - estudante J

A resposta à quinta questão (T1-q5), por sua vez, assinala um pleno conhecimento das transformações termodinâmicas envolvidas nas etapas que compõem o processo descrito (Figura 5.26), embora nos itens subsequentes que dizem respeito à análise da transformação em um todo (referindo-se ao processo cíclico), o estudante tenha encontrado dificuldades.

5) (3,0 pontos) Uma quantidade fixa de um gás ideal está contida em um cilindro de metal que é selado com um pistão móvel (sem atrito e isolante térmico). O êmbolo pode mover-se para cima ou para baixo sem a menor realização de atrito, enquanto que o gás não consegue entrar ou sair do cilindro. O pistão é pesado e então o cilindro é rodeado por um grande recipiente de água com paredes altas, como mostrado na figura abaixo. Vamos analisar e descrever o processo que se inicia no ponto A e termina no ponto D.



- a. Durante o processo que ocorre desde o tempo A até o tempo B, podemos afirmar que: (a) o trabalho é feito sobre o gás pelas vizinhanças, (b) o trabalho é realizado pelo gás sobre as vizinhanças, (c) nenhum trabalho é feito no gás ou pelo gás. **Explique sua resposta.**

Podemos afirmar que o trabalho é realizado pelo gás (sistema) sobre as suas vizinhanças, uma vez que há uma variação de volume e o gás sofre uma expansão, ou seja, o trabalho realizado pelo gás é de expansão (no qual há a elevação do pistão móvel).

- b. Durante o processo que ocorre desde o tempo A até o tempo B, o gás absorve "X" joules de energia da água. Qual das seguintes afirmações é verdadeira: A energia cinética total de todas as moléculas de gás (a) aumenta em mais de X Joules, (b) aumenta em X joules, (c) aumenta, porém em menos de X Joules, (d) permanece inalterada, (e) diminui em menos de X Joules, (f) diminui X joules, (g) diminui em mais de X Joules. **Explique sua resposta:**

Letra C. A energia cinética aumenta, pois houve aumento da temperatura e consequentemente, aumento do grau de agitação térmica das moléculas. Mas, esse aumento é menor que "X" joules, pois parte dessa energia absorvida foi transformada em trabalho para a elevação do pistão.

Figura 5.26 – Resposta à questão de número 5 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q5) - estudante J

Mais especificamente sobre a elaboração do conceito de entropia durante as aulas mediadas por recursos computacionais, nesse caso a exploração do objeto de aprendizagem intitulado Segunda Lei da Termodinâmica, pode-se afirmar que houve uma maior compreensão dos diversos conceitos e fenômenos adjacentes, o que refletiu, em termos de aprendizagem, nos seguintes aspectos:

1. Formação de juízos e deduções, com reflexão acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos e/ou fenômenos: na resposta da questão de número 1 (T2-q1), a falta de determinados parâmetros no enunciado do problema não impediu que o estudante fornecesse sua resposta de forma coerente, raciocinando sobre as modificações termodinâmicas do processo, dentro das

limitações que o exercício estabelecia (Figura 5.27).

1) (1,5 pontos) Um objeto é colocado em uma sala isolada termicamente que contém ar. O objeto e o ar da sala estão inicialmente em temperaturas diferentes, sendo permitida troca térmica entre ambos, mas não entre o ar da sala e as suas paredes, que são isolantes. Durante um processo espontâneo, o que se pode concluir a respeito da entropia:

- a) do ar que está na sala;
- b) do objeto;
- c) do ar que está na sala mais a entropia do objeto;

**Aumentam, diminuem, permanecem as mesmas, ou não podem ser determináveis com as informações fornecidas? Justifique sua resposta.**

processo espontâneo:  $\Delta S > 0$

a) e b) Não podem ser determináveis com as informações fornecidas, pois seria necessário saber se objeto ou o ar está mais quente ou mais frio um que o outro. Já que se houver troca térmica, o que estiver mais quente vai ceder calor (energia) para o mais frio e terá sua entropia diminuída. Enquanto o que estiver mais frio vai receber calor (energia) e terá sua entropia aumentada.

c) Já a entropia total do sistema permanecerá a mesma, pois não haverá alteração da  $\Delta S$  viz e nem da  $\Delta S$  sistema.

Figura 5.27 – Resposta à questão de número 1 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q1) - estudante J

2. Domínio dos fenômenos objetivamente inter-relacionados dentro de um sistema integrado de conceito (sistema de conceitos), ou seja, emprego dos signos de forma não mecânica: na resposta à questão de número 2 (T2-q2), o estudante demonstra clara distinção dos conceitos que se constituem como função de estado (como entropia e energia interna) e os que não são função de estado, como calor e trabalho (Figura 5.28).

2) (1,5 pontos) Considere uma máquina térmica que utiliza uma quantidade fixa de gás ideal. Esse gás realiza um processo cíclico, que consiste de uma série de modificações de pressão, volume e temperatura. O processo é chamado de "cíclico", porque o sistema gasoso repetidamente retorna ao seu estado original (ou seja, mesmo valor de temperatura, pressão e volume) quando o ciclo é completado. Julgue as afirmativas abaixo (**explicando sua resposta**), quanto à observação de um ciclo completo no qual o sistema começa em um determinado estado e retorna ao mesmo estado:

- a) A variação de energia interna ( $\Delta U$ ) do gás durante um ciclo completo é sempre igual a zero para qualquer que seja o caminho efetuado no processo?
- b) A variação de entropia ( $\Delta S$ ) do gás durante um ciclo completo é sempre igual a zero para qualquer que seja o caminho efetuado no processo?
- c) A quantidade líquida de calor ( $q$ ) trocada pelo gás durante um ciclo completo é sempre igual a zero para qualquer que seja o caminho efetuado no processo?



- a) A energia interna é uma função de estado, e portanto, depende apenas dos estados inicial e final do ciclo. Portanto, ao final do ciclo a  $\Delta U_{total}$  sempre será igual a zero, uma vez que o estado final é igual ao inicial para qualquer que seja o caminho efetuado no processo.
- b) Assim como a  $\Delta U$ , a  $\Delta S$  também é função de estado, portanto a  $\Delta S_{total}$  sempre será igual a zero num sistema fechado (cíclico) para qualquer que seja o caminho efetuado no processo.
- c) O calor é diferente das  $\Delta U$  e  $\Delta S$ , pois o calor não é uma função de estado e depende do caminho efetuado no processo. Por isso, o calor líquido não será igual a zero no final do processo. O calor pode ser zero em algumas etapas do processo, como em transformações adiabáticas, mas nos expansões e compressões ele é diferente de zero.

Figura 5.28 – Resposta à questão de número 2 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q2) - estudante J

3. Reprodução da essência dos objetos e/ou fenômenos: a interpretação da situação proposta no exercício de número 3 (T2-q3) exigiu do estudante, além de uma boa capacidade de abstração, uma correta compreensão dos conceitos e fenômenos inter-relacionados, com vistas à explicação do processo como um todo (Figura 5.29).

3) (2,0 pontos) Uma folha fina de plástico divide um recipiente isolado de dois litros pela metade. Cinco moles de um gás ideal estão confinados em uma das metades do recipiente, a uma temperatura de 300 K. A divisória de plástico é repentinamente removida e o gás se expande para preencher todo o volume do recipiente. Como se trata de uma expansão livre de um gás ideal, nenhum trabalho é realizado pelo ou sobre o gás (sistema), ficando a temperatura do gás mantida a 300 K. Vamos usar  $\Delta S_{\text{livre}}$  para simbolizar a mudança na entropia do gás durante este processo de expansão livre (onde  $\Delta S = S_{\text{final}} - S_{\text{inicial}}$  e  $\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{vizinhanças}}$ ).

Consideremos agora uma outra situação: desta vez, cinco moles do mesmo gás ideal estão inicialmente confinados em um cilindro de um litro de capacidade com um pistão móvel. A temperatura é novamente 300 K. lentamente o êmbolo é deslocado, enquanto o cilindro está em contato com um reservatório térmico (vizinhanças). A temperatura do gás permanece constante em 300 K, enquanto o volume aumenta para dois litros. Considere  $\Delta S_{\text{isotermico}}$  como a variação da entropia do gás (sistema) durante esse segundo processo e leve em consideração as modificações de entropia do sistema e de suas vizinhanças para responder à seguinte pergunta:

$\Delta S_{\text{total, isotermico}}$  é maior, menor ou igual ao  $\Delta S_{\text{total, livre}}$ ? Explique seu raciocínio.

① recipiente isolado  
folha fina plástica  
gás  
 $n = 5 \text{ mol}$   
 $T = 300 \text{ K}$   
 $V = 2 \text{ L}$   
expansão livre  
 $P_{\text{ext}} = 0$   
 $T = 300 \text{ K}$   
 $w = 0$   
 $q = 0$   
 $\Delta S_{\text{livre}} = 0$

$w = -nRT \ln V_f/V_i$   
 $w = -5 \cdot 8.314 \cdot 300 \cdot \ln 2$   
 $w = -8,6 \text{ kJ}$   
 $q = +8,6 \text{ kJ}$   
 $\Delta S_{\text{sist}} = \frac{q_{\text{rev}}}{T}$   
 $\Delta S_{\text{sist}} = \frac{8600}{300}$   
 $\Delta S_{\text{sist}} = +28,7 \text{ J/K}$

②  
gás  
 $n = 5 \text{ mol}$   
 $T = 300 \text{ K}$   
 $V = 1 \text{ L}$   
 $p = 123 \text{ atm}$   
expansão isotérmica reversível  
 $V = 2 \text{ L}$   
 $T = 300 \text{ K}$   
 $p = 61,5 \text{ atm}$   
 $\Delta T = 0$   
 $\Delta U = 0$   
 $q = -w$

O  $\Delta S_{\text{sistema}}$  tanto do processo ① quanto do processo ② serão os mesmos, mas no processo ① o  $\Delta S_{\text{viz}}$  não irá mudar pois é uma expansão livre, enquanto que o  $\Delta S_{\text{viz}}$  do processo ② sofrerá alteração. Portanto, como  $\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{sist}} + \Delta S_{\text{viz}}$ , o  $\Delta S_2$  será menor que o do processo ①.

Figura 5.29 – Resposta à questão de número 3 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q3) - estudante J

As respostas às questões de número 1, 2 e 3 (T2-q1, q2, q3) convergiram para a constatação de que existe, por parte do aluno, o conceito de entropia na sua forma natural de desenvolvida<sup>27</sup>. Enquanto no diagnóstico inicial (questionário sócio acadêmico e mapa conceitual inicial), fora detectada uma ideia de entropia bastante vaga e desarticulada, agora pôde-se verificar não só a união e a generalização dos diversos conceitos isolados, como também a capacidade de abstrair, de considerar separadamente esses elementos fora das conexões reais e concretas dadas.

Na resposta à quarta questão (T2-q4), por sua vez, foi fornecida uma interpretação correta, em termos de entropia total, para a explicação dos processos reversíveis e irreversíveis, o que reforça a opinião de que existe na estrutura cognitiva do estudante

<sup>27</sup> Para Vigotski (2001), equivale ao estabelecimento do conceito na sua forma científica ou não espontânea.

um sistema integrado de conceitos (Figura 5.30).

4) (1,5 pontos) Um sistema sofre um processo no qual a variação da sua entropia é + 5,51 J.K<sup>-1</sup>. Durante o processo, o sistema recebe 1,50 KJ de calor, a 350 K. O processo é termodinamicamente reversível? **Explique o seu raciocínio.**

$\Delta S = +5,51 \text{ J/K}$   
 $Q_{\text{sist.}} = 1,50 \text{ KJ} \rightarrow Q_{\text{viz}} = -1,50 \text{ KJ}$   
 $T = 350 \text{ K}$   
 $\Delta S_{\text{viz}} = \frac{Q_{\text{viz}}}{T} = \frac{-1500 \text{ J}}{350 \text{ K}} = -4,28 \text{ J/K}$   
 $\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{sist}} + \Delta S_{\text{viz}} = +5,51 - 4,28$   
 $\Delta S_{\text{total}} = +1,23 \text{ J/K}$  (o processo irreversível e espontâneo)  
O processo não é reversível, pois  $\Delta S_{\text{total}} > 0$ . Só seria reversível se  $\Delta S_{\text{total}}$  fosse igual a zero.

Figura 5.30 – Resposta à questão de número 4 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q4) - estudante J

Por fim, com base na resposta à questão de número 5 (T2-q5), destaca-se a capacidade do aluno em abstrair e operar com os signos, o que nesse caso ficou caracterizado pela sua habilidade em aplicar as fórmulas e resolver corretamente as expressões matemáticas com vistas à resolução do exercício proposto (Figura 5.31).

5) (1,5 pontos) Calcule a variação de entropia de um gás perfeito diatômico quando 2,0 moles desse gás ( $C_{p,m} = 7/2 R$ ) passam do estado de 25°C e 1,50 atm para o estado a 135°C e 7,00 atm. Como se explica o sinal de  $\Delta S$ ?

<p><math>n = 2,0</math> moles  <math>C_{p,m} = 7/2 R</math>  <math>T_i = 298</math> K ; <math>T_f = 408</math> K  <math>P_i = 1,5</math> atm ; <math>P_f = 7,00</math> atm</p> <p><math>P_i V_i = n R T_i</math>  <math>V_i = \frac{2 \cdot 0,082 \cdot 298}{1,5}</math>  <math>V_i \approx 32,6</math> L ✓</p> <p><math>P_f V_f = n R T_f</math>  <math>V_f = \frac{2 \cdot 0,082 \cdot 408}{7}</math>  <math>V_f \approx 9,6</math> L ✓</p>	<p>1ª Etapa          ↳ Compressão isotérmica  <math>\Delta U = 0</math>  <math>\Delta S_1 = n R \ln V_f / V_i</math>  <math>\Delta S_1 = 2 \cdot 8,314 \cdot \ln 9,6 / 32,6</math>  <math>\Delta S_1 \approx -20,3</math> J/K ✓</p> <p>2ª Etapa          ↳ Aquecimento a Volume constante  <math>\Delta S_2 = n \cdot C_{v,m} \cdot \ln T_f / T_i</math>  <math>\Delta S_2 = 2 \cdot 2,5 \cdot 8,314 \cdot \ln 408 / 298</math>  <math>\Delta S_2 = 13,1</math> J/K ✓</p> <p><math>\Delta S_{total} = \Delta S_1 + \Delta S_2 = -20,3 + 13,1</math>  <math>\Delta S_{total} = -7,2</math> J/K ✓</p>	<p><math>C_{p,m} - C_{v,m} = R</math>  <math>C_{v,m} = 7/2 R - R</math>  <math>C_{v,m} = 5/2 R</math></p> <p>O <math>\Delta S_{total}</math> do processo é menor do que (negativo), então o processo não é espontâneo e não é possível de ocorrer em tese.</p>
---	---	--

Boa prova!

Figura 5.31 – Resposta à questão de número 5 do teste final envolvendo a segunda lei da Termodinâmica (T2-q5) - estudante J

As observações anteriores permitem fazer a leitura de que as aulas mediadas por recursos computacionais foram determinantes para o estabelecimento de um maior amadurecimento conceitual por parte do estudante J, o que refletiu diretamente em um bom rendimento nos testes. Ou seja, as atividades propostas atenderam às expectativas do aluno ao funcionarem como um instrumento sócio-cognitivo facilitador da aprendizagem dos referidos conceitos.

Nos Quadros 5.8, 5.9 e 5.10 ilustrados abaixo, encontram-se representadas, sob a forma esquemática, a descrição dos instrumentos de coleta de dados, as categorias de análise e os recortes extraídos dos textos do estudante J para caracterizar cada aspecto do processo de formação dos respectivos conceitos de calor, trabalho e entropia.

Quadro 5.8 – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de calor - estudante J (2010-II)

Momento das atividades	Instrumentos de coleta de dados	Análise do conceito de calor	
		Categoria: análise do perfil conceitual	Categoria: elaboração do conceito
<b>Fase de diagnóstico</b>	Questionário sócio acadêmico, teste inicial de conhecimentos (objetivo) e mapa conceitual inicial	<p>Predominância das Zonas de Perfil Substancialista (ZS) e Empírica (ZE)</p> <p>(calor = forma de energia em trânsito, pela qual se manifestam as trocas térmicas nas reações químicas);</p> <p>Reconhecimento das distintas características atribuídas aos conceitos de calor e temperatura - muito embora os dois termos tenham sido algumas vezes utilizados como sinônimos; noção de equilíbrio térmico e de capacidade calorífica.</p>	<p>Emprego incorreto dos signos (apesar de descrever corretamente o conceito, a estudante o utiliza de forma incorreta, como “<i>uma quantidade de energia contida nos corpos</i>”, ou “<i>o calor flui de uma extremidade quente para outra mais fria de um material</i>”, ou ainda “<i>quando a água entra em ebulição seu calor modifica</i>”. Ou seja, algumas vezes a estudante considera o conceito de calor equivalente à temperatura);</p> <p>Reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (calor = energia em trânsito, diferente de temperatura);</p> <p>Realização de abstração (associação com o conceito de entalpia das reações químicas)</p>
Desenvolvimento da atividade de pesquisa na <i>web</i> e da simulação computacional sobre o equivalente mecânico de calor, concomitantemente com as aulas teóricas.			
<b>Fase de avaliação</b>	Mapa conceitual final, produzido após pesquisa na <i>web</i> ; teste final (primeira lei da Termodinâmica)	<p>Ampliação das ideias associadas ao conceito de calor, como por exemplo, as de capacidade calorífica e equilíbrio térmico (Zona de Perfil Racionalista - ZRa);</p> <p>Manutenção da visão substancialista (ZS)</p> <p>como em “... <i>se o objeto está mais frio ou mais quente</i>” e em “... <i>o que tiver mais frio vai receber calor (...)</i>” T2-q1</p>	<p>Emprego incorreto dos signos como em “<i>ar mais quente</i>” (calor = energia contida nos corpos) T2-q1; emprego de forma correta em “<i>transferência de energia na forma de calor</i>” T1-q3</p> <p>Reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos: utilização do termo “<i>transferência de energia em forma de calor</i>” T1-q3;</p> <p>compreensão de que dois corpos que possuem a mesma energia cinética total, logo a mesma temperatura, ao serem postos em contato, não trocarão calor;</p> <p>Realização de abstração (aplicação correta do conceito de capacidade calorífica na situação prática de produção de calor envolvendo dois corpos em diferentes temperaturas)</p>

Quadro 5.9 – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de trabalho de expansão - estudante J (2010-II)

Momento das atividades	Instrumentos de coleta de dados	Análise do conceito de trabalho de expansão	
		Categoria: análise do perfil conceitual	Categoria: elaboração do conceito
<b>Fase de diagnóstico</b>	Questionário sócioacadêmico, teste inicial de conhecimentos (objetivo) e mapa conceitual inicial	Não se aplica	Emprego incorreto dos signos (apesar de a estudante conhecer os tipos de trabalho tratados em aula, sua definição foi puramente mecânica); Incapacidade de reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (houve definição puramente mecânica, ou seja, faltou detalhar as propriedades relativas ao conceito de trabalho) Inabilidade em abstrair (não soube descrever e interpretar corretamente o conceito nas situações propostas)
Desenvolvimento da atividade de modelagem computacional com o <i>software</i> Modellus para o trabalho isotérmico de expansão gasosa, concomitantemente com as aulas teóricas.			
<b>Fase de avaliação</b>	Mapa conceitual final, produzido após pesquisa na <i>web</i> sobre os conceitos de calor, trabalho e entropia; teste final (primeira lei da Termodinâmica)	Não se aplica	Emprego correto dos signos (soube associar corretamente o trabalho à área sob a curva do diagrama de pressão <i>versus</i> volume) Reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (compreensão de que o trabalho de expansão não pode ser classificado como função de estado; diferenciação de trabalho realizado sobre o sistema do trabalho realizado pelo sistema) Realização de abstração (interpretação do conceito e aplicação correta das fórmulas e expressões matemáticas no problema proposto)

Quadro 5.10 – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de entropia - estudante J (2010-II)

Momento das atividades	Instrumentos de coleta de dados	Análise do conceito de entropia	
		Categoria: análise do perfil conceitual	Categoria: elaboração do conceito
<b>Fase de diagnóstico</b>	Questionário sócio acadêmico, teste inicial de conhecimentos (objetivo) e mapa conceitual inicial	Predominância das Zonas de Perfil Empírica (ZE) e Formalista (ZF) (conceito de entropia associado ao o grau de desordem de um sistema e representação da entropia por meio da energia livre de Gibbs, sem claro conhecimento das relações entre os parâmetros termodinâmicos envolvidos)	Emprego incorreto dos signos (definição mecânica: “ <i>entropia = grau de desordem dos sistemas</i> ”). Incapacidade de reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (associação do conceito de entropia com a energia livre de Gibbs, sem que fossem esclarecidas as relações entre os parâmetros termodinâmicos; Inabilidade em abstrair (desconhecimento das propriedades fundamentais relacionadas ao conceito de entropia e reversibilidade)
Desenvolvimento da atividade de exploração do objeto de aprendizagem intitulado Segunda Lei da Termodinâmica, concomitantemente às aulas teóricas.			
<b>Fase de avaliação</b>	Mapa conceitual final, produzido após pesquisa na <i>web</i> sobre os conceitos de calor, trabalho e entropia; teste final (segunda lei da Termodinâmica)	Estabelecimento da Zona de Perfil Racionalista (ZRa) (compreensão do conceito de entropia e reversibilidade aplicado aos processos e transformações termodinâmicas)	Emprego correto dos signos (compreensão molecular do conceito de entropia, análise correta das modificações de entropia no sistema e nas vizinhanças em uma transformação espontânea); Reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (determinação, por meio da variação de entropia do sistema e das vizinhanças, se um processo é termodinamicamente reversível) Realização de abstração (entropia com propriedade de função de estado aplicada ao ciclo de Carnot; compreensão do conceito de entropia associado ao conceito de energia livre de Gibbs)

A partir dessas duas análises anteriores, referentes ao processo de formação de conceitos de calor, trabalho e entropia entre os estudantes que compõem a turma A, caracterizados pelas iniciais A e J, convém observar os dados contidos nos Quadros 5.11, 5.12 e 5.13, relativos aos demais estudantes analisados. Nesses quadros, encontram-se especificadas as ideias iniciais e as Zonas de Perfil predominantes em cada aluno, logo no início do estudo, e também os parâmetros adotados na presente pesquisa, quanto ao nível de amadurecimento dos respectivos conceitos. Da mesma forma, podem ser observadas as ideias constatadas ao final da pesquisa, bem como as Zonas de Perfil características de cada aluno e o nível de amadurecimento dos respectivos conceitos ao final das aulas.



Quadro 5.11 – Síntese da análise da formação do conceito de calor - turma A

	Ideias iniciais sobre o conceito de calor	Zona de perfil calor (i)	Elaboração do conceito científico (S/ N)			Ideias finais sobre o conceito de calor	Zona de perfil calor (f)	Elaboração do conceito científico (S/ N)		
			SIG	REF	ABS			SIG	REF	ABS
Estudante A	Energia contida nos corpos = temperatura	ZA/ ZS	N	N	N	“... houve variação da quantidade de calor...”; “calor é... energia transferida entre dois corpos que possuem temperaturas diferentes”	ZS/ ZE	N	S	N
Estudante B	Energia em “transferência”	ZS	N	N	N	“O sistema transferiu energia sob a forma de calor...”	ZS/ ZE	S	S	N
Estudante D	Energia térmica em trânsito decorrente da diferença de temperatura entre no mínimo dois sistemas	ZS/ ZE	S	S	S	Energia térmica em trânsito decorrente da diferença de temperatura entre no mínimo dois sistemas	ZS/ ZRa	S	S	S
Estudante J	Energia em trânsito	ZS/ ZE	N/S*	S	S	Ampliação das ideias associadas ao conceito de calor, como por exemplo, as de capacidade calorífica e equilíbrio térmico; manutenção da visão substancialista, como em “... se o objeto está mais frio ou mais quente”	ZS/ ZRa	N/S*	S	S
Estudante L	Liberação de calor = reação exotérmica (sensação de	ZS	N	N	N	“... os dois corpos irão trocar calor...”	ZS	N	N	N

	quente) e absorção de calor = reação endotérmica (sensação de frio)									
Estudante M	Grau de agitação das moléculas = temperatura	ZS	N	N	N	<i>“o calor absorvido será maior...”</i>	ZS	N	N	N
Estudante MI	Grau de agitação das moléculas = temperatura	ZS	N	N	N	<i>“... com a quantidade de calor cedida...”</i>	ZS	N	N	S
Estudante Th	Forma de energia em que o corpo com mais calor tende a passar para o corpo com menos calor	ZS	N	N	N	Calor = energia térmica	ZS	N	N	N
Estudante To	Em processos exotérmicos e endotérmicos há perda e ganho de calor	ZS	N	N	N	<i>“... houve transferência de calor...”</i>	ZS/ ZE	N/S*	S	S

SIG = Empregou os signos de forma não mecânica; REF = Refletiu acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos; ABS = Abstraiu, ou seja, considerou separadamente os elementos fora das conexões reais e concretas dadas; N = Não; S = Sim;\* Ora utilizou-se o signo sob a visão substancialista e ora não; ZR = Zona Realista, ZA = Zona Animista; ZS = Zona Substancialista; ZE = Zona Empírica; ZRa = Zona Racionalista.

