

Thiago Farias

**ATIVIDADES EXPERIMENTAIS:
CONTRIBUIÇÕES PARA O APRENDIZADO DOS CONCEITOS
DE CALOR E DE TEMPERATURA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina em cumprimento ao requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação Científica e Tecnológica.

Orientador: Dr. José de Pinho Alves Filho.

Florianópolis
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Farias, Thiago

Atividades Experimentais : contribuições para o
aprendizado dos conceitos de calor e de temperatura /
Thiago Farias ; orientador, José de Pinho Alves Filho -
Florianópolis, SC, 2013.
273 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Físicas e Matemáticas.
Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica.

Inclui referências

1. Educação Científica e Tecnológica. 2. Atividade
Experimental. 3. Calor. 4. Obstáculos de aprendizagem. 5.
Temperatura. I. de Pinho Alves Filho, José. II.
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-
Graduação em Educação Científica e Tecnológica. III. Título.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS FÍSICAS E MATEMÁTICAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DA EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO
CURSO DE MESTRADO EM EDUCAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA

“Atividades experimentais: contribuições para o aprendizado dos conceitos de calor e de temperatura”

Dissertação submetida ao Colegiado do Curso de Mestrado em Educação Científica e Tecnológica em cumprimento parcial para a obtenção do título de Mestre em Educação Científica e Tecnológica

APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA em 28/03/2013


Dr. José de Pinho Alves Filho (PPGECT/UFSC – Orientador)

Dr. Mikael Frank Rezende Junior (UNIFEI – Examinador)

Dr. José Francisco Custódio Filho (CFM/UFSC – Examinador)

Dr. Fábio Peres Gonçalves (CFM/UFSC – Examinador)

Dra Sonia Maria S. C. de Souza Cruz (CFM/UFSC - Suplente)


Dr. Carlos Alberto Marques

Coordenador do PPGECT

Thiago Farias

Florianópolis, Santa Catarina, março de 2013

AGRADECIMENTOS

Aos principais participantes desta pesquisa, os **estudantes da rede pública** de ensino básico, fundamentais para a concretização deste trabalho. Sou muito grato pela confiança e pela gentileza ao me aceitarem como professor e pesquisador. Apesar das perturbações sociais, afetivas e cognitivas que devo ter causado, espero ter contribuído efetivamente para a formação de cada um.

À sociedade brasileira por ter permitido que obtivesse o título de Mestre em Educação Científica em uma instituição pública de ensino. Grato também pelo apoio financeiro, fomentado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (**CNPq**), ao longo de 12 meses. Peço desculpas caso minhas limitações não tenham permitido que contribuísse da forma esperada.

A todos os profissionais das escolas por onde passei, pela acolhida e pelo amparo, principalmente nas figuras de coordenadores, diretores e professores. Ao esforço dos professores que gentilmente cederam suas preciosas horas-aulas e tiveram que lidar com as perturbações que causei no ambiente. Em especial àqueles que me ajudaram inúmeras vezes na aplicação da pesquisa, dedicando várias de suas horas de trabalho, principalmente na preparação dos aparatos experimentais antes das aulas e durante as rápidas transições entre turmas.

Ao orientador e professor José de Pinho Alves Filho, pela vigilância epistemológica, pelos conflitos cognitivos, pelas perguntas cruciais e pela dedicação na orientação mesmo diante das dificuldades enfrentadas ao longo destes dois anos.

Pelo olhar crítico e pela dedicação, sou muito grato aos membros das bancas de qualificação e defesa: Fábio Peres Gonçalves, José Francisco Custódio Filho e Mikael Frank Rezende Junior.

Aos servidores do PPGECT, departamento de Física, departamento de Química e CFM.

Aos professores Carlos Alberto Marques, Frederico Firmo De Souza Cruz, Sônia Maria Silva Correa De Souza Cruz e Vivian Leyser.

Ao LABIDEX e Laboratórios de Ensino de Química pelo empréstimo de materiais.