Quadro 5.12 – Síntese da análise da formação do conceito de trabalho de expansão - turma A

	Ideias iniciais sobre o conceito de trabalho de expansão	Zona de perfil trabalho (i)	Elaboração do conceito científico (S/ N)			Ideias finais sobre o conceito de trabalho de expansão	Zona de perfil trabalho (f)	Elaboração do conceito científico (S/ N)		
			SIG	REF	ABS			SIG	REF	ABS
Estudante A	Trabalho que o gás exerce para aumentar o seu volume. “ <i>As moléculas se repelem e consequentemente se expandem</i> ”.	NA	N	N	N	Trabalho de expansão pode ser representado pela área sob a curva do diagrama pressão versus volume; interpretação e aplicação correta das fórmulas matemáticas no problema proposto	NA	S	S	S
Estudante B	Trabalho que o gás exerce para aumentar o seu volume.	NA	N	N	N	“ <i>Trabalho é equivalente à área abaixo da curva no diagrama de pressão versus volume.</i> ”	NA	S	S	N
Estudante D	Energia gasta pelo sistema para aumentar o seu volume	NA	N	N	N	Identificação incorreta da região equivalente ao trabalho de expansão	NA	N	N	S
Estudante J	Trabalho no qual há aumento de volume devido à redução de pressão com temperatura constante	NA	N	N	N	Trabalho de expansão pode ser representado pela área sob a curva do diagrama pressão versus volume; interpretação e aplicação correta das fórmulas matemáticas no problema proposto	NA	S	S	S
Estudante L	Trabalho no qual há aumento de volume devido à redução de pressão com temperatura constante	NA	N	N	N	Trabalho no qual há aumento de volume devido à redução de pressão com temperatura constante	NA	N	N	N

Estudante M	Ao realizar trabalho de expansão, o gás aumenta de volume e diminui a pressão	NA	N	N	N	Ao realizar trabalho de expansão, o gás aumenta de volume e diminui a pressão	NA	N	N	N
Estudante MI	Ao realizar trabalho de expansão, o gás aumenta de volume e diminui a pressão	NA	N	N	N	Trabalho de expansão pode ser representado pela área sob a curva do diagrama pressão versus volume; interpretação e aplicação correta das fórmulas matemáticas no problema proposto	NA	S	S	S
Estudante Th	Ao realizar trabalho de expansão, o gás aumenta de volume e diminui a pressão	NA	N	N	N	Identificação incorreta da região equivalente ao trabalho de expansão	NA	N	N	N
Estudante To	Energia gasta pelo sistema para aumentar o seu volume	NA	N	N	N	Trabalho de expansão pode ser representado pela área sob a curva do diagrama pressão versus volume; interpretação e aplicação correta das fórmulas matemáticas no problema proposto	NA	S	S	S

SIG = Empregou os signos de forma não mecânica; REF = Refletiu acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos; ABS = Abstraiu, ou seja, considerou separadamente os elementos fora das conexões reais e concretas dadas; N = Não; S = Sim; NA = Não se aplica.

Quadro 5.13 – Síntese da análise da formação do conceito de entropia - turma A

	Ideias iniciais sobre o conceito de entropia	Zona de perfil entropia (i)	Elaboração do conceito científico (S/ N)			Ideias finais sobre o conceito de entropia	Zona de perfil entropia (f)	Elaboração do conceito científico (S/ N)		
			SIG	REF	ABS			SIG	REF	ABS
Estudante A	É o grau de desordem de um sistema	ZE	N	N	N	Variação de entropia como parâmetro de reversibilidade termodinâmica; entropia com propriedade de função de estado aplicada ao ciclo de Carnot.	ZF	S	S	N
Estudante B	É o grau de desordem de um sistema	ZE	N	N	N	NR	NP	NR	NR	NR
Estudante D	É o grau de desordem de um sistema	ZE	N	N	N	NR	NP	NR	NR	NR
Estudante J	É o grau de desordem de um sistema; uso da expressão $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$	ZE/ ZF	N	N	N	Entropia associada ao conceito de energia livre de Gibbs e à reversibilidade das transformações termodinâmicas; entropia com propriedade de função de estado aplicada ao ciclo de Carnot.	ZRa	S	S	S
Estudante L	É o grau de desordem de um sistema	ZE	N	N	N	É o grau de desordem de um sistema	ZE	N	N	S
Estudante M	É o grau de desordem de um sistema	ZE	N	N	N	É o grau de desordem de um sistema	ZE	N	N	N

Estudante Ml	É o grau de desordem de um sistema	ZE	N	N	N	Variação de entropia como parâmetro de reversibilidade termodinâmica; entropia com propriedade de função de estado aplicada ao ciclo de Carnot.	ZE/ ZF	S	S	S
Estudante Th	É o grau de desordem de um sistema	ZE	N	N	N	Variação de entropia como parâmetro de reversibilidade termodinâmica; entropia com propriedade de função de estado aplicada ao ciclo de Carnot.	ZE/ ZF	S	S	S
Estudante To	É o grau de desordem de um sistema	ZE	N	N	N	NR	NR	NR	NR	NR

SIG = Empregou os signos de forma não mecânica; REF = Refletiu acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos; ABS = Abstraiu, ou seja, considerou separadamente os elementos fora das conexões reais e concretas dadas; N = Não; S = Sim; NR = não realizou a prova; ZP = Zona Perceptiva/ intuitiva; ZE = Zona Empírica; ZF = Zona Formalista; ZRa = Zona Racionalista.

A análise dos dados coletados por meio do questionário sócioacadêmico e do mapa conceitual transmitiu a ideia de que a turma A consistia de um grupo bastante heterogêneo, sob o aspecto de amadurecimento conceitual das ideias relacionadas ao conceito de calor. Já quanto ao conceito de entropia, não se pode afirmar isso, uma vez que praticamente todos os alunos (com exceção do estudante J) foram classificados como pertencentes à Zona de Perfil Empírica para esse conceito. Com relação à análise das ideias vinculadas ao conceito de trabalho de expansão, observa-se de modo geral a predominância de ideias superficiais e pouco estruturadas entre os alunos, o que caracterizou a falta de amadurecimento conceitual. p

Especificamente sobre as concepções iniciais relacionadas ao conceito de calor, observa-se que a existência de diferentes níveis de compreensão (ou perfis conceituais) teve relação com a formação acadêmica prévia dos estudantes. Isso porque aqueles alunos portadores de diploma do curso técnico em Química (B, D, J, L, M, To) demonstraram ter conhecimentos mais aprofundados a respeito do respectivo conceito, o que refletiu na revelação de Zonas de Perfil Conceitual hierarquicamente mais desenvolvidas, como as zonas Substancialista e Empírica, enquanto os estudantes sem formação técnica na área (A, Ml, Th) mantiveram-se nas Zonas Animista e Substancialista.

Já quanto à análise das ideias iniciais dos alunos relacionadas aos conceitos de trabalho de expansão e entropia, não ficou evidenciada nenhuma correlação positiva envolvendo o nível de compreensão nos referidos conceitos e a formação acadêmica anterior. Nesses casos, comparando-se as notas dos testes posteriormente à realização das aulas mediadas por recursos computacionais, percebe-se que não houve diferença significativa entre o comportamento ou a evolução conceitual dos estudantes que realizaram curso técnico na área daqueles que concluíram outro curso ou modalidade. Ou seja, o uso dos recursos computacionais juntamente com as aulas teóricas não funcionou como um mecanismo seletivo ou de exclusão, em que somente o aluno mais experiente pudesse evoluir no que diz respeito ao seu amadurecimento conceitual. De fato, as aulas mediadas por recursos computacionais permitiram que alguns estudantes que não realizaram curso técnico em Química e nem possuíam experiência na área avançassem tanto quanto os outros, sob o ponto de vista da aprendizagem dos conceitos.

Ainda sobre a análise das ideias relacionadas ao conceito de calor, cabe fazer alguns comentários em termos da existência de determinadas características relacionadas à elaboração do conceito científico (como emprego do signo, reflexão e abstração) e também do estabelecimento de novas Zonas de Perfil Conceitual:

- Inferiu-se que 67% dos estudantes que compuseram a turma A compartilhavam, no início das aulas, a ideia de que o calor é uma espécie de substância presente nos corpos ou sistemas que se encontram aquecidos. A noção substancialista de calor, por algumas vezes (como foi o caso dos estudantes D e J) veio acompanhada de ideias empíricas mais estruturadas, como por exemplo, àquelas relacionadas à diferenciação entre calor e temperatura e à necessidade de existência de pelo menos dois sistemas envolvidos nas transformações térmicas. Mas houve o caso do estudante A que se utilizou de ideias animistas e substancialistas, nas quais ora o calor era considerado um atributo dos materiais que desejavam receber ou fornecer calor, e ora era uma substância;
- Destacam-se as ideias apresentadas pelo estudante identificado como D, que mesmo antes da realização das aulas e das atividades computacionais, soube utilizar o conceito de forma correta e, além disso, apresentou boa capacidade de abstração e reflexão sobre as características e propriedades relacionadas ao estudo dos fenômenos subjacentes;
- Em relação ao amadurecimento conceitual posterior à realização das aulas teóricas e das aulas práticas computacionais, notou-se que em 56% dos estudantes houve ampliação da(s) Zona(s) de Perfil, o que também ficou demonstrado por meio do surgimento das características de emprego do signo, reflexão e abstração, utilizados para indicar a presença do conceito científico elaborado. Dentre essas características, a que se mostrou presente com mais dificuldade foi a utilização correta do signo, uma vez que muitos estudantes retrataram o conceito de calor sob o ponto de vista de uma substância (ou energia) que poderia ser transferida de um corpo mais “quente” para outro mais “frio”;
- O surgimento no aluno da reflexão acerca das propriedades essenciais do conceito de calor e também da abstração (aplicação correta das suas ideias nas situações que envolvem o estudo dos fenômenos térmicos) não garantiu a presença do aspecto relativo à utilização correta do signo. Com base nisso, conclui-se que a contribuição da simulação computacional tenha sido no sentido restrito de explicar as transformações envolvidas em um sistema que opera respeitando o primeiro princípio da Termodinâmica, ou da conservação da energia, a partir do qual a sua energia interna pode variar tanto pela realização de trabalho quanto pela produção de calor. Ou seja, a abordagem computacional proposta chegou a



envolver, de certo modo, a caracterização dos conceitos de calor e temperatura, de modo que o calor seria uma forma de energia<sup>28</sup> em trânsito existente entre pelo menos dois sistemas com temperaturas diferentes, enquanto que a temperatura seria uma propriedade indicativa do fluxo de energia entre dois corpos em contato (CALDEIRA E MARTINS, 1990). Apesar disso, a simulação para o equivalente mecânico de calor tem suas raízes nas ideias desenvolvidas no século XVIII, cuja principal característica do calor (tratado como calórico) diz respeito à sua propriedade de matéria ou substância, uma espécie de fluido. Sendo assim, reconhecem-se as limitações de tal abordagem para a modificação da estrutura cognitiva dos alunos, de forma que as suas concepções alternativas sejam superadas pelo conceito científico corretamente aceito. Apesar de se concordar com Amaral e Mortimer (2001) ao defenderem a ideia de que os estudantes podem se utilizar de diferentes e complementares maneiras para representar um mesmo conceito dependendo da situação envolvida, destaca-se que a forte presença, no cotidiano dos alunos, das ideias animistas e substancialistas para o conceito de calor precisam contrastar com um maior rigor científico por parte do ensino formal nos diferentes níveis. Conforme destacam Caldeira e Martins (1990), é preciso reservar um cuidado maior para a explicação de termos ligados às ideias cotidianas dos estudantes e além disso, provocar a desestruturação do modelo conceitual vinculado ao calórico, evitando termos como “quantidade de calor”, energia térmica, dentre outros.

Destacam-se ainda algumas observações envolvendo as ideias relativas aos conceitos de trabalho de expansão e entropia:

- Em 100% dos alunos, as ideias iniciais sobre o conceito de trabalho de expansão e entropia não passavam de fragmentos do que já fora estudado anteriormente, mas sem nenhum fundamento teórico que sustentasse a impressão de que os conceitos existiam na sua forma elaborada;
- Após as aulas mediadas pelo recurso computacional de modelagem (segunda atividade voltada ao conceito de trabalho de expansão), notou-se que em 66,7% dos casos, houve melhora em algum aspecto do processo de conceitualização,

---

<sup>28</sup> Apesar de se atribuir com frequência a característica de energia ao conceito de calor, deve-se esclarecer que ambos não são equivalentes, uma vez que energia é mensurável, enquanto calor só existe durante um processo de transferência.

sendo que em 44,4% do total, constatou-se a presença do conceito científico na sua forma elaborada (emprego dos signos, reflexão e abstração);

- Quanto à terceira atividade envolvendo a simulação com o objeto de aprendizagem Segunda lei da Termodinâmica, relativa ao conceito de entropia, pode-se afirmar que as aulas mediadas por esse recurso computacional foram responsáveis por um aumento de 55,6% dos casos, sob o aspecto do amadurecimento conceitual. Cabe destacar que em 33,3% dos casos, não foi possível inferir o desempenho dos alunos e, portanto, não se sabe se houve alguma melhora. Já nos 11,1% restantes, não houve avanço aparente.

### 5.5.2. Segundo caso ou turma B (2011-I)

Nesse segundo caso, contou-se com outros dez estudantes identificados pelas letras I, Je, K, La, Li, Lu, Ma, P, Pr e T. Assim como ocorrera na turma anterior, analisaram-se as produções individuais dos alunos nas duas fases (diagnóstico e avaliação) a respeito da aprendizagem dos conceitos de calor, trabalho de expansão e entropia. Diferentemente da abordagem da turma A, que contou com três atividades computacionais realizadas isoladamente em determinados momentos das aulas regulares, na turma B, os recursos computacionais estiveram integrados às aulas teóricas sob a forma de sequências de atividades<sup>29</sup>, utilizando-se para isso um ambiente de aprendizagem<sup>30</sup> especificamente desenvolvido para esse fim.

Conforme especificado na Seção 4.1, foram estruturadas três sequências de atividades: primeira sequência de atividades envolvendo o equivalente mecânico de calor (experimento de Joule); segunda sequência de atividades envolvendo o cálculo de trabalho expansivo isotérmico para sistemas envolvendo gases ideais e reais; e terceira sequência de atividades, voltada ao conceito de entropia, denominada “A Termodinâmica e o Desenvolvimento das Máquinas Térmicas”.

Na fase de diagnóstico, foram levados em consideração, além do questionário sócio acadêmico, o teste inicial de conhecimentos (objetivo), os mapas conceituais construídos pelos alunos, as respostas ao questionamento sobre as máquinas térmicas e os registros no ambiente PBworks.

Na fase de avaliação, foram observadas as respostas ao teste final (discursivo) envolvendo o estudo da primeira lei da Termodinâmica e o exercício prático sobre trabalho reversível e irreversível.

Da mesma forma que se procedeu com a turma A, realizou-se a análise do processo de amadurecimento conceitual dos conceitos de calor e trabalho expansivo de acordo com as respostas apresentadas pelos estudantes ao teste final envolvendo o estudo da primeira lei da Termodinâmica, com foco nos seguintes aspectos: a) emprego correto dos signos de forma não mecânica (T1-q1 e q3); b) capacidade de refletir acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos (T1-q1 e q5); e c) habilidade de abstrair, ou seja, de considerar separadamente os elementos fora das conexões reais e concretas dadas (T1-q2, q3 e q4).

Como nesse segundo caso alguns imprevistos ocorridos inviabilizaram a aplicação do

---

<sup>29</sup> Sob a concepção de Zabala (1998), descrita na Seção 3.3.

<sup>30</sup> Mais detalhes sobre o software PBworks, utilizado na construção do ambiente de aprendizagem, podem ser encontrados na Seção 2.2.

teste final voltado ao estudo da segunda lei da Termodinâmica, concentrar-se-á a análise do conceito de entropia na concepção inicial dos estudantes, mediante os registros das respostas ao questionário sócioacadêmico, e também nos questionamentos envolvendo o surgimento e o funcionamento das máquinas térmicas.

- **ESTUDANTE Ma:** Concluiu o Ensino Médio em escola estadual e não realizou curso técnico profissionalizante. Apesar de não ter estudado a disciplina de Físico-Química no ensino médio, o estudante afirmou gostar dos conteúdos relacionados a essa área da Química. Sua concepção inicial acerca do conceito de calor, captada por meio do questionário, restringiu-se à reprodução mecânica da expressão matemática “ $q = m.c.\Delta T$ ”, a partir da qual calor e temperatura se relacionam por meio da capacidade calorífica do objeto ou material. As respostas ao teste inicial de conhecimentos (Apêndice J) indicam a compreensão de que o calor representa a quantidade de energia contida em determinado corpo, cuja característica equivaleria ao conceito de temperatura. Tal afirmação pode ser ilustrada pela resposta à questão de número 9, na qual o estudante afirma que a diferença entre duas esferas idênticas – uma que saiu da geladeira e outra que saiu do forno – é que uma “contém” calor e a outra não. Já na questão de número 16, confirma-se a compreensão de que um objeto troca calor com as vizinhanças porque “*possui mais energia*”.

Esse tipo de concepção, apesar de equivocado, reflete a crença de muitos estudantes (mesmo em nível universitário) de que o calor representa uma quantidade de energia que os corpos possuem. Pensando dessa forma, costuma-se acreditar que um objeto feito de material com boa condutibilidade térmica poderia estar mais “quente” do que outro não tão bom condutor, ainda que ambos estejam, há algum tempo, em uma mesma sala com temperatura controlada.

Resultados semelhantes foram observados tanto por Meltzer (2004), durante pesquisa realizada em universidades americanas, quanto por Caldeira e Martins (1990), ao investigarem os conceitos de calor e temperatura entre alunos de uma universidade portuguesa. As respostas apresentadas refletem uma inconsistência de ideias fragmentadas, que não representam em nenhuma hipótese uma forma superior de atividade intelectual. De acordo com a classificação proposta por Amaral e Mortimer (2001), essas ideias para o conceito de calor caracterizam a predominância da Zona de Perfil Substancialista (ZS).

A análise do mapa conceitual desenvolvido pelo estudante Ma (Figura 5.32) confirma a hipótese de que os vínculos associativos existentes entre os conceitos de calor, trabalho de expansão e entropia encontravam-se bastante frágeis e pouco complexos.

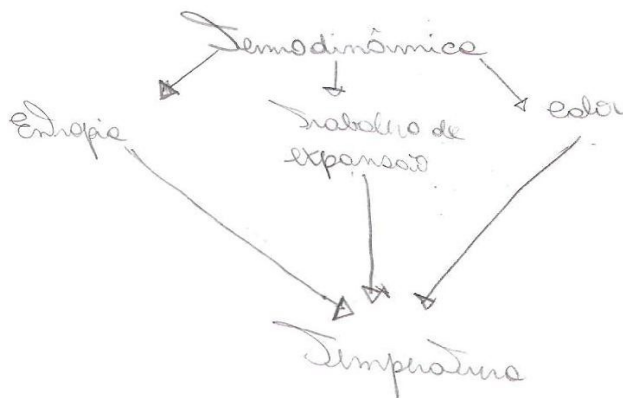


Figura 5.32 – Mapa conceitual inicial - estudante Ma (2011-I)

Quanto aos conceitos de trabalho de expansão e entropia, as respostas ao questionário indicaram a existência de uma vaga lembrança acerca desses dois conceitos, quais sejam: a) que o trabalho de expansão pode ser associado a uma representação gráfica do diagrama de pressão *versus* volume; b) que o conceito de entropia remete à ideia de desordem do sistema.

No primeiro caso, a incapacidade de definição do conceito de trabalho de expansão comprovou a existência de um conhecimento fragmentado e que carece de fundamentos teóricos, o que nos leva a crer que a estrutura cognitiva do estudante não contemplava esse conceito sob a sua forma elaborada.

Já a ideia do conceito de entropia associada simplesmente ao “*grau de desordem de um sistema*”, sem que tenham sido feitas maiores considerações teóricas, indica a predominância da Zona de Perfil Empírica (ZE).

Em todos os três casos, ou seja, tanto para as explicações remetidas à ideia de calor, quanto às ideias de trabalho de expansão e entropia, pode-se afirmar que a inexistência de um pensamento lógico abstrato, bem como a falta de domínio dos fenômenos inter-relacionados dentro de um sistema integrado de conceitos, caracterizam uma comunicação que opera mediante pseudoconceitos.

Posteriormente à realização da primeira sequência de atividades envolvendo a simulação do equivalente mecânico de calor (experimento de Joule), consegue-se observar, a partir da captura de tela do ambiente PBworks (Figura 5.33), que as ideias

intuitivas do aluno acerca dos conceitos de calor e temperatura evoluíram de “*calor é transferência de energia para um corpo ou sistema*” e “*temperatura é a liberação de calor*” para “*calor é a energia transferida do sistema para o meio devido apenas à diferença de temperatura entre eles*”.

The screenshot shows a PBworks workspace page. At the top, there are navigation links: 'My PBworks', 'Workspaces', and 'licenciaturaemquimica2011'. On the right, there is a search bar and user information for 'Rodrigo Garrett'. The main content area has a title 'atividade 1 grupo 2' and a subtitle 'Calor é transferencia de energia para um corpo ou sistema. Temperatura é a liberação de calor.' Below this, there is a paragraph: 'Trabalho é realizado por um sistema se o único efeito sobre o meio puder ser caracterizado como o levantamento de uma massa. Calor: energia transferida do sistema para o meio devido apenas à diferença de temperatura entre eles.' Another paragraph follows: 'Todo corpo tem sua energia térmica, pois todos os corpos e regiões são compostos de partículas (em quantidades variadas) e essas partículas estão sempre em movimento, toda a energia produzida por essa movimentação, é chamada de energia térmica.' At the bottom of the text is a small image of a glowing orange and red sphere, possibly representing a star or a planet. On the right side of the page, there is a sidebar with options like 'Create a page', 'Upload files', 'Invite more people', and 'Share this page'.

Figura 5.33 – Captura de tela do ambiente PBworks - grupo 2 (2011-I)

Apesar da superficialidade da resposta apresentada, percebe-se um avanço no sentido em que foi estabelecida uma relação entre a ideia de calor com a ideia de diferença de temperatura. Contudo, não se pode afirmar que houve algum amadurecimento conceitual, pois se trata apenas de um indício que precisa ser mais bem investigado, como se constatará por meio da análise das respostas ao teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica.

Já a partir da realização da segunda sequência de atividades (descrita na Seção 4.1) envolvendo a modelagem computacional para trabalho expansivo do tipo isotérmico, pôde-se constatar o surgimento de determinadas habilidades que sugerem um aumento da atividade intelectual. Como ver-se-ão a seguir, os indícios surgiram principalmente por meio das observações fornecidas durante a tarefa de modelagem com o *software* Modellus, da resolução do exercício proposto e das respostas ao teste final de conhecimentos.

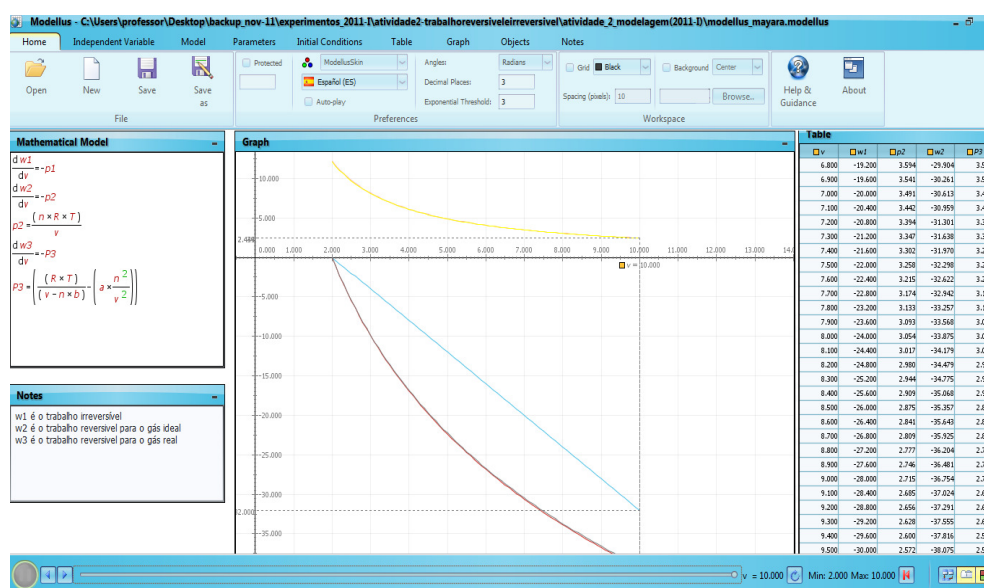


Figura 5.34 – Atividade de modelagem computacional realizada no Modélus pelo estudante Ma (2011-I)

Observando a área reservada às notas (Figura 5.34), percebe-se que o aluno foi capaz de identificar as linhas do gráfico que correspondem ao trabalho irreversível e reversível (para gás ideal e gás real). Já as interpretações dessas linhas possíveis por meio do registro das observações do aluno, como quando ele transcreve os seguintes trechos: “com o aumento do volume observamos que o trabalho vai se tornando cada vez mais negativo e conseqüentemente com o aumento do volume a pressão se reduz, porém o trabalho se mantém quase constante (isso ocorre no trabalho 1 que se encontra na cor azul do gráfico)... o trabalho 1 é o trabalho irreversível com pressão constante”; “Já o trabalho 2 que se encontra na cor vermelha o processo é quase o mesmo porém a taxa do o trabalho varia mais em relação ao trabalho 3... o trabalho 2 é o trabalho reversível para o gás ideal enquanto que o trabalho 3 é o reversível para o gás real”.

Em primeiro lugar, destaca-se a habilidade do aluno em representar e testar os modelos propostos; em segundo, a capacidade de analisar o cálculo de trabalho em termos de taxa de variação. Outros aspectos, no entanto, devem ser mais bem explorados por meio das respostas fornecidas pelo estudante ao teste final de conhecimentos.

Na resposta à primeira questão (T1-q1), o estudante demonstrou conhecer, de

forma inter-relacionada, os aspectos microscópicos associados aos conceitos de energia interna, calor e temperatura (Figura 5.35). Na interpretação do problema, foi levado ainda em consideração o fato de as massas dos gases serem diferentes, o que significa dizer que houve plena compreensão da situação proposta, com reflexão acerca das propriedades essenciais dos sistemas descritos.