Ao Baú de Ciências projeto de extensão do Departamento de Física. Agradeço pelo empréstimo de ferramentas, materiais e da oficina.

Aos colegas do Baú de Ciências, pelo apoio incondicional na elaboração desta dissertação. Este trabalho não teria existido se não

fosse o projeto e esta equipe: João Paulo Manrrich, Dr. Nelson Canzian da Silva, Osvaldo Vieira Junior e Vilmar Minella Junior.

A Djali Avelino Valois e José Eduardo de Lucca pela confiança e pela compreensão nos meses enquanto estava trabalhando e cursando o mestrado.

Aos colegas da pós-graduação, pelo companheirismo e paciência.

Aos amigos e companheiros de aprendizado Elizandro Maurício Brick e Maurício Girardi Schappo, dois pilares em minha formação.

A todos os familiares por terem compreendido minhas ausências e apoiarem minhas escolhas. Especialmente àqueles que não pouparam esforços, sorrisos, respeito e amor para que eu chegasse aqui: a minha mãe Joilda Della Justina Farias e o meu pai Orlando José Farias. Às minhas irmãs Thaís Farias de Souza e Ticiania Della Justina Farias, que me acolheram e alegraram com maestria.

Se o desânimo e desapego à vida acadêmica tomavam conta de meus pensamentos, a motivação surgia em palavras sagazes. Se o sentimento de incapacidade, o nervosismo e a angústia paralisavam-me, a tranquilidade e o equilíbrio vinham em risadas. Se o campo teórico me jogava para outro rumo, uma mão me puxava de volta. Mesmo que não saibamos aonde iremos, sou eternamente grato a ti, Francielle Schlindwein da Silva, “Fran”, por ter me acompanhado nos caminhos tortuosos que tenho trilhado e ajudado a encontrar o equilíbrio.

RESUMO

Identificou-se que características das atividades experimentais favoreceram a superação de obstáculos para a aprendizagem dos conceitos de temperatura e calor. Foi realizado um levantamento teórico dos tipos de obstáculos que podem afetar o processo de ensino-aprendizagem. Para superá-los, averiguou-se que ações didáticas deveriam ser tomadas. A adoção de uma concepção construtivista de ensino com forte orientação epistemológica revelou-se apropriada. As atividades experimentais, por sua vez, demonstraram-se como promissoras ferramentas didáticas no alcance da superação de obstáculos de aprendizagem. Após a discussão teórica, planejou-se uma sequência didática baseada fortemente em atividades experimentais. Esta pesquisa concretizou-se em três etapas: sondagem, ensaio piloto e pesquisa principal. Sendo aplicada em um total de 7 turmas de segundo ano do ensino médio de escolas públicas da região da grande Florianópolis (SC). A sondagem, envolvendo 36 estudantes, teve a finalidade de verificar a existência de obstáculos de aprendizagem e identificar o potencial de algumas atividades experimentais. O ensaio piloto, realizado com 27 estudantes, possibilitou o aprimoramento dos instrumentos de pesquisa, a configuração de um conjunto de atividades experimentais e a definição da sequência didática. Com a consolidação desses materiais, realizou-se a pesquisa principal, que envolveu 93 estudantes. Os aparatos experimentais selecionados visavam gerar conflitos cognitivos nos estudantes sobre o que seria “sensação térmica”; identificar a relação e as diferenças entre calor e temperatura; e modelizar uma explicação dos fenômenos térmicos baseada em uma visão submicroscópica da matéria. O conjunto de instrumentos utilizados incluiu questionários, roteiros de atividades experimentais com questões abertas e fechadas, desenhos feitos pelos estudantes e gravação de áudio das aulas. A análise do áudio transcrito e das respostas registradas nos roteiros foi orientada pela análise de conteúdo. A metodologia “semiótica aplicada a imagens estáticas” guiou a análise os desenhos. Confirmou-se a presença de diversos obstáculos de aprendizagem, manifestados nas explicações orais e escritas dos estudantes. Por meio dos registros escritos e das discussões sobre os resultados experimentais, foram identificadas as características das atividades experimentais que favoreceram a superação desses obstáculos.

Palavras-chave: Atividade Experimental; Calor; Obstáculos de aprendizagem; Temperatura.

ABSTRACT

It was identified that some experimental activities' features influenced the process to suppress obstacles to learning concepts like heat and temperature. A theoretical survey was made in order to find what kind of obstacles may impact on the teaching-learning process. It was important to become aware of didactic operation should be taken in order to surpassing these obstacles. The adoption of a constructivist teaching conception strongly guided by epistemology was required. In this context, experimental activities have been shown as potential allies to overcome learning obstacles. After the theoretical study, a didactic sequence was built based on several experimental activities. This survey was held in three steps: scanning, pilot study and main research. Seven different classes of high school's second year were used, all of them related to the public education system and situated on the city of Florianópolis – SC. The scanning, applied with 36 students, was aiming to check the existence of epistemological obstacles and the potential of some experimental activities. The pilot study, held with 27 students, allowed improving research instruments, building a set of experimental activities and defining the didactic sequence. With the data collected in the firsts steps it was arranged a collection of instruments and experimental activities applied in the main research, involving 93 students. The set of experiments chosen allowed create cognitive conflicts about thermal sensation, recognize relations and differences about heat and temperature and modelling physics phenomena based on a submicroscopic view of matter. The research's instruments include questionnaires, activities guides, students' drawings and audio record. Content Analysis was selected as methodology to perform the analysis of audio and students' records. Semiotic Analysis guided their drawings analysis. Along this survey, some learning obstacles were revealed in students' writing or speech records. Also, with same data, it was revealed various experimental activities' features that allowed suppressing obstacles.

Keywords: Experimental Activities; Heat; Learning Obstacles; Temperature.

LISTA DE FIGURAS

Figura 4.1 – Distribuição média das respostas dos estudantes ao Q-P.....	109
Figura 4.2 – Respostas a questões do roteiro Atividade Experimental II-P	118
Figura 4.3 – Respostas às questões do roteiro Atividade Experimental III-P	122
Figura 4.4 – Exemplar de desenho de moléculas em diferentes estados físicos	128
Figura 4.5 – Exemplar 1 de desenho de moléculas em diferentes estados.	132
Figura 4.6 – Exemplar 2 de desenho de moléculas em diferentes estados.	133
Figura 4.7 – Exemplar 1 de uso da visão submicroscópica do fenômeno	138
Figura 4.8 – Exemplar 2 de uso da visão submicroscópica do fenômeno	139
Figura 4.9 – Respostas à questão 1 do Teste 2	140
Figura 4.10 – Respostas à questão 2 do Teste 2	141
Figura 4.11 – Respostas à questão 4 do Teste 2	141
Figura 4.12 – Respostas à questão 5 do Teste 2	142
Figura 5.13 – Distribuição das respostas dos estudantes dos itens 1 ao 6	148
Figura 5.14 – Distribuição das respostas dos estudantes dos itens 7 ao 15	150
Figura 5.15 – Distribuição das respostas dos estudantes aos itens 16 ao 22	153
Figura 5.16 – Distribuição das respostas dos itens 23 a 29	154
Figura 5.17 – Número de concordância às alternativas das questões 2 e 3 do roteiro de AE I.....	165
Figura 5.18 – Número de concordância às alternativas das questões 4, 5 e 7.	166
Figura 5.19 – Número de concordâncias à questão 9 do roteiro de atividade experimental II	171
Figura 5.20 – Desenho com foco no espaçamento entre as moléculas.....	193
Figura 5.21 – Desenho de um sólido a diferentes temperaturas.....	193
Figura 5.22 – Desenho de um sólido a diferentes temperaturas	194
Figura 5.23 – Desenho de sólido a 80°C com sinalização de agitação. ...	194
Figura 5.24 – Desenho de um gás com sinalização de mobilidade	195
Figura 5.25 – Desenho com sinalização de agitação no sólido	196
Figura 5.26 – Desenho com texto (ancoragem) sobre a agitação.....	197
Figura 5.27 – Desenho com bolinhas de tamanhos diferentes	197
Figura 5.28 – Desenho da estudante Lia	220