1) (1,0 ponto) **Dois quilogramas** de um gás ideal são colocados em um recipiente A, e outros **quatro quilogramas** do mesmo gás ideal são colocados em um recipiente B. A **energia cinética total das moléculas** do gás no recipiente A (ou seja, a soma das energias das moléculas individuais) é **exatamente igual à energia cinética total das moléculas do gás no recipiente B**. Os dois recipientes são colocados em contato térmico um com o outro, mas ficam isolados do ambiente ao seu redor, ou seja, das vizinhanças. Quando os dois recipientes entrarem em contato um com o outro, o que se poderá esperar das suas temperaturas? Deverão **aumentar, diminuir ou permanecer constantes**? **Explique sua resposta.**

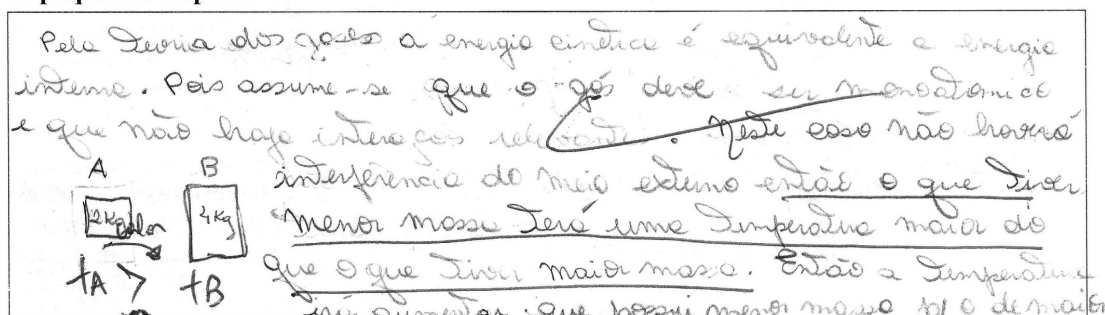


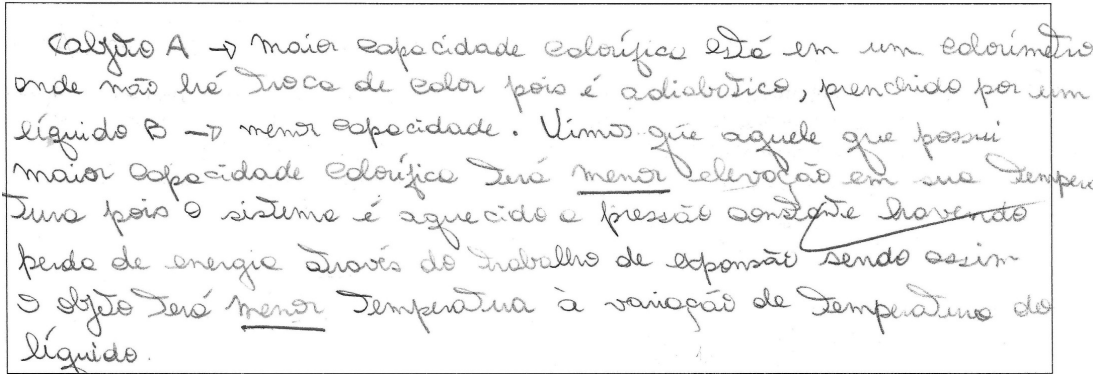
Figura 5.35 – Resposta à questão de número 1 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q1) - estudante Ma

O registro dessas ideias pelo aluno Ma representa um grande avanço em termos de desenvolvimento cognitivo, uma vez que sua concepção inicial sobre o conceito de calor se mostrou bastante deficitária de fundamentos e vínculos associativos, ao passo que com a resposta ao teste, descortinou-se uma forma superior de comportamento, mais complexo.

Com a resposta à segunda questão (T1-q2) envolvendo a situação de produção de calor em um calorímetro adiabático, o estudante demonstrou ainda boa capacidade de abstração acerca das propriedades dos objetos e das transformações indicadas (Figura 5.36).



2) (1,0 ponto) Um objeto A (de maior capacidade calorífica) é adicionado a um calorímetro adiabático que está parcialmente preenchido com um líquido B (de menor capacidade calorífica). A massa do objeto é a mesma do líquido, mas sua temperatura (do objeto) é maior do que a temperatura inicial do líquido. Após isso, o calorímetro é deixado em repouso por várias horas. Admitindo-se que a capacidade calorífica do calorímetro seja nula, responda: depois de ultrapassado o tempo necessário para que seja atingido o equilíbrio térmico entre o objeto e o líquido, deverá se constatar que a variação de temperatura do objeto será **maior, menor ou igual** à variação de temperatura do líquido? **Explique sua resposta.**

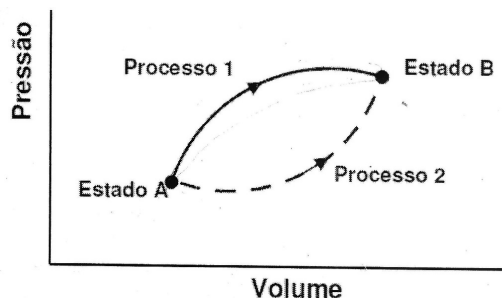


Objeto A  $\rightarrow$  maior capacidade calorífica está em um calorímetro onde não há troca de calor pois é adiabático, preenchido por um líquido B  $\rightarrow$  menor capacidade. Vimos que aquele que possui maior capacidade calorífica tem menor elevação em sua temperatura pois o sistema é aquecido e pressão constante havendo perda de energia através do trabalho de expansão sendo assim o objeto tem menor temperatura à variação de temperatura do líquido.

Figura 5.36 – Resposta à questão de número 2 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q2) - estudante Ma

Tanto na resposta à questão de número 2 quanto na resposta à questão de número 3, a aplicação do conceito de calor em situações específicas, de forma não mecânica e envolvendo diversas funções intelectuais como atenção, representação, abstração e formação de juízo, corroboram para a constatação de que existe um relativo amadurecimento conceitual por parte do estudante Ma.

A respeito do nível de compreensão acerca do conceito de trabalho de expansão, a resposta ao item “a” da questão de número 3 (T1-q3) indica que o estudante não soube compreender que as variações infinitesimais desse tipo de trabalho originam uma diferencial não exata, ou seja, ele não se configura como função de estado (Figura 5.37).



Considere que  $w$  representa o trabalho realizado pelo sistema e  $q$  representa o calor transferido para o sistema nos processos 1 e 2 para responder as questões a seguir:

- a. O trabalho realizado pelo sistema durante o processo 1 é (em módulo) **maior, menor ou igual** ao trabalho realizado pelo sistema no processo 2? **Explique sua resposta.**

*É igual pois trabalho é função de estado não depende do caminho que foi percorrido e sim do seu estado final.*

- b. O calor absorvido pelo sistema durante o processo 1 é (em módulo) **maior, menor ou igual** ao calor transferido para o sistema no processo 2? **Explique sua resposta.**

*Calor não é função de estado então depende do caminho percorrido neste caso o caminho percorrido durante o processo 1 absorve mais calor do que no processo 2 pois parte deste calor será perdida. Então o calor absorvido em 1 é maior.*

- c. Em qual processo ocorre maior variação na energia total (cinética mais potencial) de todos os átomos no sistema: **o Processo n° 1, o Processo n° 2, ou ambos os processos produzem a mesma variação?** **Explique sua resposta.**

*Em ambos os processos produzem a mesma variação pois variação de energia também é função de estado.*

Figura 5.37 – Resposta à questão de número 3 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q3) - estudante Ma

Apesar disso, as respostas aos itens “b” e “c” da mesma questão (T1-q3) indicaram corretamente que a propriedade de função de estado pode ser aplicada ao conceito de energia interna, mas não ao conceito de calor.

Mesmo a dificuldade em identificar o cálculo de trabalho isotérmico de expansão como a área abaixo da curva do diagrama de pressão *versus* volume e, além disso, em determinar quando o sistema realiza trabalho ou quando as vizinhanças realizam trabalho sobre o sistema, não impediram o aluno de representar e aplicar corretamente as expressões matemáticas na situação proposta (Figura 5.38). Ou seja, a falta de domínio conceitual não o impediu de abstrair e operar com os signos de forma sistemática e organizada, o que demonstra que esse tipo de atividade intelectual não representa, mesmo na sua integralidade, a capacidade de operar mediante conceitos

científicos.

4) (1,5 pontos) Uma amostra de 2,0 moles de He se expande isotermicamente, a 22°C, de 22,8L até 31,7L, (a) reversivelmente, (b) contra pressão externa constante igual à pressão final do gás e (c) livremente (contra pressão externa nula). Em cada processo, calcule  $q$ ,  $w$ ,  $\Delta U$  e  $\Delta H$ .

$n = 2,0 \text{ moles He}$ $T_i = 22^\circ\text{C}$ $V_i = 22,8 \text{ L}$ $V_f = 31,7 \text{ L}$	<p>a) <math>w = -nRT \ln \frac{V_f}{V_i}</math>  <math>w = -2 \cdot 8,314 \cdot 295 \cdot \ln \frac{31,7}{22,8}</math>  <math>w = -1636,5 \text{ J} = -1,6 \text{ kJ}</math>  <math>\Delta U = q + w</math>  <math>\Delta U = 0</math> pois é isotérmica  <math>q = -w</math>  <math>q = 1,6 \text{ kJ}</math> e <math>\Delta H = 0</math></p>	<p>b) <math>PV = nRT</math>  <math>P \cdot 31,7 = 2 \cdot 0,082 \cdot 295</math>  <math>P = 3,52 \text{ atm}</math> <math>\Delta U = 0</math>  <math>\Delta H = 0</math>  <math>w = -P_{\text{ext}} \cdot \Delta V</math> <math>q = 1,37 \text{ kJ}</math>  <math>w = -3,52 \cdot 8,9</math>  <math>w = -31,92 \text{ atm} \cdot \text{L}</math>  <math>w = -1,37 \text{ kJ}</math></p>
<p>2) <math>P_{\text{ext}} = 0</math> <math>\Delta U = 0</math> <math>\Delta U = q + w</math>  <math>w = -P_{\text{ext}} \cdot \Delta V</math> <math>\Delta H = 0</math> <math>q = 0</math>  <math>w = 0</math> <math>\Delta H = 0</math>          depois escreve no bloco</p>	<p><math>0,082 \text{ atm} - 8,814 \text{ J}</math>  <math>-31,92 \text{ atm} - x</math>  <math>x = -1373,6 \text{ J}</math></p>	

Figura 5.38 – Resposta à questão de número 4 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q4) - estudante Ma

Mais especificamente sobre o conceito de entropia, comentou-se anteriormente que se basearia a análise no questionário socioacadêmico e na concepção inicial do aluno durante os questionamentos envolvendo o surgimento e o funcionamento das máquinas térmicas. Nesse sentido, destacam-se as ideias incompletas e incorretas apresentadas pelo estudante Ma, primeiramente, ao fornecer uma definição mecânica de entropia (“*entropia é o grau de desordem*”) por meio do questionário, e segundo, frente à falta de argumentos aos seguintes questionamentos iniciais:

1. O que são máquinas térmicas e como funcionam? Dê exemplos
2. Como surgiram as máquinas térmicas?
3. Pode uma máquina térmica funcionar somente extraindo calor de uma fonte quente, sem liberar calor para o reservatório frio? Explique
4. Pode uma máquina térmica apresentar rendimento maior do que 100%? Explique

Das cinco questões propostas, o estudante se arriscou a responder apenas a primeira, apresentando a seguinte frase: “*máquinas térmicas...transformam temperatura em calor ... ex: máquina de Carnot. Porém não são 100% eficientes e não produzem trabalho*”. Para todas as outras perguntas, ele confessou não se lembrar da

resposta. Vale ressaltar que algumas ideias relacionadas a esse assunto já havia sido abordado em uma ocasião anterior, em outra disciplina. Ou seja, nesse caso ficou evidente a falta de experiência ou conhecimentos prévios que sustentassem a resposta do aluno, bem como das funções superiores que caracterizassem o emprego correto dos signos, a reflexão sobre as propriedades essenciais dos objetos e a abstração dos elementos fora das conexões reais dadas.

Nos Quadros 5.14, 5.15 e 5.16 ilustrados abaixo, encontram-se representados, sob a forma esquemática, a descrição dos instrumentos de coleta de dados, as categorias de análise e os recortes extraídos dos textos do estudante. Mas para caracterizar cada aspecto do processo de formação dos respectivos conceitos de calor, trabalho e entropia.

Quadro 5.14 – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de calor - estudante Ma (2011-I)

Momento das atividades	Instrumentos de coleta de dados	Análise do conceito de calor	
		Categoria: análise do perfil conceitual	Categoria: elaboração do conceito
<b>Fase de diagnóstico</b>	Questionário socio acadêmico, teste inicial de conhecimentos (objetivo), mapa conceitual e registro no ambiente PBworks.	Predominância da Zona de Perfil Substancialista (ZS) (“ <i>calor representa a quantidade de energia contida em um corpo; uma esfera “contém” calor e a outra não</i> ”; $q = m.c.\Delta T$ ).	Emprego incorreto dos signos (calor = energia contida nos corpos = temperatura) Incapacidade de reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (“ <i>um corpo possui calor e o outro não</i> ”) Inabilidade em abstrair (incapacidade em explicar corretamente a expressão $q = m.c.\Delta T$ )
Primeira sequência de atividades envolvendo o equivalente mecânico de calor (experimento de Joule)			
<b>Fase de avaliação</b>	Hiperdocumentos gerados no ambiente PBworks e Log do ambiente; teste final (primeira lei da Termodinâmica)	Manutenção da visão substancialista (ZS) de calor (“... absorveu mais calor”; “... houve troca de calor”) Indícios de existência da Zona de Perfil Empírica (ZE) (“ <i>calor é a transferência de energia que ocorre em virtude da diferença de temperatura entre o sistema e suas vizinhanças</i> ”);	Emprego incorreto dos signos (“... parte do calor será perdida...”) T1-q3; Emprego correto na expressão “ <i>calor é a transferência de energia que ocorre em virtude da diferença de temperatura entre o sistema e suas vizinhanças</i> ” – hiperdocumento (Figura 5.33) Reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (compreensão de que dois corpos que possuem a mesma energia cinética total, logo a mesma temperatura, ao serem postos em contato, não trocarão calor) Realização de abstração (correta aplicação do conceito de capacidade calorífica na situação prática de produção de calor envolvendo dois corpos em diferentes temperaturas)

Quadro 5.15 – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de trabalho de expansão - estudante Ma (2011-I)

Momento das atividades	Instrumentos de coleta de dados	Análise do conceito de trabalho de expansão	
		Categoria: análise do perfil conceitual	Categoria: elaboração do conceito
<b>Fase de diagnóstico</b>	Questionário socio acadêmico, teste inicial de conhecimentos (objetivo) e mapa conceitual	Não se aplica	Emprego incorreto dos signos (trabalho de expansão associado a uma representação gráfica do diagrama de pressão <i>versus</i> volume, sem maiores explicações) Incapacidade de reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (houve definição puramente mecânica, ou seja, faltou detalhar as propriedades relativas ao conceito de trabalho) Inabilidade em abstrair (não soube descrever e interpretar corretamente o conceito nas situações propostas)
Segunda sequência de atividades envolvendo o cálculo de trabalho expansivo isotérmico para sistemas envolvendo gases ideais e reais.			
<b>Fase de avaliação</b>	Exercício sobre trabalho reversível e irreversível; teste final (primeira lei da Termodinâmica)	Não se aplica	Emprego incorreto dos signos (trabalho como função de estado; não reconhecimento do trabalho de expansão como a área sob a curva do diagrama pressão <i>versus</i> volume); Incapacidade de reflexão (não diferenciação de trabalho realizado sobre o sistema do trabalho realizado pelo sistema) Realização de abstração (interpretação do conceito e aplicação correta das fórmulas e expressões matemáticas no problema proposto)

Quadro 5.16 – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de entropia - estudante Ma (2011-I)

Momento das atividades	Instrumentos de coleta de dados	Análise do conceito de entropia	
		Categoria: análise do perfil conceitual	Categoria: elaboração do conceito
<b>Fase de diagnóstico</b>	Questionário socio acadêmico, questionamento sobre as máquinas térmicas e mapa conceitual	Predominância da Zona de Perfil Empírica (ZE) (entropia é “o grau de desordem de um sistema”)	Emprego incorreto dos signos (definição mecânica: “ <i>entropia = grau de desordem dos sistemas</i> ”) Incapacidade de reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (“ <i>a entropia dos sistemas sempre deve aumentar</i> ”) Inabilidade em abstrair (não soube descrever e interpretar corretamente o conceito nas situações propostas)
Terceira sequência de atividades intitulada “A Termodinâmica e o desenvolvimento das máquinas térmicas”			
<b>Fase de avaliação</b>	Não avaliado	Não avaliado	Não avaliado

- **ESTUDANTE Lu:** Concluiu tanto o Ensino Médio quanto o curso técnico em Química no próprio Instituto. Depois disso, atuou na mesma área de formação como técnica de análises de processos químicos, e no momento da entrevista, fazia parte de um grupo de educação tutorial financiado pelo ministério da educação na área de ensino e aprendizagem dos conteúdos de Química, Física e Biologia. O aluno confessou possuir alguma afinidade com os conteúdos da Físico-química, embora suas maiores dificuldades envolvam a aplicação de fórmulas e cálculos matemáticos na resolução de exercícios.

Questionado acerca da sua compreensão respectiva ao conceito de calor, o aluno descreveu como sendo: “*a transferência de energia de um sistema mais aquecido para outro*”. De fato, as respostas às questões 1 e 2 do teste inicial de conhecimentos (Apêndice J) confirmam a compreensão de que são necessários dois corpos para que haja a produção de calor, embora as respostas incorretas fornecidas às questões de número 3 e 4 - indicando a ideia de que calor é a energia contida em um corpo - reflitam a persistência de uma visão tipicamente substancialista (ZS) para o referido conceito.

Essa suspeita se confirma quando se analisa o conteúdo de um comentário acrescentado pelo estudante no teste de conhecimentos, que diz o seguinte: “*a massa influencia na transferência de calor? (...) pois o calor na minha concepção é a transferência de energia de um sistema mais quente para outro menos quente (...) essa energia é intrínseca ao corpo? Se for, a massa influi?*”

Ou seja, não restam dúvidas quanto à existência, na estrutura cognitiva do estudante, das ideias relacionadas à visão substancialista para o conceito de calor, a partir da qual o mesmo adquire status de substância, ou um tipo de fluido que confere energia aos materiais. Nesses termos, quanto mais calor um corpo possui, maior será a sua temperatura, ou seja, a medida quantitativa desse fluido.

Observando-se o mapa conceitual construído pelo aluno Lu (Figura 5.39), chega-se à conclusão de que também esse instrumento indica a existência de uma grande fragilidade envolvendo os vínculos associativos entre os conceitos de calor, trabalho de expansão e entropia.



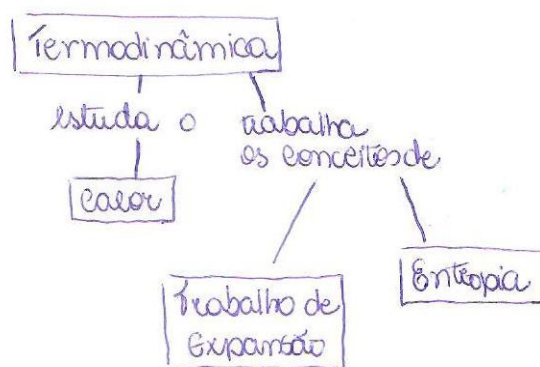


Figura 5.39 – Mapa conceitual inicial - estudante Lu (2011-I)

Quanto às ideias iniciais associadas aos conceitos de trabalho de expansão e entropia, as respostas ao questionário sócio acadêmico demonstram que o aluno interpretava o primeiro como sendo “o trabalho realizado por um gás ao deslocar uma massa de ar ou pistão” e o segundo como “o grau de desordem de um sistema”, sem que nenhuma reflexão teórica fosse apresentada para sustentar tais afirmações. Segundo a classificação estabelecida por Amaral e Mortimer (2007), essas ideias caracterizam a predominância da Zona de Perfil Empírica (ZE) para o conceito de entropia, tendo em vista a superficialidade da resposta apresentada e a falta de argumentos teóricos.

Essas observações baseadas nos traços gerais e difusos dos objetos e fenômenos nos remetem para a compreensão de que tanto a ideia de calor, quanto as ideias de trabalho de expansão e entropia carecem de significação, pois as generalizações produzidas pelo aluno mostraram baixa atividade intelectual e pouca capacidade de abstração.

Já a partir da realização da primeira sequência de atividades envolvendo o equivalente mecânico de calor (experimento de Joule), constatou-se por meio da captura de tela do ambiente PBworks (Figura 5.40), que houve uma aparente ampliação das ideias relacionadas aos conceitos de calor e temperatura (“calor só deve ser usado para designar energia em trânsito, isto é, enquanto ela está sendo transferida de um corpo para outro, em virtude de uma diferença de temperatura”), uma vez que foi acrescentada uma importante explicação para o conceito de temperatura a partir da ideia de energia interna.

My PBworks Workspaces licenciaturaemquímica2011 Upgrade Now! Rodrigo Garrett account log out hi

Wiki Pages & Files Users Settings

VIEW EDIT

## atividade 1 - grupo 1

last edited by Lais Stoller 2 months ago Page history

Calor pode ser definido como a transferência de energia de um sistema para outro. E a temperatura é definido como o grau de agitação das moléculas.

### Calor e Temperatura

A definição para **calor** é a troca de energia térmica. Essa troca pode ser feita entre um objeto e o ambiente em que se encontra ou pode ser feita entre outros objetos, de acordo com o ambiente em que está presentes. Às vezes o calor é confundido com a energia cinética das moléculas num sistema. Por exemplo, são comuns afirmações como o calor é o movimento aleatório das moléculas. Na realidade, esta energia cinética molecular é parte da energia interna do sistema e, sob condições adequadas, pode ser aumentada ou diminuída pela transferência de energia sob a forma de calor ou trabalho, ou por alguma outra mudança interna ao sistema, na qual não está envolvida nenhuma transferência (de energia) para as vizinhanças do sistema. A energia cinética média das moléculas pode ser relacionada à temperatura de um sistema por meio dos argumentos da teoria cinética, sendo chamada por alguns autores de energia térmica do sistema, mas voltaremos a falar posteriormente. Esta forma de energia nunca deveria ser confundida com calor.

A **temperatura** pode ser definida como uma sensação física que nos produz um corpo quando entramos em contato com ele.

Um aspecto importante se se considerado é que o termo calor só deve ser usado para designar energia em trânsito, isto é, enquanto ela está sendo transferida de um corpo para outro, em virtude de uma diferença de temperatura. A transferência de calor para um outro corpo acarreta um aumento na energia de agitação de seus átomos e moléculas, ou seja, acarreta um aumento da energia interna do corpo que, em geral provoca uma elevação em sua temperatura. Não se pode, portanto, dizer que 'um corpo possui calor' ou que 'a temperatura é uma medida do calor do corpo'. Na realidade, o que um corpo possui é energia interna e quanto maior for a sua temperatura, maior será esta energia interna. Naturalmente, se um corpo está a uma temperatura mais elevada do que outro, ele pode transferir parte de sua energia interna para este outro. É importante observar, ainda, que a energia interna de um corpo pode aumentar sem que o corpo receba calor, desde que ele receba alguma forma de energia. Quando, por exemplo, agitamos uma garrafa contendo água, sua temperatura se eleva, apesar da água não ter recebido calor. O aumento de energia interna, neste caso, ocorreu em virtude da energia mecânica transferida para a água, ao realizarmos trabalho de agitar a garrafa. Isto pode ser confirmado pela experiência de Joule, o qual verificou que, para um certo valor de energia mecânica que fazia funcionar um dínamo, era sempre o mesmo valor de calor produzido pela corrente elétrica fornecida pelo dínamo. (Um dínamo é um dispositivo que possui um íman em movimento de rotação dentro de uma bobina de fio espiralado, induzindo esse movimento uma corrente elétrica no fio condutor, corrente essa que muda de sentido em cada meia volta do íman, designando-se por isso de corrente alterna, corrente essa que faz aquecer o fio onde ela é induzida – **efeito de Joule**. O efeito Joule pode ser visualizado no vídeo: <http://www.youtube.com/watch?v=mR1dWrl5IPR>

Navigator

- grupo 1
  - atividade 1 - grupo 1
    - Atividade 2
    - Atividade 3 - parte 2

Pages Files options

SideBar

Edit the sidebar

Share this workspace

Add a new **writer** to the workspace.

user@email.com Add

User settings

Recent Activity

- lista de atividades edited by Rodrigo Garrett
- lista de atividades edited by Rodrigo Garrett

Figura 5.40 – Captura de tela do ambiente PBworks - grupo 1 (2011-I)

Essa observação, contudo, configura-se em um indício, que poderá ser mais bem avaliado com base nas respostas apresentadas ao teste final discursivo envolvendo a primeira lei da Termodinâmica, como se verá mais adiante.

Quanto ao acompanhamento do processo de formação do conceito de trabalho de expansão, observaram-se alguns aspectos relevantes durante a realização da segunda sequência de atividades envolvendo a modelagem computacional com o *software* Modellus (Figura 5.41). As impressões envolvem, por um lado, a realização da própria atividade em si, e por outro, as observações registradas pelo estudante durante o cumprimento do exercício proposto e também as respostas ao teste final de conhecimentos.