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 – Respostas ao Q2.....	90
Tabela 3.2 – Respostas ao Q 1.....	93
Tabela 4.3 – Respostas às questões 1 a 15 do Questionário P.....	110
Tabela 4.4 – Respostas às questões 16 a 29 do Questionário P.....	112
Tabela 4.5 – Expectativas dos estudantes de materiais quentes/frios .	114
Tabela 5.6 – Distribuição em categorias das respostas ao roteiro de Atividade Experimental I	157

LISTA DE QUADROS

Quadro 1.1 – Desestabilização do obstáculo.....	56
Quadro 1.2 – Construção ou (reconstrução) conceitual	58
Quadro 1.3 – Identificação do obstáculo.....	59
Quadro 2.4 – Obstáculos de aprendizagem relacionados à temperatura e ao calor.....	78
Quadro 2.5 – Classes de atividades experimentais	80
Quadro 2.6 – Outras classes de atividades experimentais.....	81
Quadro 2.7 – Superação de obstáculos e as atividades experimentais .	82
Quadro 2.8 – Manifestações de obstáculos no Q2	86
Quadro 3.9 – Planejamento das aulas do Ensaio Piloto	105
Quadro 3.10 – Proposta para trabalhar os obstáculos nas aulas	106
Quadro 5.11 –Enunciados dos itens 1 ao 6 do questionário.....	148
Quadro 5.12 – Enunciados dos itens 7 ao 15 do questionário.....	150
Quadro 5.13 – Enunciados dos itens 16 ao 22 do questionário.....	152
Quadro 5.14 – Enunciados dos itens 23 ao 29 do questionário.....	154
Quadro 5.15 – Elementos denotativos nos desenhos	192

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	19
CAPÍTULO I – LOCALIZANDO OS OBSTÁCULOS DE APRENDIZAGEM ...	30
1.1 <i>A atitude científica</i>	31
1.2 <i>Calor e temperatura: seus obstáculos</i>	42
1.3 <i>O planejamento da Sequência Didática</i>	48
1.4 <i>Atividades Experimentais: nosso objeto de pesquisa</i>	61
1.5 <i>O estudante do ponto de vista de Vigotski</i>	69
CAPÍTULO II – DELIMITANDO A PESQUISA	74
2.1 <i>Orientação Metodológica</i>	74
2.2 <i>Os sujeitos da Pesquisa</i>	77
2.3 <i>Elaborando Categorias de Análise</i>	78
2.3 <i>Os primeiros Instrumentos da Pesquisa</i>	83
2.4 <i>A elaboração dos Instrumentos da Sondagem</i>	84
CAPÍTULO III – SONDAAGEM	89
3.1 <i>Identificando os obstáculos</i>	90
3.2 <i>Elaborando as Atividades Experimentais</i>	96
3.3 <i>Identificando as características das Atividades Experimentais</i>	98
3.4 <i>Elaborando a Sequência Didática: reflexos da Sondagem</i>	105
CAPÍTULO IV – ENSAIO PILOTO	108
4.1 <i>Dados do questionário P</i>	109
4.2 <i>Encontro 1 – Aulas I e II</i>	114
4.3 <i>Encontro 2 – Aulas III e IV</i>	122
4.4 <i>Encontro 3 – Aulas V e VI</i>	126
4.5 <i>Encontro 4 – Aulas VII e VIII</i>	135
4.5 <i>Ajustes e preparação para a pesquisa</i>	143
CAPÍTULO V – ANALISANDO OS DADOS DA PESQUISA	146
5.1 – <i>Resultados do questionário</i>	148
5.2 – <i>Atividade Experimental I – O objeto é quente ou frio?</i>	156
5.3 – <i>Atividade Experimental II – Os três copos com água</i>	165
5.4 – <i>Atividade Experimental III – Temperatura dos objetos</i>	171
5.5 – <i>Atividade Experimental IV – Aquecimento da Água</i>	174
5.6 – <i>Atividade Experimental V – Esfregar as mãos</i>	182
5.7 – <i>Atividade Experimental VI – Modelos de gases e sólidos</i> ... 188	
5.8 – <i>Atividade Experimental VII – Panela de papel</i>	212
5.8 – <i>Atividade Experimental VIII – Condutividade</i>	216
5.9 – <i>Atividade Experimental IX – Cascata de tachinhas</i>	220
CONSIDERAÇÕES FINAIS	222
REFERÊNCIAS	231