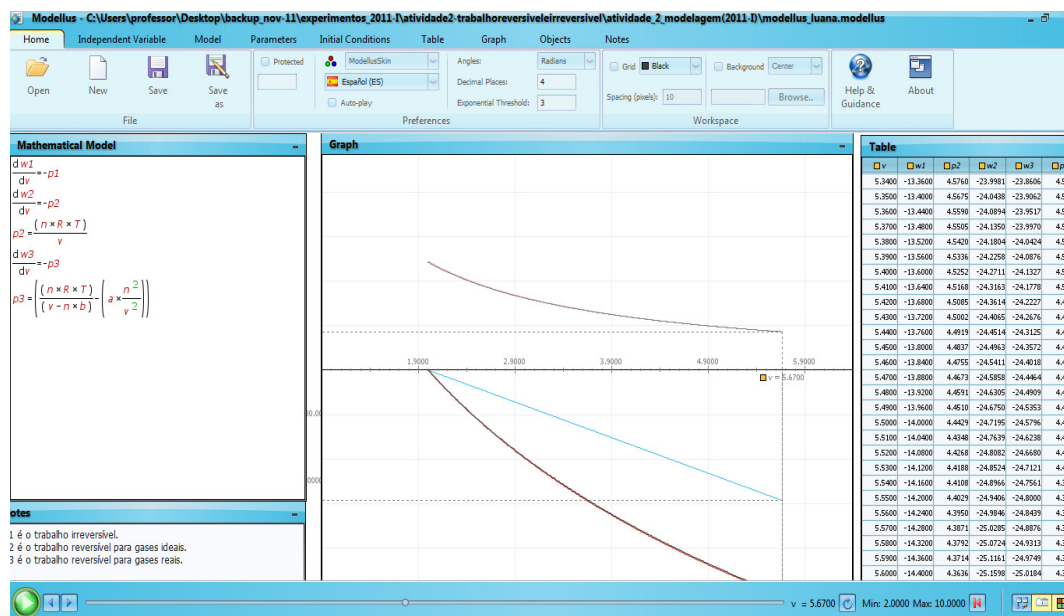


Figura 5.41 – Atividade de modelagem computacional realizada no Modélus pelo estudante Lu (2011-I)

Analisando na Figura 5.41 a área reservada às notas, conclui-se que o aluno Lu soube diferenciar, no gráfico, os tipos de trabalho irreversível e reversível para os gases ideais e reais. A realização da atividade de modelagem possibilitou ainda que fossem captadas outras impressões por meio da representação computacional gráfica, como as que seguem: a) “a temperatura é constante e igual a 298K, o  $w_2$  e  $w_3$  e  $p_2$  e  $p_3$  tendem a diminuir (...) o volume aumenta porque o trabalho ( $w$ ) é menor que zero - logo (o sistema) está expandindo”; b) “os trabalhos são próximos para gás ideal (...) quando modifico o parâmetro  $b$  para valores maiores ( $T$  constante) o  $w_2$  é menor do que o  $w_3$ , e  $p_2$  é menor do que  $p_3$ . Já quando modifico para valores menores (também a  $T$  constante), os valores de  $w_2$  e  $w_3$  se aproximam assim como  $p_2$  e  $p_3$ ”.

A primeira afirmação indica que o estudante teve conhecimento da convenção adotada na disciplina para o trabalho de expansão e o trabalho de compressão; já a segunda e a terceira demonstram a sua capacidade de representar os modelos e analisar os resultados gerados, como quando foi feita a comparação entre o que ocorre em uma transformação envolvendo gases reais (em termos de parâmetros “a” e “b” de van der Waals) e em uma transformação envolvendo gases ideais. Ainda assim, não se pode afirmar que predominou uma forma superior de atividade intelectual por parte do estudante, pois essas observações constituem um indício que precisa ser checado com mais critério, o que nos remete às respostas ao teste final de conhecimentos

envolvendo a primeira lei da Termodinâmica.

Na resposta correta fornecida à primeira questão (T1-q1), ficou comprovado o entendimento de algumas propriedades microscópicas associadas aos conceitos de energia, temperatura e equilíbrio térmico (Figura 5.42). No entanto, com a utilização do termo “transferência de energia”, não ficou caracterizado de forma clara um entendimento cientificamente correto para o conceito de calor. Da mesma forma que ocorrera com o estudante Ma no caso anterior, o estudante Lu associou corretamente a relação das massas de gás com a medida de temperatura dos sistemas.

1) (1,0 ponto) **Dois quilogramas** de um gás ideal são colocados em um recipiente A, e outros **quatro quilogramas** do mesmo gás ideal são colocados em um recipiente B. A **energia cinética total das moléculas** do gás no recipiente A (ou seja, a soma das energias das moléculas individuais) é **exatamente igual à energia cinética total das moléculas do gás no recipiente B**. Os dois recipientes são colocados em contato térmico um com o outro, mas ficam isolados do ambiente ao seu redor, ou seja, das vizinhanças. Quando os dois recipientes entrarem em contato um com o outro, o que se poderá esperar das suas temperaturas? Deverão **aumentar, diminuir ou permanecer constantes**? **Explique sua resposta.**

Dados que A e B as moléculas possuem a mesma velocidade cinética e visto que A possui menor massa, conclui-se que a temperatura de A é maior que em B. Logo quando os dois recipientes são colocados em contato térmico vai haver uma transferência de energia de A para B e consequentemente a temperatura de A vai diminuir e a de B aumentar afim de achar um equilíbrio.

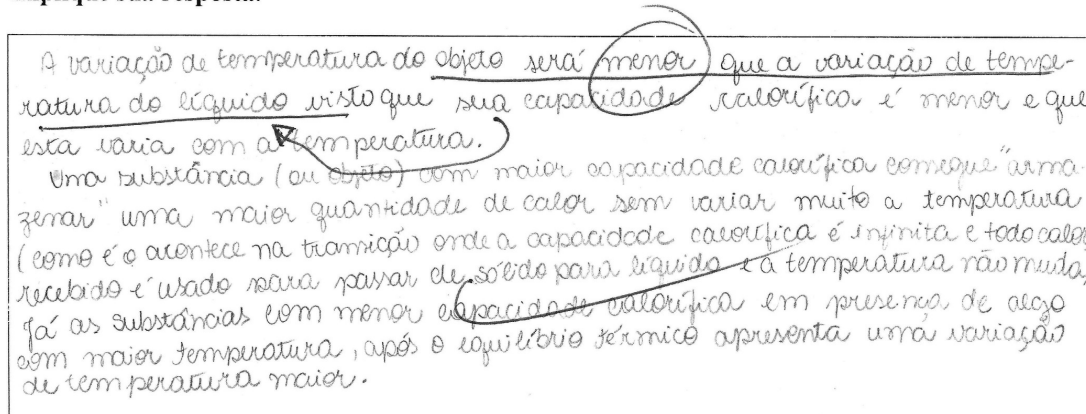
Figura 5.42 – Resposta à questão de número 1 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q1) - estudante Lu

A resolução do problema indica que o estudante soube relacionar corretamente determinadas propriedades essenciais dos sistemas de interesse, como energia cinética total, massa e temperatura, sem que fosse fornecida uma resposta do tipo reprodução mecânica. Ou seja, pode-se afirmar que houve a presença de uma ação consciente seguida do pensamento abstrato, e que culminou na formação de juízo - o que caracteriza a existência de uma forma superior de atividade intelectual, por meio da qual os conceitos científicos operam.

Na resposta à segunda questão (T1-q2) envolvendo a situação de produção de calor em um calorímetro adiabático, tem-se a confirmação de que as propriedades essenciais do fenômeno foram bem compreendidas, como também de que o estudante dispõe de uma boa capacidade de abstração ao analisar as trocas térmicas em termos de

capacidade calorífica (Figura 5.43).

2) (1,0 ponto) Um objeto A (de maior capacidade calorífica) é adicionado a um calorímetro adiabático que está parcialmente preenchido com um líquido B (de menor capacidade calorífica). A massa do objeto é a mesma do líquido, mas sua temperatura (do objeto) é maior do que a temperatura inicial do líquido. Após isso, o calorímetro é deixado em repouso por várias horas. Admitindo-se que a capacidade calorífica do calorímetro seja nula, responda: depois de ultrapassado o tempo necessário para que seja atingido o equilíbrio térmico entre o objeto e o líquido, deverá se constatar que a variação de temperatura do objeto será **maior, menor ou igual** à variação de temperatura do líquido? **Explique sua resposta.**



A variação de temperatura do objeto será menor que a variação de temperatura do líquido visto que sua capacidade calorífica é menor e que esta varia com a temperatura.

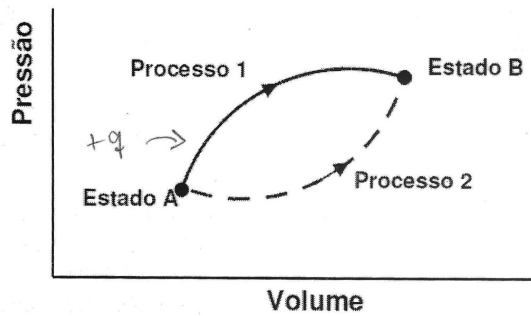
Uma substância (ou objeto) com maior capacidade calorífica consegue "armazenar" uma maior quantidade de calor sem variar muito a temperatura (como é o que acontece na transição onde a capacidade calorífica é infinita e todo calor recebido é usado para passar de sólido para líquido e a temperatura não muda) Já as substâncias com menor capacidade calorífica em presença de algo com maior temperatura, após o equilíbrio térmico apresenta uma variação de temperatura maior.

Figura 5.43 – Resposta à questão de número 2 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q2) - estudante Lu

Ainda sobre a questão de número 2, vale destacar a observação fornecida pelo aluno a respeito dos materiais que apresentam capacidade calorífica elevada. O emprego de aspas em “... uma substância (ou objeto) com maior capacidade calorífica consegue “armazenar” uma maior quantidade de calor...” sugere a compreensão de que o calor não pode ser armazenado, ou seja, só ocorre durante uma mudança de estado termodinâmico. Tal constatação representa, em princípio, a superação da visão substancialista para o conceito de calor.

Quanto ao nível de compreensão do estudante sobre o conceito de trabalho de expansão, a resposta ao item “a” da questão de número 3 (T1-q3) comprova que o mesmo possui pleno conhecimento da expressão matemática para o cálculo de trabalho isotérmico expansivo, como também da sua representação gráfica correspondente à área abaixo da curva no diagrama de pressão *versus* volume (Figura 5.44).

ntidade fixa -  
ideal



Considere que  $w$  representa o trabalho realizado pelo sistema e  $q$  representa o calor transferido para o sistema nos processos 1 e 2 para responder as questões a seguir:

- 3) a. O trabalho realizado pelo sistema durante o processo 1 é (em módulo) **maior, menor ou igual** ao trabalho realizado pelo sistema no processo 2? **Explique sua resposta.**

O  $w$  realizado pelo processo 1 é em módulo maior que o realizado pelo processo 2 porque ao considerarmos que  $w = -\int P_{ext} \cdot dV$  e é representado pela área abaixo da curva, no processo 1 a área é maior que no processo 2.

Figura 5.44 – Resposta à questão de número 3 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q3) - estudante Lu

Nesse caso, destaca-se a contribuição da atividade de modelagem computacional para a valorização do pensamento abstrato, que ficou caracterizado por meio das representações externas que posteriormente foram interiorizadas.

Já na resposta à questão de número 5 item “a” (T1-q5), foi confirmada a suspeita anterior de que o estudante compreendia corretamente a convenção adotada para trabalho efetuado pelo sistema, nesse caso negativo, e sobre o sistema, positivo (Figura 5.45).

- 5) a- Durante o processo que ocorre desde o tempo A até o tempo B, podemos afirmar que: (a) o trabalho é feito sobre o gás pelas vizinhanças, (b) o trabalho é realizado pelo gás sobre as vizinhanças, (c) nenhum trabalho é feito no gás ou pelo gás. **Explique sua resposta.**

(B) Foi observado-se que houve expansão do gás (o pistão se moveu para cima) deslocando a atmosfera devido ao aumento da energia cinética das moléculas do gás oriunda do contato térmico com a água aquecida.

Figura 5.45 – Resposta à questão de número 5 item a do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q5) - estudante Lu

Por fim, a análise da resposta à questão de número 4 (T1-q4) demonstra o conhecimento das equações respectivas aos cálculos de trabalho isotérmico de expansão reversível e irreversível, bem como de outros parâmetros termodinâmicos,

apesar da resposta incompleta apresentada na resolução do problema (Figura 5.46).

4) (1,5 pontos) Uma amostra de 2,0 moles de He se expande isotermicamente, a 22°C, de 22,8L até 31,7L, (a) reversivelmente, (b) contra pressão externa constante igual à pressão final do gás e (c) livremente (contra pressão externa nula). Em cada processo, calcule q, w, ΔU e ΔH.

$T = \text{cte} = 22^\circ\text{C} = 295\text{ K}$ $n = 2\text{ mol}$ $V_i = 22,8\text{ L}$ $V_f = 31,7\text{ L}$ A) $w = -nRT \ln \frac{V_f}{V_i}$ $w = -2 \cdot 0,082 \cdot 295 \cdot \ln \frac{31,7}{22,8}$ $w = -48,38 \cdot \ln 1,39$ $w = -48,38 \cdot 0,32955$ $w \cong -15,94\text{ J}$ $q \cong +15,94\text{ J}$ $\Delta U = 0$ e $\Delta H = 0$	B) $P_{\text{ext}} = \text{cte} = P_f$ $P_f = \frac{n \cdot R \cdot T}{V_f}$ $P_f = \frac{2 \cdot 0,082 \cdot 295}{31,7}$ $P_f \cong 1,53\text{ atm}$ $w = -P_f \cdot \Delta V$ $w = -1,53 \cdot (31,7 - 22,8)$ $w \cong -2,9\text{ J}$	$H = U + pV$ $\Delta H = \Delta U + w$ $\Delta H \cong -2,9\text{ J}$	C) $P_{\text{ext}} = 0$ $w = 0$ $q = 0$ $\Delta U = 0$ $\Delta H = 0$
---	---	---	---

Figura 5.46 – Resposta à questão de número 4 do teste final envolvendo a primeira lei da Termodinâmica (T1-q4) - estudante Lu

A respeito do conceito de entropia, constata-se que as ideias iniciais do estudante Lu extraídas do questionário sócio acadêmico e do mapa conceitual refletiram a total falta de argumentos que caracteriza a existência de um pseudoconceito.

Resultados semelhantes foram observados por meio dos questionamentos sobre as ideias relacionadas ao princípio de funcionamento das máquinas térmicas. Ao ser solicitado a apresentar uma definição para máquina térmica, o estudante respondeu que “*se tratam de máquinas que utilizam parte da energia sob a forma de calor, como por exemplo a geladeira, que utiliza energia elétrica mas perde parte sob a forma de calor*”. Apesar de ter respondido corretamente que uma máquina térmica não pode funcionar somente extraíndo calor de uma fonte quente, sem liberar calor para o reservatório frio, o aluno não soube explicar o motivo. Da mesma forma, ele também não conseguiu explicar porque uma máquina térmica não pode apresentar rendimento maior do que 100%.

Ou seja, a estrutura cognitiva do estudante comporta alguns fragmentos de ideias que carecem de explicação científica, o que caracteriza a ausência de determinadas ações conscientes, como o emprego correto dos signos, a reflexão sobre as propriedades essenciais do objetos e a abstração dos elementos fora das conexões reais dadas.

Nos Quadros 5.17, 5.18 e 5.19 ilustrados abaixo, encontram-se representados, sob a forma esquemática, a descrição dos instrumentos de coleta de dados, as categorias de análise e os recortes extraídos dos textos do estudante Lu para caracterizar cada aspecto do processo de formação dos respectivos conceitos de calor, trabalho e entropia.

Quadro 5.17 – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de calor - estudante Lu (2011-I)

Momento das atividades	Instrumentos de coleta de dados	Análise do conceito de calor	
		Categoria: análise do perfil conceitual	Categoria: elaboração do conceito
<b>Fase de diagnóstico</b>	Questionário sócio acadêmico, teste inicial de conhecimentos (objetivo), mapa conceitual e registro no ambiente PBworks.	Predominância das Zonas de Perfil Substancialista (ZS) (“calor é a energia contida em um corpo”; é “... a transferência de energia de um sistema mais aquecido para outro”).	Emprego incorreto dos signos (calor = “transferência de energia de um sistema mais quente para outro menos quente”) Incapacidade de reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (um corpo possui mais calor que o outro) Inabilidade em abstrair (calor = energia)
Primeira sequência de atividades envolvendo o equivalente mecânico de calor (experimento de Joule)			
<b>Fase de avaliação</b>	Hiperdocumentos gerados no ambiente PBworks e Log do ambiente; teste final (primeira lei da Termodinâmica)	Uso do termo calor com o sentido de substância, embora se perceba, por meio da aspas, o conhecimento do erro nessa interpretação (ZS) (“... maior capacidade calorífica consegue “armazenar” maior quantidade de calor”) T1-q2 Indícios de existência da Zona de Perfil Empírica (ZE) (“calor é a transferência de energia que ocorre em virtude da diferença de temperatura entre o sistema e suas vizinhanças”) – Hiperdocumento (Figura 5.40)	Emprego correto dos signos (“... todo o calor transferido do gás é cedido para a água...”) T1-q5f Reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (compreensão de que dois corpos que possuem a mesma energia cinética total, logo a mesma temperatura, ao serem postos em contato, não trocam calor) Realização de abstração (aplicação correta do conceito de capacidade calorífica na situação prática de produção de calor envolvendo dois corpos em diferentes temperaturas)



Quadro 5.18 – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de trabalho de expansão - estudante Lu (2011-I)

Momento das atividades	Instrumentos de coleta de dados	Análise do conceito de trabalho de expansão	
		Categoria: análise do perfil conceitual	Categoria: elaboração do conceito
<b>Fase de diagnóstico</b>	Questionário sócio acadêmico, teste inicial de conhecimentos (objetivo) e mapa conceitual	Não se aplica	<p>Emprego incorreto dos signos (apesar de a estudante conhecer os tipos de trabalho tratados em aula, sua definição foi puramente mecânica)</p> <p>Incapacidade de reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (houve definição puramente mecânica, ou seja, faltou detalhar as propriedades relativas ao conceito de trabalho)</p> <p>Inabilidade em abstrair (não soube descrever e interpretar corretamente o conceito nas situações propostas)</p>
Segunda sequência de atividades envolvendo o cálculo de trabalho expansivo isotérmico para sistemas envolvendo gases ideais e reais.			
<b>Fase de avaliação</b>	Exercício sobre trabalho reversível e irreversível; teste final (primeira lei da Termodinâmica)	Não se aplica	<p>Emprego correto dos signos (trabalho como não sendo função de estado; reconhecimento do trabalho de expansão como a área sob a curva do diagrama pressão <i>versus</i> volume);</p> <p>Reflexão (diferenciação de trabalho realizado sobre o sistema do trabalho realizado pelo sistema)</p> <p>Realização de abstração (interpretação do conceito e aplicação correta das fórmulas e expressões matemáticas no problema proposto)</p>

Quadro 5.19 – Esquematização da análise do processo de formação do conceito de entropia - estudante Lu (2011-I)

Momento das atividades	Instrumentos de coleta de dados	Análise do conceito de entropia	
		Categoria: análise do perfil conceitual	Categoria: elaboração do conceito
<b>Fase de diagnóstico</b>	Questionário sócio acadêmico; questionamento sobre as máquinas térmicas e mapa conceitual	Predominância da Zona de Perfil Empírica (ZE) (entropia é “o grau de desordem de um sistema”)	Emprego incorreto dos signos (definição mecânica: “ <i>entropia é o grau de desordem dos sistemas</i> ”) Incapacidade de reflexão acerca das propriedades essenciais dos objetos (“ <i>a entropia dos sistemas sempre deve aumentar</i> ”) Inabilidade em abstrair (não soube descrever e interpretar corretamente o conceito nas situações propostas)
Terceira sequência de atividades intitulada “A Termodinâmica e o desenvolvimento das máquinas térmicas”			
<b>Fase de avaliação</b>	Não avaliado	Não avaliado	Não avaliado

A partir dessas duas análises anteriores relativas ao processo de formação de conceitos de calor, trabalho e entropia entre os estudantes que compõem a turma B, caracterizados pelas iniciais Ma e Lu, convém observar os dados contidos nos Quadros 5.20, 5.21 e 5.22, relativos aos demais estudantes entrevistados. Nesses Quadros, encontram-se especificadas as ideias iniciais e as Zonas de Perfil predominantes em cada aluno, logo no início do estudo, e também os parâmetros adotados na presente pesquisa, quanto ao nível de amadurecimento dos respectivos conceitos. Da mesma forma, podem ser observadas as ideias constatadas ao final da pesquisa, bem como as Zonas de Perfil características de cada aluno e o nível de amadurecimento dos respectivos conceitos, ao final das aulas.

Quadro 5.20 – Síntese da análise da formação do conceito de calor - turma B

	Ideias iniciais sobre o conceito de calor	Zona de perfil calor (i)	Elaboração do conceito científico (S/ N)			Ideias finais sobre o conceito de calor	Zona de perfil calor (f)	Elaboração do conceito científico (S/ N)		
			SIG	REF	ABS			SIG	REF	ABS
Estudante I	<i>“energia de transferência de um corpo para outro”</i>	ZR	N	N	N	<i>“... a transferência de calor para o gás...” T1-q5f; “... não houve troca de energia na forma de calor...” T1-q5a; “... o sistema absorve energia na forma de calor...” T1-q5b</i>	ZS/ ZE	N/S*	S	S
Estudante Je	<i>“energia liberada ou absorvida em uma reação”</i>	ZS	N	N	N	<i>“... o gás recebe calor das vizinhanças”</i>	ZS	N	S	N
Estudante K	Calor = energia; <i>“não me lembro, pois foi decorado”</i>	ZR	N	N	N	Calor = energia	ZR	N	N	N
Estudante La	<i>“forma comum de energia”</i>	ZR	N	N	N	<i>“as vizinhanças fornecem calor ao gás” T1-q5a</i>	ZR	N	N	N
Estudante Li	Calor é uma forma de energia... E tem relação com a massa e a área	ZR	N	N	N	<i>“não vai trocar calor com as vizinhanças” T1-q1; “... a transferência de calor para o gás” T1-q5; “o calor absorvido pelo sistema...”</i>	ZS	N/S*	N	N
Estudante Lu	<i>“calor é a energia contida em um corpo”; “... a transferência de energia de um sistema mais aquecido para outro”</i>	ZS	N	N	N	<i>“calor é a transferência de energia que ocorre em virtude da diferença de temperatura entre o sistema e suas vizinhanças”</i>	ZS/ ZE	N/S*	S	S

						Manutenção da visão substancialista: “... maior capacidade calorífica consegue “armazenar” maior quantidade de calor”				
Estudante Ma	Calor = energia contida nos corpos = temperatura	ZS	N	N	N	“calor é a transferência de energia que ocorre em virtude da diferença de temperatura entre o sistema e suas vizinhanças” Manutenção da visão substancialista: “... parte do calor será perdida...”	ZS/ ZE	N/S*	S	S
Estudante P	“Mede a quantidade de energia envolvida em uma reação”; todo corpo possui calor; “quanto maior o calor, maior a temperatura e maior a entropia”	ZS	N	N	N	“... calor cedido...” T1-q2; “... a transferência e calor...” T1-q5	ZS/ZE	N/S*	N	N
Estudante Pr	“é o grau de agitação das moléculas” = temperatura ou energia contida em um corpo	ZS	N	N	N	“... não há troca e calor...” T1-q2	ZS	N	N	N
Estudante T	Energia cinética das moléculas; “quantidade de energia necessária para variar em 1° C a temperatura do corpo” (confusão com o conceito de capacidade calorífica)	ZS	N	N	N	“... perde calor...” T1-q5d; “... absorve mais calor do que libera...” T1-q5f “... logo vai receber energia na forma e calor...” T1-q1	ZS/ZE	S/N*	S	S

SIG = Empregou os signos de forma não mecânica; REF = Refletiu acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos; ABS = Abstraiu, ou seja, considerou separadamente os elementos fora das conexões reais e concretas dadas; N = não; S = sim; \* Ora utilizou-se o signo sob a visão substancialista e ora não; ZR = Zona Realista, ZA = Zona Animista; ZS = Zona Substancialista; ZE = Zona Empírica; ZRa = Zona Racionalista.

Quadro 5.21 – Síntese da análise da formação do conceito de trabalho de expansão - turma B

	Ideias iniciais sobre o conceito de trabalho de expansão	Zona de perfil trabalho (i)	Elaboração do conceito científico (S/ N)			Ideias finais sobre o conceito de trabalho de expansão	Zona de perfil trabalho (f)	Elaboração do conceito científico (S/N)		
			SIG	REF	ABS			SIG	REF	ABS
Estudante I	“ <i>não me lembro</i> ”	NA	N	N	N	Trabalho como função de estado; não reconhecimento do trabalho de expansão como a área sob a curva do diagrama pressão <i>versus</i> volume	NA	N	N	S
Estudante Je	“ <i>ocorre (no sistema) quando se aplica determinada temperatura e pressão</i> ”	NA	N	N	N	Reconhecimento do trabalho de expansão como a área sob a curva do diagrama pressão <i>versus</i> volume; utilização correta da convenção de sinal para trabalho de expansão e compressão	NA	S	S	S
Estudante K	“ <i>não me lembro</i> ”	NA	N	N	N	Não soube responder	NA	N	N	N
Estudante La	“ <i>não me lembro</i> ”	NA	N	N	N	Trabalho como função de estado; não reconhecimento do trabalho de expansão como a área sob a curva do diagrama pressão <i>versus</i> volume	NA	N	N	N
Estudante Li	“ <i>... quando o gás expande e a sua pressão diminui</i> ”	NA	N	N	N	Trabalho associado à curva isotérmica	NA	N	N	S

Estudante Lu	Apesar de a estudante conhecer os tipos de trabalho tratados em aula, sua definição foi puramente mecânica	NA	N	N	N	Trabalho como não sendo função de estado; reconhecimento do trabalho de expansão como a área sob a curva do diagrama pressão <i>versus</i> volume	NA	S	S	S
Estudante Ma	Trabalho de expansão associado a uma representação gráfica do diagrama de pressão <i>versus</i> volume, sem maiores explicações	NA	N	N	N	Trabalho como função de estado; não reconhecimento do trabalho de expansão como a área sob a curva do diagrama pressão <i>versus</i> volume	NA	N	N	S
Estudante P	<i>“trabalho realizado por um gás ao aumentar o seu volume devido ao aumento de pressão”</i>	NA	N	N	N	Trabalho como função de estado; não reconhecimento do trabalho de expansão como a área sob a curva do diagrama pressão <i>versus</i> volume	NA	N	N	S
Estudante Pr	<i>“quando realizamos força contra um deslocamento”</i> ; $W = F \cdot d$	NA	N	N	S	Trabalho como não sendo função de estado; reconhecimento do trabalho de expansão como a área sob a curva do diagrama pressão <i>versus</i> volume	NA	S	N	S
Estudante T	$W = P \cdot \Delta V$	NA	N	N	S	Trabalho como não sendo função de estado; reconhecimento do trabalho de expansão como a área sob a curva do diagrama pressão <i>versus</i> volume; emprego correto da convenção e sinal	NA	S	S	S

SIG = Empregou os signos de forma não mecânica; REF = Refletiu acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos; ABS = Abstraiu, ou seja, considerou separadamente os elementos fora das conexões reais e concretas dadas; N = Não; S = Sim; NA = Não se aplica.

Quadro 5.22 – Síntese da análise da formação do conceito de entropia - turma B

	Ideias iniciais sobre o conceito de entropia	Zona de perfil entropia (i)	Elaboração do conceito científico (S/ N)			Ideias finais sobre o conceito de entropia	Zona de perfil entropia (f)	Elaboração do conceito científico (S/ N)		
			SIG	REF	ABS			SIG	REF	ABS
Estudante I	Confusão com o conceito e entalpia “ <i>energia liberada ou absorvida em uma reação</i> ”	ZP	N	N	N	NR	NA	NA	NA	NA
Estudante Je	“ <i>grau de desordem das moléculas</i> ”	ZE	N	N	N	NR	NA	NA	NA	NA
Estudante K	“ <i>é o grau de agitação das moléculas</i> ”	ZP	N	N	N	NR	NA	NA	NA	NA
Estudante La	“ <i>Entropia é o grau de desordem de um sistema</i> ”	ZE	N	N	N	NR	NA	NA	NA	NA
Estudante Li	“ <i>esqueci</i> ”	ZP	N	N	N	NR	NA	NA	NA	NA
Estudante Lu	“ <i>Entropia é o grau de desordem de um sistema</i> ”	ZE	N	N	N	NR	NA	NA	NA	NA
Estudante Ma	“ <i>Entropia é o grau de desordem de um sistema</i> ”	ZE	N	N	N	NR	NA	NA	NA	NA
Estudante P	“ <i>Entropia é a medida do grau de desordem de um sistema</i> ”	ZE	N	N	N	NR	NA	NA	NA	NA
Estudante Pr	“ <i>estudo do calor</i> ”	ZP	N	N	N	NR	NA	NA	NA	NA
Estudante T	“ <i>Entropia é o grau de desordem de um sistema</i> ”	ZE	N	N	N	NR	NA	NA	NA	NA

SIG = Empregou os signos de forma não mecânica; REF = Refletiu acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos; ABS = Abstraiu, ou seja, considerou separadamente os elementos fora das conexões reais e concretas dadas; N = Não; S = Sim; NR = Não realizou a prova; NA = Não avaliado; ZP = Zona Perceptiva/ intuitiva; ZE = Zona Empírica; ZF = Zona Formalista; ZRa = Zona Racionalista.

Analisando as ideias iniciais dos estudantes da Turma B com base na noção de Perfil Conceitual para calor (Amaral e Mortimer, 2001), nota-se que as Zonas de Perfil Realista e Substancialista predominaram, ao passo que com a turma A, as concepções variaram ante as Zonas de Perfil Substancialista e Empírica (essa última mais complexa). Quando se observam as noções apresentadas pelos alunos da segunda turma para os conceitos de trabalho de expansão e entropia, conclui-se que também na turma B, semelhantemente ao que ocorrera com a turma A, as ideias fornecidas não passaram de meras reproduções mecânicas com pouco ou nenhum aprofundamento teórico.

Comparando as noções inicialmente apresentadas pelos estudantes que cursaram técnico na área de Química (La, Lu, P, Pr) com aquelas existentes entre os alunos que não cursaram técnico ou que concluíram o curso em outra área de atuação (I, Je, K, Li, Ma, T), conclui-se que a formação prévia não teve relação direta com o amadurecimento das ideias relativas aos conceitos de calor, trabalho de expansão e entropia. Esse comportamento pode ser verificado tanto por meio dos parâmetros indicativos da formação dos conceitos (emprego dos signos, reflexão e abstração) quanto pela análise das respectivas Zonas de Perfil predominantes. Isso significa dizer que a realização de curso técnico na área de Química não funcionou como um fator diferencial de promoção da capacidade de conceitualização dos alunos.

Quanto às ideias apresentadas sobre o conceito de calor, convém fazer os seguintes comentários:

- No início das atividades, 60,0% dos estudantes compartilhavam a ideia de que o calor devia ser uma espécie de fluido ou uma forma de energia presente nos corpos, o que caracteriza uma visão substancialista na qual o conceito de calor é empregado como a mesma noção de temperatura. Já os 40,0% restantes basearam suas respostas em ideias desconexas, sem que fosse feita nenhuma reflexão acerca da natureza do referido conceito;
- Ao final das aulas mediadas por recursos computacionais, notou-se que em 60,0% dos casos houve ampliação das Zonas de Perfil Conceitual, enquanto que em 70,0%, observou-se algum tipo de melhora nos fatores relacionados à capacidade de elaboração conceitual, seja na capacidade de empregar os signos de forma não mecânica, de refletir acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos, e/ou de abstrair, ou seja, de considerar separadamente os elementos fora das conexões reais e concretas dadas;



- Semelhantemente ao que ocorrera no caso anterior, percebeu-se que a existência de determinadas funções superiores como a reflexão e a abstração não foram suficientes para que os estudantes utilizassem corretamente os signos. Isso porque em alguns casos (estudantes I, Lu, Ma, Pr e T), a ampliação da Zonas de Perfil não significou o abandono das ideias anteriores, mais especificamente àquelas relacionadas à visão substancialista de calor;
- Por último, destaca-se a evolução na capacidade intelectual do estudante I, que no início das aulas demonstrou um conhecimento apenas superficial sobre a noção de calor, e ao final demonstrou possuir as funções superiores de reflexão e abstração do respectivo conceito.

Mais especificamente sobre o conceito de trabalho de expansão, perceberam-se os seguintes aspectos relevantes:

- Em 100,0% dos casos, as respostas iniciais dos alunos a respeito do conceito de trabalho de expansão mostraram-se superficiais e pouco articuladas, ou seja, sem aprofundamento teórico;
- Constatou-se que a realização das aulas mediadas por recursos computacionais provocou um amadurecimento conceitual em 80% dos casos, se analisarem os aspectos adotados para caracterizar a presença do conceito científico, quais sejam a reflexão, a abstração e o emprego correto dos signos. Além disso, em 30,0% dos casos, essas três funções se mostraram presentes conjuntamente, caracterizando a existência de uma forma superior de atividade intelectual acerca do respectivo conceito.

A respeito das ideias dos estudantes relacionadas ao conceito de entropia, como houve impossibilidade de aplicação do teste final na turma B, os comentários ficarão restritos aos dados obtidos por meio do questionário sócio acadêmico e do mapa conceitual. Quanto ao amadurecimento conceitual posterior à realização das sequências de atividades, não se teve como avaliar.

Observou-se que, em 100,0% dos casos, as respostas aos questionamentos consistiram de uma mera reprodução tal qual pode ser encontrada nos livros, sem que fosse dada qualquer explicação.

## **6. CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A título de conclusão, desejam-se fazer algumas considerações a respeito dos objetivos específicos dessa pesquisa, cujo foco foi investigar o processo de formação de conceitos da Físico-Química entre alunos licenciandos, durante as sequências de atividades mediadas por recursos computacionais.

### **6.1 PRIMEIRO OBJETIVO: ESTRUTURAÇÃO E ANÁLISE DAS SEQUÊNCIAS DE ATIVIDADES MEDIADAS POR RECURSOS COMPUTACIONAIS**

Com relação ao planejamento e estruturação das sequências de atividades mediadas por recursos computacionais, buscou-se inspiração no trabalho de Zabala (1998), autor que estabelece alguns modelos teóricos representativos que se configuram em diferentes tipos de Unidades Didáticas. Tais modelos permitiram estruturar as intervenções pedagógicas, com base em princípios que envolvem tanto a fase de planejamento, como as fases de aplicação e avaliação das ações em sala de aula.

As unidades de análise mais elementares a partir das quais se realizaram as intervenções corresponderam às atividades ou tarefas. À medida que duas ou mais atividades foram associadas, teve-se o que se pode chamar de uma Sequência de Atividades ou Sequência Didática, cuja característica de englobar as fases de planejamento, aplicação e avaliação mostrou-se adequada ao nosso contexto de análise.

A avaliação das Sequências de Atividades foi realizada tomando-se como base a Teoria da Assimilação por Etapas das Ações Mentais de Galperin (1959, 1986) além das ideias defendidas por Nuñez (2009), cujas contribuições foram no sentido de instrumentalizar a análise das atividades de ensino, entendendo que a assimilação do conhecimento ocorre do plano da experiência social para o da experiência individual. Nesse sentido, observa-se a existência das cinco etapas de assimilação - Etapa motivacional, Etapa de estabelecimento da BOA, Etapa da formação no plano material, Etapa da formação no plano da linguagem externa e Etapa da ação no plano mental - durante a realização, pelos estudantes, das sequências de atividades propostas. Outros aspectos acompanhados com relação às mesmas sequências foram: a) utilidade dos recursos computacionais; b) interesse pelos assuntos estudados durante a realização as atividades computacionais; c) dificuldades dos alunos na condução das tarefas.

Na turma A, as atividades computacionais foram realizadas de maneira não integrada com as aulas teóricas, enquanto que na turma B, a integração foi promovida a partir da

realização de três sequências didáticas, utilizando-se o ambiente computacional PBworks.

Quanto à utilidade dos recursos computacionais, constata-se que tanto os estudantes da turma A quanto os da turma B realizaram uma melhor avaliação da terceira sequência de atividades, envolvendo a utilização dos objetos de aprendizagem. Já com relação ao assunto “Interesse pelas atividades computacionais”, os dados indicaram que a terceira sequência também foi a mais bem avaliada pelas duas turmas. As maiores dificuldades enfrentadas pelos estudantes de ambas as turmas, com relação às atividades propostas, ocorreram durante a realização da modelagem computacional (segunda sequência). Cabe destacar que os problemas observados durante essas atividades não ocorreram em função da dificuldade em se operar com o *software*. De fato, na maioria das vezes, o problema esteve relacionado a questões muito mais profundas e difíceis de sanar, envolvendo a falta de habilidade na representação de equações, operação com conceitos (sobretudo aqueles que envolvem muito formalismo matemático), interpretação de gráficos, relacionamento de parâmetros e análise de resultados.

Na turma B, a utilização do ambiente computacional PBworks para organização e acompanhamento das sequências de atividades permitiu que a etapa motivacional fosse mais bem explorada, porquanto que, conforme mencionado anteriormente, o mesmo ambiente não foi utilizado pela turma A. Além da vantagem de se poder acompanhar o desenvolvimento dos trabalhos dos alunos em tempo real, orientando-os e incentivando-os presencialmente ou à distância (pelos comentários no ambiente), a estrutura dessa ferramenta *wiki* possibilitou, por si só, a ampliação das possibilidades de interação e cooperação nos grupos de alunos, uma vez que: a) os alunos puderam se tornar autores de seus próprios materiais didáticos; b) os mesmos assumiram um papel ativo (e não de mero expectador) no processo educativo; c) conseguiu-se compartilhar, construir e desconstruir textos colaborativamente de forma fácil e rápida.

Finalmente, destacam-se alguns aspectos dessa pesquisa relacionados com o bom desenvolvimento das atividades de aula mediadas por recursos computacionais:

- Foi fundamental ter apresentado um planejamento semestral à turma logo no início do período letivo, esclarecendo os objetivos de cada sequência de atividades e também os meios pelos quais se planejara atingir tais objetivos. Além disso, foi preciso chamar a atenção dos estudantes para a relevância dessas atividades na construção dos seus conhecimentos químicos, atribuindo uma pontuação a cada tarefa realizada e entregue, como forma de estimular os seus engajamentos junto às

atividades propostas;

- Estruturaram-se as sequências de atividades com certa antecedência, tomando o cuidado de inseri-las no contexto de classe, sem prejuízo ao estudo dos conteúdos formais previamente estabelecidos. Dessa forma, evitaram-se maiores riscos relacionados às falhas e imprevistos, como por exemplo, o tempo de aula ser insuficiente para a realização da atividade ou a falta de algum recurso físico comprometer à boa condução do experimento. Ainda assim, houve o problema de se ter ficado sem algumas aulas em função de uma atividade extraclasse, o que nos impossibilitou de aplicar o segundo teste final na turma B;
- A fase de estruturação e planejamento das sequências de atividades mostrou-se tão importante para a pesquisa quanto às fases de acompanhamento e avaliação. Portanto, a respeito dessa primeira etapa, é preciso chamar a atenção para o fato de que a incorporação dos recursos computacionais nas aulas regulares, de modo não estanque, exige tempo e dedicação por parte da(s) pessoa(s) envolvida(s). Além disso, o sucesso de uma abordagem que está sendo utilizada hoje não significa que ela possa ser reproduzida com êxito em qualquer época e situação, pois cada turma possui as suas especificidades, demandando recursos pessoais, materiais e temporais diferenciados;
- Identificou-se que a realização das atividades computacionais precisa estar atrelada a uma estrutura mínima que contemple a existência de: a) recursos materiais disponíveis: como sala(s) de aula preparada(s) e equipada(s) para a realização das atividades computacionais; b) recursos humanos: suporte técnico para problemas de hardware e *software*, bem como apoio específico às atividades, o que pode ser tarefa de um bolsista ou de monitor, responsável por auxiliar o docente; c) flexibilidade de horário para a realização das atividades: pois cada aluno possui as suas necessidades e também o seu ritmo de trabalho, fato que precisa ser levado em consideração, sob o risco de que alguns alunos se sintam desmotivados ou excluídos perante as aulas informatizadas;
- Na etapa motivacional, ou seja, na preparação e estimulação dos alunos, foi fundamental esclarecê-los a respeito dos objetivos que se desejava alcançar com as atividades, para que os discentes conseguissem perceber alguma utilidade que diferenciasse a abordagem proposta da abordagem convencional. Mais do que isso, as estratégias motivacionais precisaram ser constantemente valorizadas ao longo

das sequências de atividades, sob o risco de os alunos mostrarem-se desinteressados e indiferentes;

- Mais especificamente quanto aos tipos de abordagem preferidos pelos estudantes, foram citadas aquelas que privilegiam as interações pessoais e as experiências relacionadas ao cotidiano, vinculando teoria e prática, como por exemplo, as oficinas, as pesquisas ação e também a proposição de situações problema. Em todos esses casos, podem-se conseguir estimular as discussões e trocas de experiências entre os estudantes por meio da realização de atividades em grupos, como forma de se potencializar aspectos como análise crítica e reflexiva, entrosamento, confiança e capacidade de negociação;
- A falta de tempo em sala de aula para a realização das atividades computacionais foi minimizada, em parte, por meio da utilização do ambiente colaborativo PBworks. Esse ambiente possui a vantagem de possibilitar o trabalho de autoria, o qual permite que os alunos possam criar seus próprios conteúdos de forma ativa e colaborativa. Outra forma de minimizar a falta de tempo de aula para a realização das atividades computacionais consistiu em organizar minicursos ou oficinas, nos períodos extraclases.

## **6.2 SEGUNDO OBJETIVO: ANÁLISE DO PROCESSO DE FORMAÇÃO DE CONCEITOS DURANTE AS SEQUÊNCIAS DE ATIVIDADES MEDIADAS POR RECURSOS COMPUTACIONAIS**

Com relação ao segundo objetivo da investigação, buscaram-se analisar os dados individuais provenientes de provas, testes e observações dos alunos com o intuito de explicar como se deu o processo de formação dos conceitos relativos à Termodinâmica de calor, trabalho de expansão e entropia, nas respectivas situações de ensino e aprendizagem mediadas por recursos computacionais.

Inicialmente, os dados voltados aos aspectos sociais e acadêmicos dos estudantes apontaram para a existência, que tanto na turma A como na turma B, de algumas ideias incompletas ou equivocadas, como por exemplo, a de que o calor é uma quantidade de energia liberada em um sistema, ou então que corresponde ao grau de agitação das moléculas. Na conceitualização de trabalho, houve quem respondesse ser a energia liberada na expansão de um sistema ou a energia “gasta” em um sistema para que o gás ou líquido possa expandir o seu volume. Quanto ao conceito de entropia, as concepções dos estudantes convergiram,

quase que exclusivamente, para os aspectos macroscópicos ou observáveis, quando não representaram uma repetição, tal qual aquela encontrada nos livros de Físico-Química: “entropia é uma medida do grau de desordem dos sistemas”.

A análise dos mapas conceituais construídos durante as aulas também chamaram a atenção para a existência, entre os estudantes, de relações superficiais e inconsistentes acerca dos referidos conceitos. As dificuldades ficaram evidenciadas principalmente por dois aspectos: a) inabilidade em se utilizar os termos que representam os próprios conceitos; b) utilização incorreta das frases de ligação.

A respeito da contribuição das sequências de atividades informatizadas para o amadurecimento das ideias conceituais dos estudantes que são cientificamente aceitas, cabe fazer algumas considerações:

- A atividade de simulação computacional, que consistiu unicamente de um experimento virtual, permitiu que fossem explorados aspectos como a manipulação de dados reais e a transposição dos saberes macro e microscópicos. Contudo, observou-se que essa abordagem precisa estar atrelada a um contexto mais geral, envolvendo outras atividades como pesquisa, estudo das leis subjacentes e porque não dizer outros recursos computacionais que possam enriquecer a aprendizagem do tema de estudo;
- O *software* Modellus, enquanto instrumento de mediação, funcionou como uma ferramenta cognitiva importante em função do seu forte apelo simbólico, permitindo a construção e desconstrução dos modelos matemáticos e gráficos representativos das diversas transformações ou processos termodinâmicos. Ao mesmo tempo, possibilitou a utilização simultânea de gráficos e equações subjacentes, instituindo a orientação voltada para o próprio sujeito na construção dos signos ou instrumentos psicológicos, o que requer grandes esforços direcionados à memória e à atenção;
- O exercício de modelagem permitiu que fossem explorados alguns aspectos como: análise comparativa da coerência teórica dos modelos, interpretação das transformações a partir da análise gráfica vinculada às respectivas expressões matemáticas, também a valorização do pensamento visual. Os mesmos foram particularmente importantes nos casos em que a etapa de formação no plano material (transformação da situação objetal) precisa anteceder a etapa da ação no plano mental (desenvolvimento das funções mentais de reflexão e fala “para si”),

em função da inexistência, na estrutura cognitiva do estudante, da etapa materializada;

- A contribuição desse tipo de recurso também foi notada sob o aspecto da valorização das representações mentais. Isso porque a possibilidade de representar diferentes parâmetros inter relacionados, com análise das modificações das variáveis em tempo real, configurou-se em um mecanismo favorável à explicação e exploração de fenômenos e ideias abstratas. Além disso, por meio do Modellus, os estudantes conseguiram analisar, interagir e comparar os modelos propostos, favorecendo uma maior aproximação entre as entidades formais e os objetos ou transformações reais, presentes no seu contexto;
- As atividades de simulação envolvendo o uso de OA's foram as mais bem avaliadas pelos estudantes, tanto em termos de utilidade para que os alunos compreendessem melhor os fenômeno(s) e conceito(s) físico-químico(s) estudado(s), quanto em termos de interesse pelas aulas computacionais. Tal fato se deve, em parte, à sua facilidade de uso e à possibilidade de integração dos mesmos em diferentes contextos e em diferentes ambientes virtuais de aprendizagem, como foi o caso do ambiente PBworks.

Já quanto à análise do processo de formação de conceitos propriamente dita, observada durante a realização das sequências de atividades mediadas por recursos computacionais, destacam-se os seguintes aspectos:

- De modo geral, observa-se que alguns estudantes da turma A (L, M e Th) e da turma B (K, La, Pr) que não apresentaram melhora no processo de amadurecimento conceitual, não o mostraram em apenas um dos conceitos, mas em todos os três conceitos analisados, o que indica duas possibilidades: a) os alunos não se envolveram suficientemente com as atividades propostas; b) suas deficiências deviam ser profundas, exigindo mais tempo e recursos de aula para que o amadurecimento pudesse ocorrer;
- As abordagens realizadas com a turma B, envolvendo a articulação das sequências de atividades, mostraram-se mais eficientes para a promoção da aprendizagem dos referidos conceitos científicos, em termos de Processos Psicológicos Superiores como emprego dos signos, reflexão e abstração. Em relação ao conceito de calor, em 70,0% dos casos da turma B, houve melhora em algum desses aspectos contra

67,0% da turma A. Já quanto ao conceito de trabalho de expansão, foram 80,0% da turma B contra 67,0% da turma A;

- Com base nos dados obtidos tanto pela turma A quanto pela turma B, pode-se afirmar que a maior dificuldade enfrentada pelos estudantes diz respeito à utilização correta dos signos, fato que pôde ser constatado mesmo entre aqueles que demonstraram possuir maior amadurecimento a respeito dos respectivos conceitos;
- Especificamente sobre as ideias relacionadas ao conceito de calor, nota-se a manutenção da visão substancialista, mesmo com as aulas mediadas por recursos computacionais, e também a inabilidade dos estudantes em abstrair a ideia de capacidade calorífica na situação prática de transferência de calor envolvendo dois corpos em diferentes temperaturas. Apesar de alguns alunos terem demonstrado conhecimento de determinadas características essenciais desse conceito, como a necessidade dois corpos para a transferência de calor e a noção de equilíbrio térmico, não se pôde constatar que o mesmo encontrava-se na sua forma elaborada, pois muitos deles não souberam empregar o signo de forma consciente. Mesmo assim, verificou-se que foi possível haver comunicação, ainda que um dos interlocutores estivesse se utilizando de um pseudoconceito para se expressar, pois como explica Vigotski (2001), a comunicação verbal com base nos complexos e nos conceitos pode coincidir. Além disso, o autor esclarece que mesmo operando com formas superiores de pensamento, com frequência pode-se recorrer ao nível de pensamento por complexos;
- Quanto ao conceito de trabalho, as dificuldades em se identificar o cálculo de trabalho isotérmico de expansão como a área abaixo da curva do diagrama de pressão *versus* volume e, além disso, em determinar quando o sistema realiza trabalho ou quando as vizinhanças realizam trabalho sobre o sistema, não impediram os alunos de representar e aplicar corretamente as expressões matemáticas no problema proposto. Ou seja, as dificuldades conceituais não os impediram de abstrair e operar com os signos de forma sistemática e organizada, o que demonstra que esse tipo de atividade intelectual não representa, na sua integralidade a capacidade de operar com conceitos científicos;
- A respeito do conceito de entropia, as maiores dificuldades envolveram a abstração, ou seja, a interpretação das transformações termodinâmicas propostas e



a posterior aplicação das expressões matemáticas que representam tais transformações, mesmo tendo-se mostrado conhecimento dos princípios teóricos que envolvem o conceito de entropia, em termos de modificações no sistema e nas suas vizinhanças.

Todos esses aspectos convergem para a ideia de que o processo de formação de conceitos científicos seja compreendido como o produto da realização de tarefas complexas, as quais envolvem, dentre outros fatores, a) o estabelecimento de dependência entre os conceitos; b) a conscientização da atividade mental ou emprego dos signos e sua aplicação não mecânica; c) a reflexão acerca das propriedades gerais e essenciais dos objetos; d) a capacidade de abstrair, ou seja, de considerar separadamente os elementos fora das conexões reais e concretas dadas.

Sendo assim, um conjunto de ações voltadas ao amadurecimento das ideias conceituais dos estudantes que são cientificamente aceitas, deve levar em conta os seguintes fatores:

- O estímulo da capacidade crítica dos estudantes na busca e construção de significados dos conceitos, em oposição à transmissão massiva e repetitiva dos conteúdos;
- A valorização do aspecto motivacional, pois qualquer que seja a abordagem proposta pelo professor para o estudo dos conteúdos, não se pode abrir mão de estratégias que visem estimular os alunos a ler e a se interessar pelos temas discutidos em sala de aula, tendo em vista a importância desse fator para o sucesso da aprendizagem;
- A exploração da característica mediadora dos signos, por meio da vinculação de tarefas computacionais mais complexas que exijam memória e atenção, em oposição àquelas tarefas mecânicas e repetitivas. Dessa forma valorizou-se o estabelecimento das funções superiores que podem culminar na capacidade de conceitualização;
- A negociação de significados, alcançada por meio de atividades realizadas em grupos e com a orientação de um professor ou um tutor mais experiente;
- A exercitação por meio de exemplos não repetitivos, de forma que os aspectos mais gerais das respectivas leis e conceitos possam ser aplicados de forma não mecânica em diferentes contextos.

Por fim, acrescenta-se que as sequências de atividades mediadas por recursos computacionais mostraram-se adequadas para a promoção do desenvolvimento conceitual dos estudantes, principalmente ao serem incorporados diferentes recursos em uma estratégia articulada e integradora.