APÊNDICE.....	242
<i>Apêndice A – Instrumentos utilizados na Sondagem</i>	<i>242</i>
<i>Apêndice B – Instrumentos utilizados no Ensaio Piloto</i>	<i>249</i>
<i>Apêndice C – Planejamento das aulas do Piloto</i>	<i>257</i>
<i>Apêndice D – Instrumentos utilizados na pesquisa.....</i>	<i>267</i>

INTRODUÇÃO

É comum encontrarmos afirmações de educadores apontando que as atividades experimentais são importantes para o ensino de Física no Ensino Médio. Para alguns, elas servem como mecanismo de auxílio à aprendizagem e, portanto, são dispensáveis, enquanto outros afirmam que são fundamentais (logo, obrigatórias) para o aprendizado dos estudantes (ARAÚJO; ADIB, 2003; CHAGAS; MARTINS, 2006). Contudo, podemos questionar os argumentos e a fundamentação dessas afirmações. Apesar das diversas maneiras pelas quais as atividades experimentais são propostas ou usadas nas aulas de Física no Ensino Médio, Araújo e Adib (2003, p. 191) destacam dois argumentos comuns empregados por educadores e pesquisadores da área de Ensino de Física:

- a) Capacidade de estimular a participação ativa dos estudantes, despertando sua curiosidade e interesse, favorecendo um efetivo envolvimento com sua aprendizagem;
- b) Tendência em propiciar a construção de um ambiente motivador, agradável, estimulante e rico em situações novas e desafiadoras que, quando bem empregadas, aumentam a probabilidade de que sejam elaborados conhecimentos e sejam desenvolvidas habilidades, atitudes e competências relacionadas ao fazer e entender a Ciência.

Os pontos levantados pelos autores apresentam indicativos da realização de atividades experimentais na concepção construtivista de ensino, quando destacam a participação mentalmente ativa do estudante. No entanto, o artigo evidencia que a comunidade de educadores e pesquisadores foca pontos como interesse, motivação e habilidades na realização de atividades experimentais, deixando em segundo plano a “elaboração de conhecimentos”. Precisa-se analisar com cautela como esses aspectos estão sendo considerados para justificar a realização de atividades experimentais, principalmente o termo motivação, que frequentemente carece de embasamento nas pesquisas da área. Já no trabalho de Laburú (2006), busca-se por bases mais firmes para o vínculo entre motivação e atividades experimentais.

Laburú (2006) busca esclarecer o conceito de motivação à luz do ponto de vista cognitivo. Como consequência, trata do papel das sensações e emoções durante atividades pedagógicas, especialmente as experimentais. Para esse autor, a atividade pedagógica é influenciada por fatores psicológicos subjetivos e, já que o ser humano, além de pensar, possui sentimentos, a motivação se torna um desses fatores. Ele

lembra também dos papéis dos desequilíbrios destacados por Piaget para a cognição e a motivação durante a realização de atividades em sala, cujos apontamentos também são usados por Millar (2004) para legitimar o uso das atividades experimentais no ensino. Tanto Laburú quanto Millar consideram que atividades experimentais permitem criar situações afetivamente estimulantes para o aprendizado, ou seja, motivadoras de processos cognitivos. Ao mesmo tempo, tentam se afastar da noção de atividade experimental como mero entretenimento em sala de aula, algo que também é criticado posteriormente por Millar e Abrahams (2009). Devemos alertar que aumentar o “interesse” não é o mesmo que estimular a motivação do ponto de vista cognitivo. Por exemplo, um experimento em que ocorra uma explosão pode até gerar atenção sobre o aparato, mas a explosão por si só gera um interesse de “baixo nível” (LABURÚ, 2006), pois a atenção do estudante estará focada no superficial do fenômeno, beirando o entretenimento.