Como perspectivas futuras, aponta-se a necessidade de se ampliar a investigação para além da dimensão aprendizagem, levando-se em conta um maior aprofundamento nas dimensões cooperação e motivação, as quais se acreditam ser importantes para que o aspecto do desenvolvimento conceitual seja mais bem compreendido. Quanto à dimensão cooperação, convém analisar as interações nos grupos de estudantes, em termos de Zona de Desenvolvimento Imediato, durante a realização das sequências de atividades mediadas por recursos computacionais, admitindo-se a observância das seguintes características nos indivíduos: a) Cooperativos: apresentam a busca compartilhada de soluções para problemas e projetos comuns; discussão de diferentes pontos de vista; interesse na aprendizagem dos outros; b) Não cooperativo: não observância desses comportamentos.

## REFERÊNCIAS

ACH (s.d.) citado por VIGOTSKI, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. Tradução Paulo Bezerra. 1º ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

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**, São Paulo, v. 1, n. 3, pp. 5-18, 2001.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Uma metodologia para análise da dinâmica entre zonas de um perfil conceitual no discurso da sala de aula. In: SANTOS, F. M. T.; GRECA, I. M. (Org.). **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil e suas metodologias**. Unijui: Editora Unijui, 2007. p. 239-296.

ARAUJO, I. S. **Simulação e Modelagem Computacionais como Recursos Auxiliares no Ensino de Física Geral**. Tese (Doutorado em Física) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Física, Porto Alegre, 2005.

ARAUJO, I. S. **Um estudo sobre o desempenho de alunos de Física usuários da ferramenta computacional Modellus na interpretação de gráficos em cinemática**. Dissertação (Mestrado em Física) - Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

ARAUJO, I. S.; VEIT, E. A.; MOREIRA, M. A. Physics students performance using computational modelling activities to improve kinematics graphs interpretation. **Computers & Education**, v. 50, p. 1128-1140, 2008.

ATKINS, P.W; PAULA, J. **Físico-Química**. 7º ed, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2003. 356 p.

BALEN, O. **Modelagem e Simulação Computacional: uma aplicação ao ensino de Ciências**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) - Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2004.

BALEN, O.; NETZ, P. A. Aplicação da modelagem e simulação no ensino de modelos de sistemas gasosos. **Acta Scientiae: Revista do Centro de Ciências Naturais e Exatas**, Universidade Luterana do Brasil, Canoas: Ed. ULBRA, v.7, n.2, jul./dez., 2005.

BALEN, O.; NETZ, P. A. Utilizando a modelagem e a simulação computacional no estudo dos gases ideais e reais. In: **XVI Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2005, Rio de Janeiro**. Anais. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Física (SBF) / CEFET- RJ, 2005.

BANERJEE, A. C. Teaching chemical equilibrium and thermodynamics to undergraduate general chemistry classes. **Journal of Chemical Education**, v.72, p. 879-887, 1995.

BAQUERO, R. **Vygotsky e a aprendizagem escolar**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1998.

BARKER, V. **Beyond appearances: students' misconceptions about basic chemical ideas**. 2a. ed. Londres: [s.n.], 2004.

BARNEA, N.; DORI, Y. J. Computerized molecular modeling as a tool to improve chemistry

teaching. **Journal of Chemical Information and Computer Science**, vol. 36, pp. 629-636, 1996.

CALDEIRA, M. H.; MARTINS, D. R. Calor e Temperatura: que noção tem os alunos universitários destes conceitos? **Gazeta de Física**, v. 13, n. 2, 1990.

CHIF, J. I. **Desenvolvimento dos conceitos espontâneos e científicos** (Razvítie jitêiskikh i naúchnikh ponyátii), dissertação (s.d.) citado por VIGOTSKI, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. Tradução Paulo Bezerra. 1º ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

CHRISTENSEN, W. M.; MELTZER, D. E. ; OGILVIE, C. Student ideas regarding entropy and the second law of thermodynamics in an introductory physics course. **American Journal of Physics**, 77 (907), 2009.

COCHRAN, M. J. ; HERON, P. R. L. Development and assessment of research based tutorials on heat engines and the second law of thermodynamics. **American Journal of Physics**, v.74, n. 8, p. 734-741, 2006.

COSTA, R. G. ; PASSERINO, L. M. . Uma proposta pedagógica para o uso da modelagem computacional no curso de licenciatura em química do Cefet Campos. **RENOTE - Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 06, 2008.

CULLEN Jr., J. F. **Concept learning and problem solving: The use of the entropy concept in college chemistry**. Dissertation (Ph.D.) - Cornell University, UMI, Ann Arbor, MI, 1983.

D. UZNADZE (s.d.) citado por VIGOTSKI, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. Tradução Paulo Bezerra. 1º ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

DAVIDOV, V. **La Enseñanza Escolar y el Desarrollo Psíquico: Investigación psicológica teórica y experimental**. Moscou: Editorial Progreso, 1988.

DAVYDOV, V. V. **Tipos de generalización en la enseñanza**. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1972.

DUIT, R., KESIDOU, S. Students' understanding of basic ideas of the second law of thermodynamics. **Research in Science Education**, v.18, p.186-195, 1988.

EICHLER, M. L.; DEL PINO, J. C. Modelagem e implementação de ambientes virtuais de aprendizagem em ciências. In: **IV Congresso Ibero-Americano De Informática Na Educação**, 1998, Brasília. Actas do IV Congresso Ibero-Americano de Informática na Educação, 1998.

FICHTNER, B. & BENITES, M. **Introdução na abordagem histórico-cultural de Vygotsky e seus Colaboradores**. Apostila do minicurso realizado na Faculdade de Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 16 de Outubro de 2009.

GALPERIN, P. Sobre el método de formación por etapas de las acciones intelectuales. In: **Antología de la Psicología Pedagógica y de las edades**. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 114-118, 1986.

GALPERIN, P. I. Desarrollo de las investigaciones sobre la formación de acciones mentales.

In: **Ciencia Psicológica en la URSS**, Moscou, v. 1, 1959.

GASPARIN, J. L. **Uma didática para a pedagogia histórico-crítica**. Campinas: Editora Autores Associados, 2002.

GASPARIN, J. L. A construção dos conceitos científicos em sala de aula. In: **Nádia Lúcia Nardi (Org.). Educação: Visão Crítica e Perspectivas de Mudanças**. 1º ed. Concórdia - SC: EDUNC – Editora da Universidade do Contestado - SC, 2007, v. 1, p. 1-25.

GILBERT, J. K. Models and modelling: routes to more authentic science education. **International Journal of Science and Mathematics Education**, v.2, p.115-130, 2004.

GIORDAN, M. **Uma perspectiva sociocultural para os estudos sobre elaboração de significados em situações de uso do computador na Educação em Ciências**. 2006. Tese (Doutorado em Educação) - Faculdade de Educação Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo. Departamento de Metodologia do Ensino e Educação Comparada, São Paulo, 2006. 315 p.

GRANVILLE, M. F. Student misconceptions in thermodynamics. **Journal of Chemical Education**, v. 62, p. 847-848, 1985.

GRECA, I. M.; SANTOS, F.M. T. Dificuldades da generalização das estratégias de modelagem em ciências: o caso da Física e da Química. **Investigações em Ensino de Ciências**, v.10, n.1, p. 31-46, 2005.

GREENBOWE, T. J.; MELTZER, D. E. Student learning of thermochemical concepts in the context of solution calorimetry. **International Journal of Science Education**, v. 25, p.779-800, 2003.

GRINGS, E. T. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Possible tokens of operational invariants presented by students regarding concepts of thermodynamics. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, 2006.

GRINGS, E. T. O.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. Possible tokens of operational invariants presented by students regarding concepts of thermodynamics. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 28, n. 4, 2006.

GUTIERREZ, S. **Professores Conectados: trabalho e educação nos espaços públicos em rede**. Tese (Doutorado em Educação) - Programa de Pós-Graduação em Educação da Faculdade de Educação, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

JUSTI, R. & GILBERT, J.K. The Role of Analog Models in the Understanding of the Nature of Models in Chemistry. In PJ. Aubusson, A. G. Harrison & S. M. Ritchie (eds.). **Metaphor and analogy in science education**. Dordrecht: Springer. 119-130, 2006.

JUSTIL, R.; DRIEL, J. A Case Study of the Development of a Beginning Chemistry Teacher's Knowledge about Models and Modelling. **Research in Science Education**, p. 197–219, 2005.

KAPER, W. H.; GOEDHART, M. J. Forms of energy, an intermediary language on the road to thermodynamics? **International Journal of Science Education**, v.24, p. 119-137, 2002.

KOFFKA, K. **Grundlagen der psychischen Entwicklung**, 2. Auflage, 1925. citado por VIGOTSKI, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. Tradução Paulo Bezerra. 1º ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

KOPNIN, P. V. Filosofskie idiéi V. I. Lenina i lóguika / **Las ideas filosóficas de V. I. Lenin y la lógica**. Moscú, Náuka, 1969 citado por DAVYDOV, V. V. Tipos de generalización en la enseñanza. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1972.

KOZULIN, A. **Vygotsky's Psychology: A Biography of Ideas**. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1990 (Spanish translation: *La psicología de Vygotski*. Madrid: Alianza Editorial, 1994).

LEONTIEV, A.N. Myshlenie / El pensamiento. **Voprosy filosofii**, n.4, 1964.

LEONTIEV, A.N. O níekotoryj perspektívnyj problémaj sovietskoi psijologii / Sobre algunos problemas perspectivas de la psicología soviética. **Voprosy filosofii**, n.6, 1967.

LEONTIEV, A. N. Myshlenie / El pensamiento. In: **Voprosy filosofii**, n.4, 1964 citado por DAVYDOV, V. V. Tipos de generalización en la enseñanza. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1972.

LEONTIEV, A. N. **O desenvolvimento do psiquismo**. Lisboa: Livros Horizonte, 1978.

LEONTIEV, A. N. **Actividad, conciencia, personalidad**. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1983.

LEONTIEV, A.N. Os princípios psicológicos da brincadeira pré-escolar In: VIGOTSKI, L.S.; LURIA, A.R.; LEONTIEV, A.N. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**. São Paulo: Ícone, 1992. p.119-142.

LOPES, A. C. Ensino de Química e Conhecimento Cotidiano. In: **XX Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química**, 1997, Poços de Caldas. Anais da XX Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. São Paulo: Sociedade Brasileira de Química, v.3, 1997.

LOVERUDE, M. E.; KAUTZ, C. H.; HERON, P. R. L. Student understanding of the first law of thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas. **American Journal of Physics**, v.70, n. 2, p. 137-148, 2002.

MAZUR, E. **Peer Instruction: A User's Manual**. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1997.

MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. F. Possibilidades e limitações das simulações computacionais no ensino de física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 24, n2, p.77-86, 2002.

MELTZER, D. E. Student reasoning regarding work, heat, and the first law of thermodynamics in an introductory physics course. In: **Proceedings of the 2001 Physics Education Research Conference**, Rochester, NY, 2001.

MELTZER, D. E. Investigation of students' reasoning regarding heat, work, and the first law of thermodynamics in an introductory calculus-based general physics course. In: **American Journal of Physics**, 72 (11), 2004.

MELTZER, D. E. **Enhancing Active Learning in Large-Enrollment Physics Courses**, invited chapter in *Preparing Future Science and Mathematics Teachers*. Science Math Resource Center, Montana State University, Bozeman, MT, 2005.

MELTZER, D. E. Investigating and addressing learning difficulties in thermodynamics. In: **ASEE Annual Conference and Exposition**, Pittsburg. PA, United states: American Society for Engineering Education, 2008.

MONK, P. M. S. **Physical Chemistry: Understanding our Chemical World**. John Wiley: 2004.

MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science & Education**. London, v. 4, n. 3, 1995.

NUÑES, I. B. **Vygotsky, Leontiev e Galperin: formação de conceitos e princípios didáticos**. Brasília: Liber Livro, 2009.

OGBORN, J. **Dynamic modelling system**. Harlow, Essex: Longman, 1985.

PIAGET, J. **A equilibração das estruturas cognitivas**. Rio de Janeiro: Zahar, 1975.

RAPKIEWICZ, C. E. ; CEZARO, V. ; COSTA, V. M. ; SANTOS, N. S. S. Formando autores na licenciatura em Química: uma pesquisa-ação no Norte Fluminense. **RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 8, p. 1-10, 2010.

RIBEIRO, A. A.; GRECA, I. M.. Simulações Computacionais e Ferramentas de Modelização em Educação Química: Uma Revisão de Literatura Publicada. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, n. 4, p. 542-549, 2003.

RIMAT, F. **Intelligenzuntersuchungen anschliessend an die Ach'sche Suchmethode**. 1925, citado por VIGOTSKI, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. Tradução Paulo Bezerra. 1º ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

RODRIGUES, G. L. **Animação interativa e construção dos conceitos da física: trilhando novas veredas pedagógicas**. Dissertação (Mestrado em Educação). Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2005, 108p.

RODRIGUES, G. L.; TAVARES, R. Modelagem Computacional: Uma Aproximação entre Artefatos Cognitivos e Experimentos Virtuais em Física. **Revista Principia**, João Pessoa, n.12, Abr. 2005.

ROZENTAL, M. M. **Príntzipy diallékticheskoi lógiuki / Principios de lógica dialéctica**, Moskú, Sotzekguiz, 1960, citado por DAVYDOV, V. V. Tipos de generalización en la enseñanza. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1972.

SÁKHAROV (s.d.), citado por VIGOTSKI, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. Tradução Paulo Bezerra. 1º ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

SANTOS, S. C. **Modelagem de cenários telemáticos como estratégia cognitiva para trabalhar conceitos físico-químicos: indicadores de aprendizagem**. Tese (Doutorado em

Informática na Educação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002. 389p.

SFORNI, M. S. F. **Aprendizagem conceitual e organização do ensino: contribuições da teoria da atividade**. Araraquara: JM Editora, 2004. 200p.

SHIF, ZH. I. - Razvitie náuchnyj poniati u shkólnikov / **Desarrollo de los conceptos en los escolares**. Moscú-Leningrado, Uchpedguiz, 1935.

SHVYRIEV, V. S. Neopozitivizm i problemy empirícheskogo obosnovania náuki / **El neopositivismo y los problemas de la fundamentación empírica dela ciencia**. Moscú, Naúka, 1966, citado por DAVYDOV, V. V. Tipos de generalización en la enseñanza. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1972.

SILVA, D. **Estudo das trajetórias cognitivas de alunos no ensino da diferenciação dos conceitos de calor e temperatura**. Tese (Doutorado) - Universidade de São Paulo. Faculdade de Educação, 1995.

SILVA, J.T.; FAGUNDES, L. C.; BASSO, M.V. Metodologia para apoiar o processo de aprendizagem através da produção de objetos de aprendizagem. In: **SÁNCHEZ, Jaime (Ed.). Nuevas Ideas en Informática Educativa: Memorias del XII TISE**. Volumen 3. Santiago de Chile: LOM Ediciones, 2007. p. 297-320.

SILVEIRA, F.L.; MOREIRA, M.A. Validacion de un test para verificar si el alumno posee concepciones científicas sobre Calor, Temperatura Y Energia Interna. **Enseñanza De Las Ciencias**, v. 14, p. 75, 1996.

SIRGADO, A. P. O social e o cultural na obra de Vigotski. In: Vigotski – O manuscrito de 1929: temas sobre a constituição cultural do homem. **Educação e Sociedade: Revista Quadrimestral de Ciência da Educação/CEDES**, n.71, 2000.

SMITH, T.I.; CHRISTENSEN, W. M; THOMPSON, J. Addressing Student Difficulties with Concepts Related to Entropy, Heat Engines and the Carnot Cycle. In: **Physics Education Research Conference**, Michigan. Part of the PER Conference series Ann Arbor. v. 1179, p. 277-280, 2009.

SOUZA, V. A.; JUSTI, R. S. Interloções possíveis entre linguagem e apropriação de conceitos científicos na perspectiva de uma estratégia de modelagem para o calor envolvido nas transformações químicas. **Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 13, n. 2, 2011.

TAROUCO, L.M.R. ; KONRATH, M. L. P.; CARVALHO, M. J. S ; ÁVILA, B. G.. Formação de professores para produção e uso de objetos de aprendizagem. **RENOTE. Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 4, n. 1, p. 1-10, 2006.

TAVARES, R, RODRIGUES, G. L., SANTOS, J. N.; ANDRADE, M. Objetos de aprendizagem e a construção de significados em Termodinâmica. In: **XVIII Simpósio Brasileiro de Informática na Educação**. São Paulo, SP: 2007.

TEODORO, V. D. Embedding Modelling in the General Physics Course: Rationale & Tools. In: **GIREP Conference - Groupe Internationale de Recherche sur l'Enseignement de la Physique** - Modeling in Physics and Physics Education, Amsterdam, August, p. 48-56, 2006.



TEODORO, V. D. Modelação computacional em Ciências e Matemática. **Revista Brasileira de Informática na Educação**, Uniandes-Lidie, Colombia, v.10 , n. 2, p.171- 182, 1997.

TEODORO, V. D. **Modellus: Learning Physics with Mathematical Modelling**. Thesis (PhD) - Universidade Nova de Lisboa. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Lisboa, 2002.

THOMAS, P. L.; SCHWENZ, R. W. College physical chemistry students' conceptions of equilibrium and fundamental thermodynamics. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 35, p.1151–1160, 1998.

TREJO, L. M., FLORES, S. How to improve the teaching of classical thermodynamics? In: **VI Conferência Ibero americana sobre Equilíbrio de Fases para o Projeto de Processos (EQUIFASE 2002)**, Foz do Iguaçu, Brasil, Anais da VI Conferência Ibero-Americana Sobre Equilíbrio de Fases para o Projeto de Processos, 2002.

TREJO, L. M., FLORES, S. The importance of students' misconceptions on learning thermodynamics. In: **VI Conferência Ibero americana sobre Equilíbrio de Fases para o Projeto de Processos (EQUIFASE 2002)**, Foz do Iguaçu, Brasil, Anais da VI Conferência Ibero-Americana Sobre Equilíbrio de Fases para o Projeto de Processos, 2002.

VAN ROON, P. H.; VAN SPRANG, H. F.; VERDONK, H. 'Work' and 'heat': on the road towards thermodynamics. **International Journal of Science Education**, v.16, p. 131-144, 1994.

VEIT, E. A., & TEODORO, V. D. Modelagem no ensino/aprendizagem de Física e os novos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 24(2), 87-96, 2002.

VEIT, E. A; ARAUJO, I. S. Modelagem no Ensino de Física. **Revista Educação**, Maceió, Alagoas, v. 13, n. 21, p. 51-70, 2004.

VIGOTSKI, L. S. **A Construção do Pensamento e da Linguagem**. Tradução Paulo Bezerra. 1º ed. São Paulo: Martins Fontes, 2001.

VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. São Paulo: Martins Fontes, 1984.

VYGOTSKY, L. S. **Mind in Society – The Development of Higher Psychological Process**. Cambridge MA: Harvard University Press, 1978.

VYGOTSKY, L. S.; LURIA, A. R.; LEONTIEV, A. N. **Linguagem, desenvolvimento e aprendizagem**. Tradução Maria da Penha Vilallobos, 10º edição. São Paulo: Ícone, 2006.

WERTSCH, J.V.; DEL RIO, P.; ALVAREZ, A. **Estudos Socioculturais Da Mente**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

WILEY, D. A. Connecting learning objects to instructional design theory: a definition, a metaphor, and a taxonomy. In: **WILEY, David A. (Ed.). The Instructional Use of Learning Objects**: Online Version, 2001.

WU, K.; KRAJCIK, J.; SOLOWAY, E. Promoting Understanding of Chemical Representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. **Journal of Research of Science Teaching**, v.38, n.7, p. 821-840, 2001.

YAMALIDOU, M. Molecular Representations: building tentative links between the history of science and study of cognition. **Science & Education**, vol. 10, pp. 423-451, 2001.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e método**. 2º edição. Porto Alegre: Bookman, 2001. 205p.

ZABALA, A. **A Prática Educativa: como ensinar**. Tradução Ernani F. da F. Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998. 224p.

ZANELLA, A. V. **Vygotski: contexto, contribuições à psicologia e o conceito de zona de desenvolvimento proximal**. Itajaí: Editora da UNIVALI, 2007. v. único. 129 p.

## APÊNDICE A

### TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO



Você está sendo convidado(a) a participar, como voluntário(a), da pesquisa cujo título é: “Formação de conceitos científicos mediada por recursos computacionais: do estudo de caso aplicado à Termodinâmica”, realizada sob orientação da prof. Liliana Maria Passerino, junto ao Programa de Pós- graduação em Informática na Educação da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (PGIE/UFRGS). Nossa pesquisa tem como objetivo analisar o processo de formação de conceitos relativos à Termodinâmica, durante as sequências de atividades mediadas por recursos computacionais. Buscamos, com essa investigação, desenvolver estratégias de ensino apoiadas em recursos computacionais - sobretudo na simulação e na modelagem - que possam contribuir para a ampliação dos conhecimentos químicos acerca desses conceitos estudados.

A sua participação é fundamental. Sendo assim, venho requerer a sua autorização para realização de testes e entrevistas, com posterior publicação dos resultados obtidos. Os dados e resultados individuais desta pesquisa estarão sempre sob sigilo ético e as informações coletadas serão utilizadas apenas para os fins do estudo, não sendo mencionados os nomes dos participantes em nenhuma apresentação oral ou trabalho escrito, que venha a ser publicado.

A participação nesta pesquisa não oferece risco ou prejuízo às pessoas entrevistadas. Se no decorrer da pesquisa, o(a) participante resolver não mais continuar, terá toda a liberdade de o fazer, sem que isso lhe acarrete qualquer prejuízo.

Desde já agradeço a sua colaboração e me coloco a disposição para qualquer esclarecimento.

Pesquisador

Local e data \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
Rodrigo Garrett da Costa

## DECLARAÇÃO

Eu.....declaro que fui esclarecido(a) sobre os objetivos e justificativas deste estudo de forma clara e detalhada, e que concordo em participar do mesmo. Os autores da pesquisa ficam, conseqüentemente, autorizados a utilizar, divulgar e publicar os dados dos testes e das entrevistas.

Assinatura do participante:

---

Local: \_\_\_\_\_ Data: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

## APÊNDICE B

### QUESTIONÁRIO SÓCIO ACADÊMICO

Caro aluno,

Este questionário tem como objetivo levantar o seu perfil sócio acadêmico, na intenção de conhecer melhor as suas dificuldades, e com isso, direcionar as atividades da nossa pesquisa. Sendo assim, solicitamos que preencha cuidadosamente os campos destacados abaixo e, no caso de dúvida quanto ao preenchimento, solicite esclarecimento ao professor/pesquisador.

Nome: \_\_\_\_\_ 2. Idade: \_\_\_\_\_

3. Durante o período de aula, de segunda à sexta, você reside com quem?

\_\_\_\_\_

4. A escola na qual você concluiu o ensino médio pertence à rede:

(    ) Particular    (    ) Municipal    (    ) Estadual    (    ) Federal    (    )

Outra: \_\_\_\_\_

5. cursou ensino técnico profissionalizante? Caso positivo, em qual área e qual modalidade?

\_\_\_\_\_

6. Possui alguma experiência profissional? Caso positivo, de quantos anos? (descrever resumidamente a que mais se relaciona com a sua área de estudo)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

7. Realiza alguma atividade remunerada no momento? Qual?

\_\_\_\_\_

8. Já cursou alguma outra faculdade? Caso positivo, qual curso e até que período?

\_\_\_\_\_

9. Você saberia especificar em linhas gerais, quais são os assuntos estudados na disciplina “Físico-química 1” do curso de Ciências da natureza do IFF?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

10. Você possui afinidade pelos assuntos ou temas estudados na Físico-química? Quais as suas principais dificuldades no estudo dessa disciplina?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

11. Você possui alguma sugestão ou dica de estratégias de ensino que possa ser utilizada pelo professor para minimizar essas dificuldades?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

12. Você acha que o uso dos recursos computacionais durante as aulas de Físico-química pode contribuir para a melhora na aprendizagem dos conteúdos? Explique sua afirmação.

\_\_\_\_\_

---

13. Possui familiaridade com o uso do computador?

---

14. Saberria descrever quais assuntos a Termodinâmica se ocupa em estudar?

---

---

15. Escreva, em linhas gerais, o que você entende acerca dos conceitos abaixo. Caso deseje, pode utilizar-se também de desenhos, gráficos ou equações para complementar sua resposta:

**Calor:**

---

---

---

---

**Trabalho de expansão:**

---

---

---

---

**Entropia:**

---

---

---

---

16. Com base no seu conhecimento acerca dos três conceitos descritos acima, organize um “mapa conceitual, explicando as relações estabelecidas entre esses conceitos.

Obrigado pela sua participação!

## APÊNDICE C

### ESTRUTURAÇÃO DAS ATIVIDADES COMPUTACIONAIS – PERÍODO LETIVO DE 2010/II

Data	Atividade realizada	Recursos/Instrumentos ou fontes de dados
16/09/10	Levantamento dos conhecimentos prévios acerca dos conceitos de calor, temperatura, energia interna.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Questionário sócio acadêmico</li> <li>• Mapa conceitual inicial</li> </ul>
21/09/10		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teste inicial de conhecimentos</li> </ul>
23/09/10	Os conceitos fundamentais: Trabalho, calor (definição, propagação) e energia; Energia interna; A Primeira Lei da Termodinâmica.	-----
28/09/10	Leitura do material equivalente mecânico de calor e realização da simulação computacional.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulação computacional</li> <li>• 1º Relatório de atividades</li> </ul>
30/09/10	Tipos de transformações (isotérmica, isovolumétrica, adiabática, etc); funções de estado	-----
10/05/10	Construção (complementar) do mapa conceitual com base em pesquisa na <i>web</i> .	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pesquisa na <i>web</i></li> <li>• Mapa conceitual final</li> </ul>
10/07/10	Trabalho reversível e irreversível	-----
14/10/10	Capacidade Calorífica a pressão constante e a volume constante	-----
19/10/10	Modelagem computacional para o conceito de trabalho isotérmico reversível e irreversível de gases IDEAIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelagem computacional com o <i>software</i> Modellus</li> </ul>
21/10/10	Relação entre as capacidades caloríficas, entalpia, calorímetro, cálculos de entalpia	-----
26/10/10	Modelagem computacional para o conceito de trabalho isotérmico reversível e irreversível de gases REAIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelagem computacional com o <i>software</i> Modellus</li> <li>• Entrega da modelagem</li> <li>• 2º Relatório de atividades</li> </ul>
04/11/10	Transformações adiabáticas, trabalho adiabático, relação entre T e V; relação entre P e V	-----
09/11/10	Avaliação de conhecimentos - Teste final sobre a PRIMEIRA lei da Termodinâmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrega do teste discursivo</li> </ul>
11/11/10	Entropia: introdução; cálculo de entropia; entropia como função de estado	-----
16/11/10	Etapas do Ciclo de Carnot (cálculos de q, w, U, H, eficiência)	-----
18/11/10	Desigualdade de Clausius	-----
30/11/10	Simulação do funcionamento de uma máquina térmica que opera por meio do	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Objeto de aprendizagem</li> <li>• 3º Relatório de atividades</li> </ul>

	ciclo de Carnot	
02/12/10	Variações de entropia de alguns processos	-----
07/12/10	Funções do sistema (energia de Gibbs e de Helmholtz); Trabalho máximo e trabalho máximo não expansivo	-----
09/12/10	Avaliação de conhecimentos - Teste final sobre a SEGUNDA lei da Termodinâmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entrega do teste discursivo</li> </ul>



## APÊNDICE D

### ESTRUTURAÇÃO DAS SEQUÊNCIAS DE ATIVIDADES – PERÍODO LETIVO DE 2011/I

Data	Atividade realizada	Recursos/Instrumentos ou fontes de dados
31/03/11	Levantamento dos conhecimentos prévios acerca dos conceitos de calor, temperatura, energia interna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Questionário sócio acadêmico</li> <li>• Mapa conceitual inicial</li> </ul>
06/04/11		<ul style="list-style-type: none"> <li>• Teste inicial de conhecimentos</li> </ul>
<b>PRIMEIRA SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES</b>		
07/04/11	Minicurso sobre o ambiente PBworks	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diário de campo</li> </ul>
13/04/11	Os conceitos fundamentais: Trabalho, calor (definição, propagação) e energia; Energia interna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro das ideias iniciais no ambiente PBworks</li> <li>• Pesquisa na <i>web</i></li> </ul>
14/04/11	Equipartição de energia; Primeira Lei da Termodinâmica	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diário de campo</li> </ul>
20/04/11	Realização da simulação computacional; Exercícios	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simulação computacional</li> <li>• 1º Relatório de atividades</li> <li>• Diário de campo</li> </ul>
<b>SEGUNDA SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES</b>		
27/04/11	Minicurso sobre Modelagem computacional	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelagem computacional com o <i>software</i> Modellus</li> <li>• Diário de campo</li> </ul>
28/04/11	Trabalho isotérmico reversível e irreversível: apresentação da situação problema	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Registro das ideias iniciais no ambiente PBworks</li> <li>• Pesquisa na <i>web</i></li> </ul>
04/05/11	Modelagem computacional para o conceito de trabalho isotérmico reversível e irreversível de gases IDEAIS	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelagem computacional com o <i>software</i> Modellus</li> <li>• Diário de campo</li> </ul>
05/05/11	Resolução de exercícios de fixação	-----
11/05/11	Trocas térmicas; Capacidades caloríficas; variação da entalpia com a temperatura e da energia interna com a temperatura	-----
12/05/11	Relação entre as capacidades caloríficas; cálculos de entalpia	-----
18/05/11	Resolução de exercícios de fixação	-----
19/05/11	Transformações adiabáticas, Trabalho adiabático; Relação entre P e V em uma transformação adiabática reversível; Relação entre T e V em uma transformação adiabática reversível	-----
25/05/11	Modelagem computacional para o conceito de trabalho isotérmico reversível e irreversível de gases reais	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Modelagem computacional com o <i>software</i> Modellus</li> <li>• Entrega da modelagem</li> <li>• Diário de campo</li> </ul>

		• 2° Relatório de atividades
26/05/11	Termoquímica; variações de entalpia; calorímetro adiabático	-----
01/06/11	Resolução de exercícios	-----
02/06/11	Avaliação de conhecimentos - Teste final sobre a PRIMEIRA lei da Termodinâmica	• Entrega do teste discursivo
<b>TERCEIRA SEQUÊNCIA DE ATIVIDADES</b>		
08/06/11	Máquinas térmicas e Ciclo de Carnot: Apresentação da situação problema	• Registro das ideias iniciais no ambiente PBworks • Pesquisa na <i>web</i> • Trabalho colaborativo no ambiente PBworks
09/06/11	Atividade acadêmica (semana das licenciaturas)	• Análise do Objeto de Aprendizagem • Trabalho colaborativo no ambiente PBworks
15/06/11	Paralisação	• Análise do Objeto de Aprendizagem • Trabalho colaborativo no ambiente PBworks
16/06/11	Paralisação	• Análise do Objeto de Aprendizagem
22/06/11	Entropia: introdução; cálculo de entropia; entropia como função de estado	-----
29/06/11	Etapas do Ciclo de Carnot (cálculos de q, w, U, H, eficiência)	-----
30/06/11	Desigualdade de Clausius	-----
06/07/11	Funções do sistema (energia de Gibbs e de Helmholtz); Trabalho máximo e trabalho máximo não expansivo	-----
07/07/11	Realização de exercícios de revisão	-----
13/07/11	Apresentação do seminário	• Entrega da apresentação • Diário de campo • 3° Relatório de atividades
14/07/11	Recuperação	

## APÊNDICE E

### MODELO DO RELATÓRIO DE ATIVIDADES

#### RELATÓRIO DE ATIVIDADES 2: MODELAGEM COMPUTACIONAL SOBRE TRABALHO EXPANSIVO ISOTÉRMICO ENVOLVENDO GASES IDEAIS E REAIS

Caro aluno, esse RELATÓRIO DE ATIVIDADES foi criado para que você possa expor sua opinião sobre as atividades computacionais desenvolvidas em sala de aula, contribuindo assim, para o seu constante aperfeiçoamento.

De acordo com as possibilidades de respostas abaixo, assinale a alternativa que julgar ser a que melhor expresse o seu pensamento:

**CP: concordo plenamente**

**C: concordo**

**NO: não tenho opinião**

**D: discordo**

**DT: discordo totalmente**

**1** – A experiência didática baseada no uso dos recursos computacionais foi útil para que eu compreendesse melhor os fenômeno(s) e conceito(s) Físico-químico(s) estudado(s). (    )

Observações: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**2** – O método de ensino foi adequado para a abordagem do conteúdo estudado. (    )

Observações: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**3** – A condução das tarefas da atividade computacional fora descritas de modo claro pelo professor. (    )

Observações: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**4** – O conteúdo trabalhado não despertou o meu interesse. (    )

Observações: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**5** – Eu tive dificuldades na condução das tarefas computacionais. (    )

Observações: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**6** – Eu recomendo a utilização dessa atividade computacional nas aulas presenciais do próximo período letivo. (    )

Observações: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

7 – Destaque os principais aspectos (positivos e negativos) observados durante a atividade computacional desenvolvida:

**POSITIVOS:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

**NEGATIVOS:** \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

8 – Utilize o espaço abaixo para fazer suas considerações sobre a atividade computacional, sugerir alterações e expor dificuldades, tanto quanto aos aspectos tecnológicos quanto àqueles relativos à aprendizagem do conteúdo abordado.

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

## APÊNDICE F

### ROTEIRO DE ATIVIDADES PARA A SIMULAÇÃO DE EQUIVALENTE MECÂNICO DE CALOR

- Responda, sem consultar qualquer material, a seguinte pergunta: QUAL A DIFERENÇA ENTRE CALOR E TEMPERATURA?
- Utilize o vídeo disponível em <http://christiano.webnode.com.pt/news/experimento-de-joule/> e o texto disponível em
- [http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/CFQ/Experincias\\_de\\_Joule/Equivalncia\\_Trabalho\\_Calor.html](http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/CFQ/Experincias_de_Joule/Equivalncia_Trabalho_Calor.html) para direcionar a sua pesquisa na busca de respostas para a pergunta acima;
- Realizar uma pesquisa na *web* sobre os seguintes temas: calor e temperatura (definição); equivalente calor-trabalho; energia térmica; formas de propagação de calor e equilíbrio térmico. (PROCURE ILUSTRAR COM FIGURAS, ANIMAÇÕES, LINKS EXTERNOS, ETC.);
- Fazer a simulação sobre equivalente mecânico de calor acessando o link: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/estadistica/otros/joule/joule.htm> ou sua tradução para o português em:
- <http://www.fisica.ufs.br/CorpoDocente/egsantana/estadistica/otros/joule/joule.htm> (NÃO ESQUEÇAM DE PREENCHER O RELATÓRIO DE ATIVIDADES PARA ENTREGAR EM 27/04/11)
- Será necessário que vocês se reunam nos grupos, conforme estabelecemos anteriormente, ou seja: I, L e La (grupo 1); Li, Ma e Pr (grupo 2); J, Ka e S (grupo 3); Th, Pa e Da (grupo 4); Di, Ma (grupo 5)
- Cada grupo precisará desenvolver um documento único, sob a forma colaborativa, no ambiente PBworks;
- Ao final dessa atividade, o documento construído deverá ser apresentado (sob a forma de aula) aos demais colegas dos grupos.

## APÊNDICE G

### ATIVIDADE DE CRIAÇÃO COM O *SOFTWARE* MODELLUS: EXPLORANDO EQUAÇÕES DE TRABALHO REVERSÍVEL E IRREVERSÍVEL.

Essa experiência tem como objetivo promover sua familiarização com algumas das principais ferramentas do Modellus, através da construção das equações e representação gráfica de trabalho reversível e irreversível para um gás ideal e também para um gás real.

#### 1. Introdução

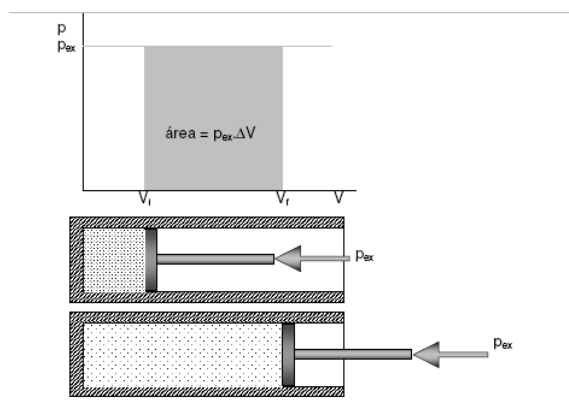
Nas discussões acerca do cálculo de trabalho, é importante destacar a diferença entre os dois tipos existentes: reversível e irreversível. O trabalho irreversível é aquele que ocorre contra uma pressão externa constante; já o trabalho reversível pode ser observado, como no caso de uma expansão, quando a pressão externa é sempre infinitesimalmente menor que a interna.

Em uma transformação isobárica ( $p = \text{constante}$ ), o trabalho irreversível e pode ser interpretado como:

$$dw = -pdV$$

$$w = -\int p_{\text{ex}} dV$$

$$w_{\text{irrev}} = -p_{\text{ex}}\Delta V$$

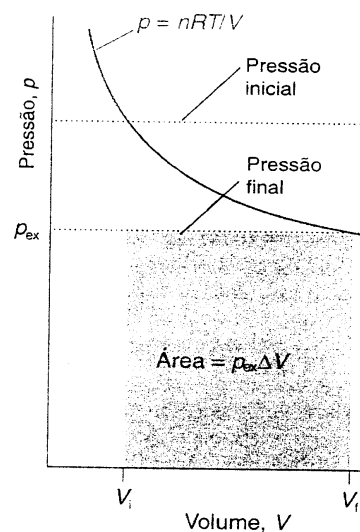


Já em uma transformação isotérmica, como em uma expansão isotérmica reversível (quando  $p_{\text{ex}} = p_{\text{gás}}$ ), o trabalho realizado pelo sistema, que é do tipo reversível, pode ser interpretado da seguinte forma:  $dw = -p_{\text{ex}}dV = -p_{\text{gás}}dV$

Quando o gás for perfeito:  $w_{\text{rev}} = -nRT \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$

Quando o gás for real do tipo *van der Waals*:

$$w_{\text{rev}} = \int \left[ \frac{nRT}{(v - nb)} - \frac{an^2}{v^2} \right] dv$$



#### 2. Criação do modelo

$$\left(\frac{dw_{irrev}}{dv}\right) = -P_{ex}$$

*Equação do trabalho irreversível*

$$\left(\frac{dw_{rev,ideal}}{dv}\right) = -P_{gas}, \text{ onde } P_{gas} = \frac{nRT}{V}$$

*Equação do trabalho reversível (gás ideal)*

$$\left(\frac{dw_{rev,real}}{dv}\right) = -P_{gas}, \text{ onde } P_{gas} = \frac{nRT}{V - nb} - \frac{an^2}{v^2}$$

*Equação do trabalho reversível (gás real)*

### 3. Criação da animação

- Entre na janela “variável independente” e estabeleça como padrão o volume (v); Considere o volume mínimo como sendo 10,0 L e o volume máximo como sendo 50,0 L, com o passo de 0,1L;
- Na janela “Modelo” do *software* Modellus, transcreva a fórmula diferencial de trabalho por volume (a) para processo irreversível, (b) para processo reversível, gás ideal; e (c) para processo reversível, gás real. Após clicar em “interpretar”, estabeleça como parâmetros: n = 1mol, R = 0,082 atm.L/K.mol e T = 300K;
- Considere os parâmetros “a” e “b” do gás argônio, ou seja, os valores de 1,337 atm.L<sup>2</sup>/mol<sup>2</sup> e 0,032 L/mol, respectivamente.
- Na janela “Gráfico”, admita a pressão como uma das variáveis dependentes (eixo vertical) e o trabalho como outra variável dependente. Mude as cores das linhas de pressão e trabalho para diferenciá-las no gráfico;
- Na janela “Tabela” assinale os parâmetros pressão, volume e trabalho. Verifique se na janela “Gráfico” encontra-se marcada a opção “escala automática”. Em seguida represente o gráfico, analisando-o;
- Na janela “objetos”, insira um indicador de nível para o parâmetro temperatura com um mínimo de 100, e um máximo de 700 K. Analise o efeito da temperatura sobre o gráfico.
- Insira uma figura de fundo na animação.

### 4. Interpretação do modelo e análise dos dados

Os modelos gerados deverão ser analisados e comparados quanto aos cálculos de trabalho irreversível e reversível feitos manualmente. Considere o trabalho como sendo a área sob as curvas do diagrama de pressão versus volume e discuta o efeito da temperatura, com base na análise gráfica e na fundamentação teórica sobre o assunto.

## APÊNDICE H

### ROTEIRO DE ATIVIDADES PARA O OBJETO DE APRENDIZAGEM “SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA”

Caro aluno, essa atividade tem como objetivo proporcionar a exploração e fixação de conceitos relativos à Segunda Lei da Termodinâmica, já debatida anteriormente em sala de aula. Dentre os tópicos de estudo, destacam-se:

- As transformações de estado de um sistema em um ciclo termodinâmico ideal;
- Os processos que envolvem transformações de energia, com a diminuição da quantidade de energia disponível para a realização de trabalho mecânico (processos irreversíveis).
- As etapas do Ciclo idealizado por Carnot, o qual estabelece a eficiência máxima teórica da conversão de calor em trabalho dada por uma seqüência de processos reversíveis;
- O conceito de entropia nos aspectos quantitativos como uma estimativa da desordem do sistema e nos qualitativos onde impõe limites gerais sobre a flecha do tempo em determinados processos.

Para desenvolver suas atividades, você está recebendo do professor o seguinte material: **um texto de apoio sobre a Segunda lei da Termodinâmica, um arquivo com a simulação computacional do ciclo de Carnot e uma lista de exercícios-desafio**. Comece pela leitura do texto e somente após terminá-la, dê início à simulação computacional - basta para isso clicar no ícone “**anim.html**”.

#### **Atividade de simulação computacional:**


- 1) Estabeleça as temperaturas da fonte quente e do reservatório frio e clique sobre o ícone “Atualizar”, na parte superior, à direita;
- 2) Selecione o ponto que corresponderá à primeira adiabática;
- 3) Selecione o ponto que corresponderá à segunda adiabática. Surgirá o ciclo especificado;
- 4) Clique em “inicia” e a animação terá início. Observe as transformações que ocorrem em cada etapa do sistema por meio da ilustração logo abaixo do gráfico (descreva o que ocorre em cada etapa em termos de  $U$ ,  $w$ ,  $q$  e  $T$ ). Utilize a pausa sempre que necessário para interromper o processo e observar com mais atenção as transformações.

**Depois de encerrada a atividade de simulação computacional, responda às questões nº 1, 2, 4, 5 e 6 propostas no texto “Desafios”. Se necessário, recorra novamente à simulação**

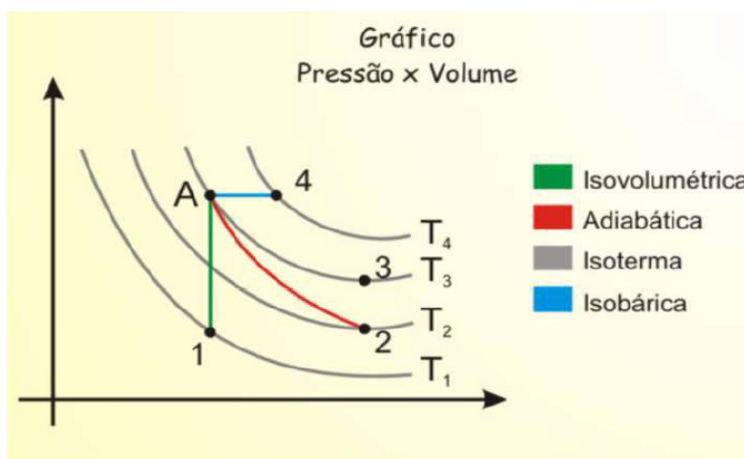


## APÊNDICE I

### ATIVIDADE DE DESAFIOS PARA O OBJETO DE APRENDIZAGEM “SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA”

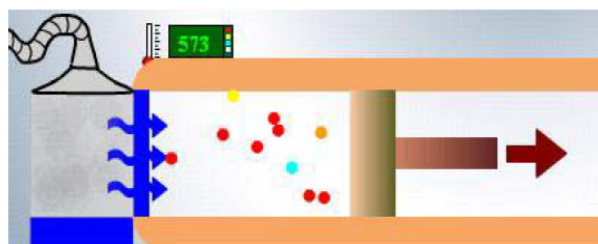
 <p>FNDE / SEED / MEC</p>	<p><u>Desafios</u> <u>Objeto de aprendizagem: Segunda Lei da Termodinâmica</u> NOA - UFPB</p>
--	---

- 1- O gráfico da figura mostra quatro processos diferentes para uma quantidade constante de gás ideal, todos iniciando no estado A. cada um dos pontos (A, 1, 2, 3, 4) representa um determinado estado da massa gasosa considerada. Das afirmações abaixo, qual a única que não é correta?



- $T_1 < T_a$
- $T_2 < T_a$
- $T_3 = T_a$
- $T_4 > T_a$
- A temperatura diminuiu somente no caso da expansão isobárica.

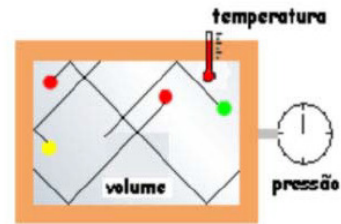
- 2- A figura “A” representa um cilindro com paredes isoladas termicamente, exceto a parede lateral que fica em contato com a fonte térmica. O êmbolo tem liberdade de se mover sem atrito ao longo do cilindro. Considerando que a massa gasosa no interior do cilindro permanece constante, indique nas afirmações abaixo aquela que não contém inconsistências, tendo como referência modelo de gases ideais.



- O gás somente pode ser aquecido se receber calor da fonte térmica que deve ter uma temperatura superior à do interior do cilindro.
- Só é possível baixar a temperatura do gás retirando a fonte térmica ou troca-la por uma de temperatura inferior a do gás.
- A temperatura do gás pode ser alterada mesmo o sistema estando isolado termicamente, bastando para isso, realizar um trabalho sobre o sistema ou do sistema sobre a vizinhança.
- O trabalho realizado sobre (ou pelo) gás só é possível deixando escapar parte da sua massa ao mover o pistão.
- É impossível transformar calor em trabalho ou trabalho em calor durante uma transformação gasosa.

3- O modelo cinético-molecular de um gás ideal descreve a relação entre suas propriedades macroscópicas e microscópicas. Com base neste modelo é correto afirmar que:

- A pressão que o gás exerce sobre as paredes do recipiente que o contém independe das forças que as moléculas do gás exercem sobre as paredes do recipiente.
- O volume do gás é o espaço de alta densidade ocupado por moléculas na forma de partículas que podem colidir inelasticamente entre si.
- A temperatura do gás depende apenas do número de moléculas por unidade de volume ocupado pelo gás.
- As moléculas do gás estão em movimento perpétuo e aleatório que não pode ser regido pelas Leis de Newton.
- A energia cinética translacional das moléculas de um gás é diretamente proporcional a sua temperatura absoluta.



4- O gráfico PxV da figura ao lado ilustra duas transformações isotérmicas (1,2) e uma adiabática que liga os estados G,N, para uma mesma massa gasosa de um gás ideal. Julgue as afirmativas que descrevem partes destes processos.

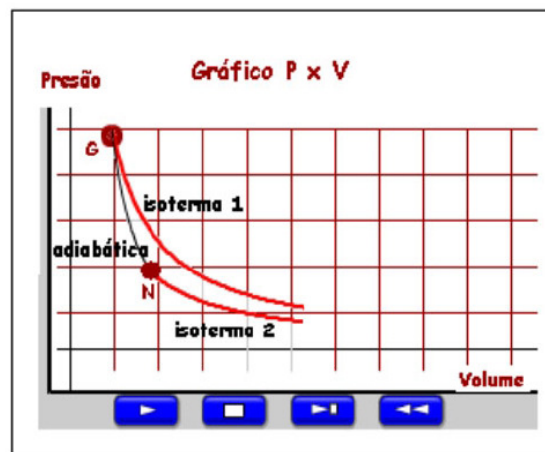
I - A expansão GN ao longo da adiabática indica que foi realizado trabalho às custas de sua energia interna e a temperatura do sistema diminuiu.

II - A compressão NG ao longo da adiabática indica que o trabalho recebido pelo sistema produziu aumento em sua energia interna e sua temperatura aumentou.

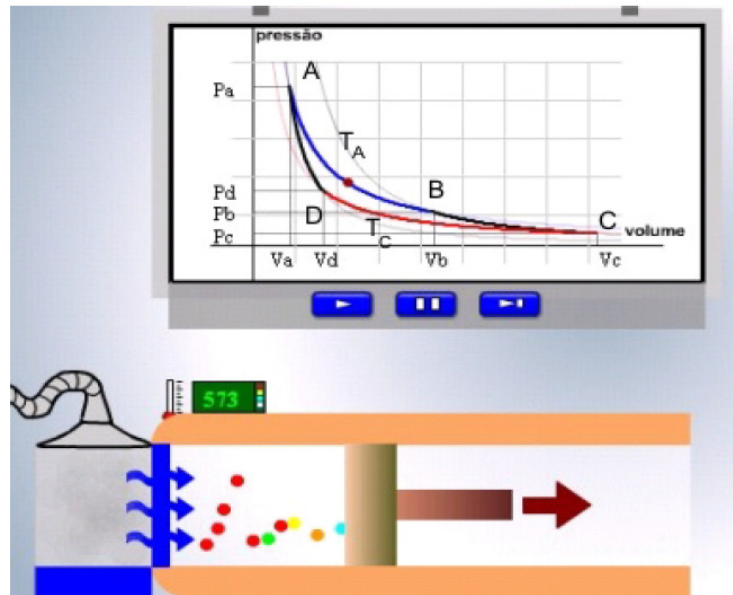
III - A transformação ao longo das isotermas 1 e 2 ocorreram sempre com aumento da energia interna do sistema.

- São corretas as afirmações:

- I, II e III
- Apenas I e II
- Apenas I e III
- Apenas II e III
- Somente III



- A figura ao lado e o correspondente gráfico ilustram o ciclo de Carnot para um gás ideal. Observe a mesma, caso necessário, para responder as questões 5 e 6.



5- Entre os possíveis processos efetuados no ciclo de Carnot, qual o que não está descrito de acordo com o gráfico da figura?

- de  $A \rightarrow B$ , o gás se expande isotermicamente na temperatura  $T_A$ , absorvendo calor da fonte quente.
- de  $B \rightarrow C$ , o gás se expande adiabaticamente até que sua temperatura cai para  $T_C$ .
- de  $C \rightarrow D$ , o gás é comprimido isotermicamente na temperatura  $T_C$ , rejeitando calor para a fonte fria.
- de  $D \rightarrow A$ , o gás é comprimido adiabaticamente retornando ao seu estado inicial na temperatura  $T_A$ .
- no ciclo ABCDA, não houve realização de trabalho.

6- Para o ciclo de Carnot descrito na figura são feitas as seguintes afirmações:

- O ciclo de Carnot envolve um conjunto de transformações em que após o término de cada ciclo, a massa gasosa encontra-se exatamente no estado em que estava inicialmente. E conseqüentemente, a variação da energia interna do sistema em cada ciclo é nula.
- O trabalho realizado em cada transformação que compõe o ciclo de Carnot é o mesmo em cada um dos processos.
- O ciclo de Carnot foi idealizado com base no princípio da conservação da energia. E conseqüentemente, o calor absorvido em cada transformação é sempre constante e convertido integralmente em uma quantidade equivalente de trabalho.

Dentre as afirmações está(ão) correta(s):

- I   b) II   c) III   d) I e III   e) II e III



7- A primeira lei da Termodinâmica não pode prever se um sistema pode ou não evoluir num determinado sentido. Só a segunda lei da Termodinâmica permite decidir antes da tentativa de sua realização se uma determinada transformação é ou não possível de se efetivar. Estas afirmações estão associadas ao ciclo de Carnot respectivamente nos aspectos:

- a) A energia interna depende somente do estado do sistema e não de como o sistema foi posto neste estado./ O calor é uma propriedade do sistema, portanto depende do processo como é transferido.
- b) Energia interna não é uma propriedade do sistema./ Calor é um processo cujo fluxo espontâneo é motivado por uma diferença de temperatura.
- c) A variação da energia interna mede apenas a energia líquida transferida ao sistema./ É impossível o calor fluir espontaneamente qualquer que seja o processo.
- d) A energia interna é uma propriedade do sistema, cuja variação depende apenas da energia resultante transferida ao sistema./ Calor não é uma propriedade do sistema, portanto depende dos detalhes do processo realizado, sendo impossível fluir espontaneamente de uma temperatura mais baixa para uma temperatura mais alta.
- e) A energia interna determina a ordem para que determinada transformação ocorra./ Calor é uma propriedade do sistema que não depende do processo como é transferido.

## APÊNDICE J

### TESTE INICIAL DE CONHECIMENTOS PARA OS CONCEITOS DE CALOR, TEMPERATURA E ENERGIA INTERNA (ADAPTADO DE SILVEIRA E MOREIRA, 1996).

Prezado aluno,

Estas questões se relacionam com os conteúdos que você já deve ter estudado durante o seu curso de graduação, na disciplina Energia e Matéria em Transformação, no quinto período. Por favor, responda-as da melhor maneira possível, ainda que não se sinta seguro quanto à sua resposta. Elas não terão absolutamente nenhum efeito sobre o conceito da disciplina Físico-química 1.

Abaixo você encontrará um teste com 20 perguntas de múltipla escolha, cada uma contendo três alternativas de resposta identificadas pelas letras a, b e c. Pode haver uma, duas ou três respostas corretas para cada questão. Marque na folha o item que você acredita ter a melhor combinação de respostas:

- I. Se somente a letra “a” está correta.
- II. Se somente a letra “b” está correta.
- III. Se somente a letra “c” está correta.
- IV. Se as letras “a” e “b” estão corretas.
- V. Se as letras “a” e “c” estão corretas.
- VI. Se as letras “b” e “c” estão corretas.
- VII. Se todas as letras estão corretas.

#### 1) Podemos associar a existência de calor:

- a) a qualquer corpo, pois todo corpo possui calor;
- b) somente aos corpos que estão "quentes";
- c) às situações em que ocorre, necessariamente, a transferência de energia.

#### 2) Para que se possa falar em calor:

- a) é suficiente a existência de um único sistema (corpo);
- b) são necessários, pelo menos, dois sistemas;
- c) é suficiente a existência de um único sistema, porém ele deve estar "quente".

#### 3) Para que se possa admitir a existência de calor deve haver:

- a) uma diferença de temperatura;
- b) uma diferença de massa;
- c) uma diferença de energia.

#### 4) O calor é:

- a) a energia cinética das moléculas;
- b) a energia transmitida através de uma diferença de temperatura;
- c) a energia contida em um corpo.

**5) Dentro de uma sala que não tenha sido aquecida ou refrigerada durante vários dias:**

- a) a temperatura dos objetos de metal é inferior à temperatura dos objetos em madeira;
- b) a temperatura dos objetos de metal, tapetes, e de outros objetos é a mesma;
- c) nenhum objeto apresenta temperatura.

**6) A água (a 0°C) obtida pela fusão de um cubo de gelo (a 0°C), contém, em comparação ao gelo:**

- a) mais energia;
- b) menos energia;
- c) a mesma quantidade de energia.

**7) Dois cubos metálicos A e B são colocados em contato. O cubo A está mais "quente" que o cubo B. Por sua vez, ambos estão mais "quentes" que o ambiente. Depois de passado algum tempo, a temperatura final de A e B será:**

- a) igual à temperatura ambiente;
- b) igual à temperatura inicial de B;
- c) a média entre as temperaturas iniciais de A e B.

**8) Duas pequenas placas A e B do mesmo metal e mesma espessura são colocados dentro de um forno, que logo em seguida é fechado e acionado. A massa de A é o dobro da massa de B ( $m_A = 2m_B$ ). Inicialmente as placas e o forno estão todos na mesma temperatura, mas algum tempo depois a temperatura de A será:**

- a) o dobro da de B;
- b) metade da de B;
- c) igual à de B.

**9) Considere duas esferas idênticas, uma em um forno quente e a outra em um congelador. Basicamente, que diferença há entre elas imediatamente após a retirada do forno e da geladeira, respectivamente?**

- a) a quantidade de calor contida em cada um delas;
- b) a temperatura de cada um delas;
- c) uma delas contém calor e a outra não.

**10) Em dois vasos idênticos contendo a mesma quantidade de água (250 cm<sup>3</sup>), na temperatura ambiente, são colocados em um cubo de gelo em 0°C e três cubos de gelo a 0°C, respectivamente (cada cubo com cerca de 1 cm<sup>3</sup>). Em qual vaso a água fica mais fria?**

- a) no vaso em que são colocados três cubos de gelo;
- b) no vaso em que é colocado um cubo de gelo;
- c) os dois vasos esfriam igualmente.

**11) Duas esferas do mesmo material, mas cujas massas são diferentes, são deixadas durante um longo período de tempo em um forno. Quando removidas do forno, são imediatamente colocadas em contato. Nesta situação:**

- a) o calor flui da esfera de maior massa para a de menor massa;

- b) o calor flui da esfera de menor massa para a de maior massa;
- c) nenhuma das esferas cede calor para a outra.

**12) As mesmas esferas da pergunta anterior são agora deixadas por um longo tempo dentro de um congelador. Nesta situação, quando removidas e imediatamente postas em contato:**

- a) nenhuma das esferas possui calor devido à sua baixa temperatura;
- b) o calor flui da esfera de maior massa para a de menor massa;
- c) nenhuma das esferas cede calor para a outra.

**13) O que muda quando uma quantidade de água entra em ebulição e passa para a fase de vapor?**

- a) sua energia interna;
- b) o calor contido nela;
- c) a sua temperatura.

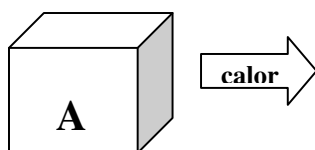
**14) Quando as extremidades de uma barra de metal estão em temperaturas diferentes:**

- a) a extremidade de maior temperatura possui mais calor que a outra;
- b) o calor flui de uma extremidade que contém mais calor para a que contém menos calor;
- c) há transferência de energia pelo movimento desordenado dos átomos ou moléculas.

**15) A energia interna de um corpo pode estar associada:**

- a) ao calor;
- b) a energia cinética dos átomos ou moléculas;
- c) a energia potencial dos átomos ou moléculas.

**16) Observando a figura a seguir sem dispor de nenhuma outra informação adicional, pode-se dizer que o cubo A possui, respectivamente ao ambiente que o rodeia:**



- a) temperatura mais elevada;
- b) mais energia;
- c) mais calor.

**17) Quando se encontra na pressão atmosférica, o nitrogênio líquido entra em ebulição a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Um grama de nitrogênio líquido nessa temperatura, comparado com um grama de vapor de nitrogênio também a  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$  possui:**

- a) mais energia;
- b) menos energia;

c) a mesma quantidade de energia.

**18) O ponto de congelamento de mercúrio na pressão atmosférica é de  $-39^{\circ}\text{C}$ . O que acontece imediatamente depois que certa quantidade de mercúrio líquido (a  $-39^{\circ}\text{C}$ ) é colocada em contato com nitrogênio líquido, no seu ponto de ebulição, a  $-196^{\circ}\text{C}$ ?**

a) a temperatura do nitrogênio aumenta e a do mercúrio diminui;

b) a temperatura do mercúrio diminui, mas o nitrogênio não se altera;

c) o mercúrio começa a se solidificar e o nitrogênio entra em ebulição, sem mudança de temperatura.

**19) O que acontece quando colocamos um termômetro, em um dia no qual a temperatura está em  $21^{\circ}\text{C}$ , em água a uma temperatura mais elevada?**

a) a temperatura e a energia interna do termômetro aumentam;

b) a temperatura do termômetro aumenta, porém sua energia interna permanece constante;

c) nem a temperatura nem a energia interna do termômetro se modificam, somente a coluna do líquido termométrico se dilata.

**20) Quando um bom condutor é colocado em contato com outro corpo cuja temperatura é mais alta, o condutor transfere energia:**

a) sem alterar sua temperatura;

b) alterando a sua temperatura;

c) modificando sua energia interna.



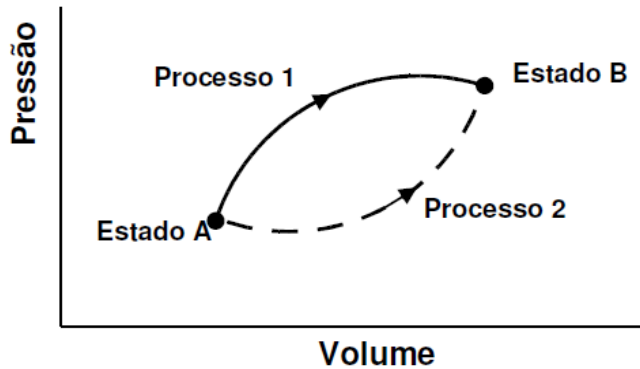
## APÊNDICE K

### TESTE FINAL SOBRE A PRIMEIRA LEI DA TERMODINÂMICA (ADAPTADO DE MELTZER, 2004)

1) (1,0 ponto) **Dois quilogramas** de um gás ideal são colocados em um recipiente A, e outros **quatro quilogramas** do mesmo gás ideal são colocados em um recipiente B. A **energia cinética total das moléculas** do gás no recipiente A (ou seja, a soma das energias das moléculas individuais) é **exatamente igual à energia cinética total das moléculas do gás no recipiente B**. Os dois recipientes são colocados em contato térmico um com o outro, mas ficam isolados do ambiente ao seu redor, ou seja, das vizinhanças. Quando os dois recipientes entrarem em contato um com o outro, o que se poderá esperar das suas temperaturas? Deverão **aumentar, diminuir ou permanecer constantes**? **Explique sua resposta.**

2) (1,0 ponto) Um objeto A (de maior capacidade calorífica) é adicionado a um calorímetro adiabático que está parcialmente preenchido com um líquido B (de menor capacidade calorífica). A massa do objeto é a mesma do líquido, mas sua temperatura (do objeto) é maior do que a temperatura inicial do líquido. Após isso, o calorímetro é deixado em repouso por várias horas. Admitindo-se que a capacidade calorífica do calorímetro seja nula, responda: depois de ultrapassado o tempo necessário para que seja atingido o equilíbrio térmico entre o objeto e o líquido, deverá se constatar que a variação de temperatura do objeto será **maior, menor ou igual** à variação de temperatura do líquido? **Explique sua resposta.**

3) (1,5 pontos) O diagrama P versus V ilustrado abaixo representa um sistema consistindo de uma quantidade fixa de um gás ideal que realiza uma transformação do estado A para o estado B através de dois processos diferente (Processo 1 e Processo 2):



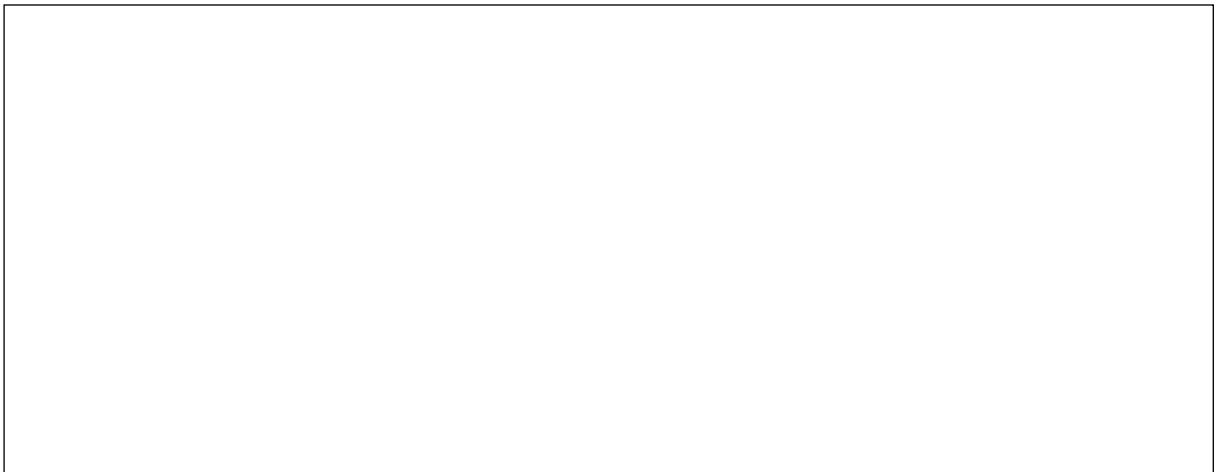
Considere que  $w$  representa o trabalho realizado pelo sistema e  $q$  representa o calor transferido para o sistema nos processos 1 e 2 para responder as questões a seguir:

- a) O trabalho realizado pelo sistema durante o processo 1 é (em módulo) **maior, menor ou igual** ao trabalho realizado pelo sistema no processo 2? **Explique sua resposta.**

- b) O calor absorvido pelo sistema durante o processo 1 é (em módulo) **maior, menor ou igual** ao calor transferido para o sistema no processo 2? **Explique sua resposta.**

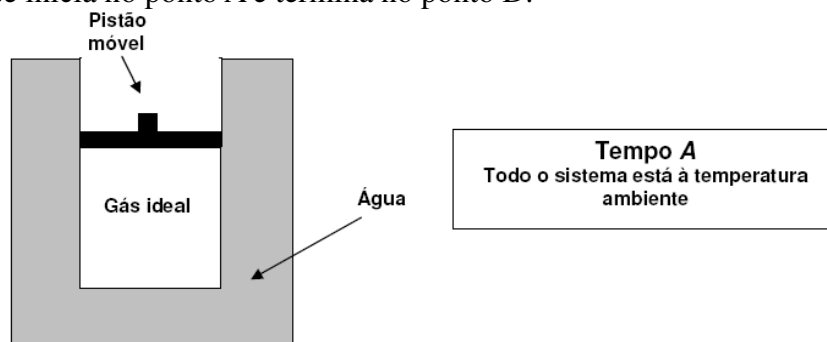
- c) Em qual processo ocorre maior variação na energia total (cinética mais potencial) de todos os átomos no sistema: **o Processo n° 1, o Processo n° 2, ou ambos os processos produzem a mesma variação?** **Explique sua resposta.**

4) (1,5 pontos) Uma amostra de 2,0 moles de He se expande isotermicamente, a 22°C, de 22,8L até 31,7L, (a) reversivelmente, (b) contra pressão externa constante igual à pressão final do gás e (c) livremente (contra pressão externa nula). Em cada processo, calcule  $q$ ,  $w$ ,  $\Delta U$  e  $\Delta H$ .



	q	w	$\Delta U$	$\Delta H$
a				
b				
c				

5) (3,0 pontos) Uma quantidade fixa de um gás ideal está contida em um cilindro de metal que é selado com um pistão móvel (sem atrito e isolante térmico). O êmbolo pode mover-se para cima ou para baixo sem a menor realização de atrito, enquanto que o gás não consegue entrar ou sair do cilindro. O pistão é pesado e então o cilindro é rodeado por um grande recipiente de água com paredes altas, como mostrado na figura abaixo. Vamos analisar e descrever o processo que se inicia no ponto A e termina no ponto D.

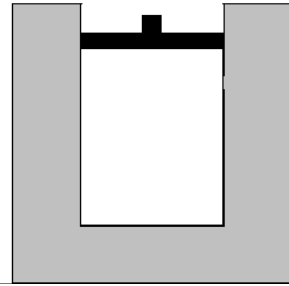


No primeiro momento, o gás, o cilindro e água foram deixados em repouso em uma sala por um determinado período de tempo, estando todos na mesma temperatura ambiente ( $T=25^{\circ}\text{C}$ ).

**Etapa 1.** Inicia-se o processo. O reservatório de água é aquecido gradualmente, e muito lentamente o pistão se move para cima contra pressão externa constante ( $P = 1 \text{ atm}$ ). A temperatura do sistema aumenta até  $T = 30^{\circ}\text{C}$  e, atingido o tempo B, o aquecimento da água cessa e o pistão pára de se mover com um deslocamento de **10 cm de altura**, localizando na posição representada na figura abaixo:

**Tempo B**

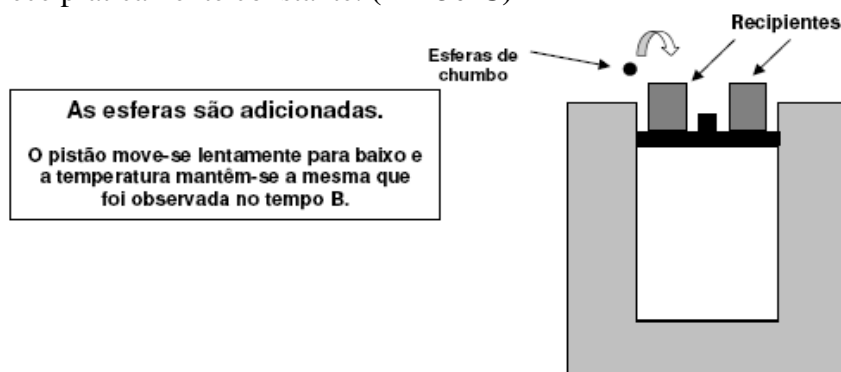
O pistão está em uma nova posição e a temperatura do sistema foi alterada.



a- Durante o processo que ocorre desde o tempo A até o tempo B, podemos afirmar que: (a) o trabalho é feito sobre o gás pelas vizinhanças, (b) o trabalho é realizado pelo gás sobre as vizinhanças, (c) nenhum trabalho é feito no gás ou pelo gás. **Explique sua resposta.**

b -Durante o processo que ocorre desde o tempo A até o tempo B, o gás absorve “X” joules de energia da água. Qual das seguintes afirmações é verdadeira: A energia cinética total de todas as moléculas de gás (a) aumenta em **mais** de X Joules, (b) aumenta em X Joules, (c) aumenta, **porém em menos** de X Joules, (d) permanece inalterada, (e) diminui **em menos** de X Joules, (f) diminui X joules, (g) diminui **em mais** de X Joules. **Explique sua resposta:**

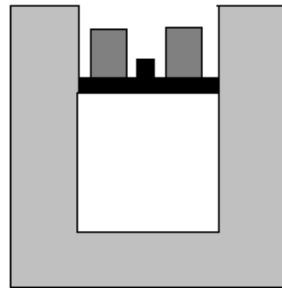
**Etapa 2:** Agora, dois recipientes vazios são colocados no topo do pistão, conforme mostrado na figura abaixo. Em seguida, pequenas esferas de chumbo são gradualmente adicionadas nesse recipiente e o pistão move-se lentamente para baixo. Enquanto isso acontece, a temperatura da água varia pouco (mantém-se quase inalterada), enquanto que a temperatura do gás permanece praticamente constante. ( $T = 30^{\circ}\text{C}$ )



**Etapa 3:** No tempo C, deixa-se de adicionar as esferas de chumbo no recipiente e o pistão para de se mover. (As esferas que já se encontravam nos recipientes continuam lá). O pistão localiza-se agora exatamente na mesma posição que estava no tempo A (início do processo).

**Tempo C**

As esferas nos recipientes levam o pistão para a mesma posição do tempo A, mas a temperatura é a mesma do tempo B.



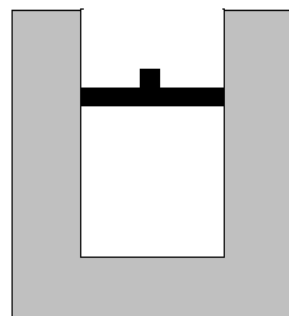
c - Durante o processo que ocorre desde o tempo B até o tempo C, a energia cinética total de todas as moléculas do gás **aumenta, diminui ou permanece a mesma? Explique sua resposta.**

d - Durante o processo que ocorre do tempo B para o tempo C, há alguma troca de energia entre o gás e a água? Caso sua resposta seja negativa, justifique. Se for positiva, diga se ocorre da água para o gás ou do gás para a água. **Explique sua resposta.**

**Etapa 4:** Agora, considere que o pistão encontra-se travado no lugar para que não possa se mover. As esferas são removidas e o sistema é deixado em repouso em uma sala durante algumas horas até que todo o sistema retorne a temperatura ambiente, ou seja, a mesma temperatura do tempo A ( $T = 25^{\circ}\text{C}$ ). Ao final dessa etapa, será atingido o tempo D.

**Tempo D**

O pistão retorna à mesma posição que em A e a temperatura também é a mesma do tempo A.



**Considere o processo total, desde o tempo A até o tempo D e responda as perguntas abaixo:**

e - O trabalho realizado pelo gás nas vizinhanças para todo o processo é: (a) maior que zero, (b) igual a zero, ou (c) menor que zero? **Responda com base na representação gráfica das etapas do processo.**

f - A transferência de calor para o gás para todo o processo é: (a) maior que zero, (b) igual a zero, ou (c) menor que zero? **Justifique sua resposta.**

Mantenha a calma e boa prova!

## APÊNDICE L

### TESTE FINAL SOBRE A SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA (ADAPTADO DE MELTZER, 2008)

1) (1,5 pontos) Um objeto é colocado em uma sala isolada termicamente que contém ar. O objeto e o ar da sala estão inicialmente em temperaturas diferentes, sendo permitida troca térmica entre ambos, mas não entre o ar da sala e as suas paredes, que são isolantes. Durante um processo espontâneo, o que se pode concluir a respeito da entropia:

- a) do ar que está na sala;
- b) do objeto;
- c) do ar que está na sala mais a entropia do objeto;

**Aumentam, diminuem, permanecem as mesmas, ou não podem ser determináveis com as informações fornecidas? Justifique sua resposta.**

2) (1,5 pontos) Considere uma máquina térmica que utiliza uma quantidade fixa de gás ideal. Esse gás realiza um processo cíclico, que consiste de uma série de modificações de pressão, volume e temperatura. O processo é chamado de "cíclico", porque o sistema gasoso repetidamente retorna ao seu estado original (ou seja, mesmo valor de temperatura, pressão e volume) quando o ciclo é completado. Julgue as afirmativas abaixo (**explicando sua resposta**), quanto à observação de um ciclo completo no qual o sistema começa em um determinado estado e retorna ao mesmo estado:

- A variação de energia interna ( $\Delta U$ ) do gás durante um ciclo completo é sempre igual a zero para qualquer que seja o caminho efetuado no processo?
- A variação de entropia ( $\Delta S$ ) do gás durante um ciclo completo é sempre igual a zero para qualquer que seja o caminho efetuado no processo?
- A quantidade líquida de calor ( $q$ ) trocada pelo gás durante um ciclo completo é sempre igual a zero para qualquer que seja o caminho efetuado no processo?

3) (2,0 pontos) Uma folha fina de plástico divide um recipiente isolado de dois litros pela metade. Cinco moles de um gás ideal estão confinados em uma das metades do recipiente, a uma temperatura de 300 K. A divisória de plástico é repentinamente removida e o gás se expande para preencher todo o volume do recipiente. Como se trata de uma expansão livre de um gás ideal, nenhum trabalho é realizado pelo ou sobre o gás (sistema), ficando a temperatura do gás mantida a 300 K. Vamos usar  $\Delta S_{\text{livre}}$  para simbolizar a mudança na entropia do gás durante este processo de expansão livre (em que  $\Delta S = S_{\text{final}} - S_{\text{inicial}}$  e  $\Delta S_{\text{total}} = \Delta S_{\text{sistema}} + \Delta S_{\text{vizinhanças}}$ ).

Consideremos agora uma outra situação: desta vez, cinco moles do mesmo gás ideal estão inicialmente confinados em um cilindro de um litro de capacidade com um pistão móvel. A temperatura é novamente 300 K. lentamente o êmbolo é deslocado, enquanto o cilindro está em contato com um reservatório térmico (vizinhanças). A temperatura do gás permanece constante em 300 K, enquanto o volume aumenta para dois litros. Considere  $\Delta S_{\text{isotermico}}$  como a variação da entropia do gás (sistema) durante esse segundo processo e leve em consideração as modificações de entropia do sistema e de suas vizinhanças para responder à seguinte pergunta:

**$\Delta S_{\text{total, isotermico}}$  é maior, menor ou igual ao  $\Delta S_{\text{total, livre}}$ ? Explique seu raciocínio.**

4) (1,5 pontos) Um sistema sofre um processo no qual a variação da sua entropia é  $+ 5,51 \text{ J.K}^{-1}$ . Durante o processo, o sistema recebe 1,50 KJ de calor, a 350 K. O processo é termodinamicamente reversível? **Explique o seu raciocínio.**



5) (1,5 pontos) Calcule a variação de entropia de um gás perfeito diatômico quando 2,0 moles desse gás ( $C_{p,m} = 7/2.R$ ) passam do estado de 25°C e 1,50 atm para o estado a 135°C e 7,00 atm. Como se explica o sinal de  $\Delta S$ ?

Mantenha a calma e boa prova!