Extraímos de Araújo e Adib (2003) que vários professores salientarem aspectos positivos da realização de atividades experimentais. Todavia, há uma contradição quando confrontamos esses pontos positivos com o trabalho de Pena e Ribeiro Filho (2009), no qual outra amostra de professores acusa obstáculos baseados nas suas experiências pedagógicas. Segundo a análise dos relatos realizada por estes autores, um dos entraves é a “carência de pesquisa sobre o que os alunos realmente aprendem por meio de experimentos” (PENA; RIBEIRO FILHO, 2009, p. 7). Há desconhecimento de muitos sobre os reais benefícios do uso de atividades experimentais no ensino. Isso nos alerta para o fato de que é necessário entender melhor o potencial das atividades experimentais no ensino. Enquanto prevalecer o discurso de que a atividade serve para deixar a aula interessante, os aspectos didáticos dificilmente serão avaliados.

Na análise de Araújo e Adib (2003), notamos que o termo motivação pode aparecer em dois “momentos” durante as aulas. Uma atividade experimental com a finalidade de “motivar” os estudantes tem sido usada antes ou depois de o professor trabalhar conceitos físicos e teorias; serve para chamar atenção sobre o conteúdo que será estudado ou para comprovar a teoria já vista e manter o interesse dos estudantes para as próximas atividades pedagógicas. Dessa maneira, corre-se o risco de a atividade experimental ser pouco usada para discutir os conceitos do fenômeno físico e cair no mero entretenimento, que inclusive é contrário aos apontamentos de Laburú (2006).

Devemos lembrar que o saber físico escolar teve como origem um processo que envolveu teorias e experimentações, no qual o cientista

não usava o aparato experimental somente para comprovar sua teoria ou sentir-se motivado. Além disso, há um número amplo de cientistas que não usam experimentos, embora outros o façam para identificar a correspondência empírica das hipóteses e modelos teóricos (FRENCH, 2009). Desse modo, ao considerarmos o papel do empírico no contexto do fazer científico, reforçamos a ideia de que realizar atividades experimentais envolve muito mais que a motivação. Identificarmos no trabalho de Laburú (2006) que cativar (cognitivamente) os estudantes por meio de experimentos é relevante para o ensino, mas buscamos um olhar macro para as atividades experimentais no ensino de Física e, por isso, necessitamos entender melhor a relação entre os conceitos e a empiria nesse contexto. Sendo assim, enfocaremos em compreender o que fazer com as atividades experimentais no ensino, considerando o papel da experimentação científica¹ na produção do conhecimento científico.

O termo “fazer ciência” também é frequente como argumento para realizar atividades experimentais (ARAÚJO; ADIB, 2003). Bastante usado pela comunidade de ensino de Física, ainda pode estar carregado de significados de uma visão empirista de ciência, que é bastante limitada, como apontado por Andrade, Lopes e Carvalho (2009), Euler (2004), Millar (2004) e Pinho-Alves (2000). O papel comumente atribuído a essas atividades ainda é o de ensinar o método experimental – pelas características implícitas da prática e também pela falta de objetivos explícitos para o uso dessas atividades no ensino de conteúdos físicos (PINHO-ALVES, 2000). Criticando essa postura, contraditória às atuais concepções educacionais e epistemológicas, podemos encontrar autores repensando o papel das atividades experimentais diante de uma perspectiva construtivista de ensino², como em alguns trabalhos dos últimos Encontros de Pesquisa em Ensino de Física: Borges (2002); Whitaker e colaboradores (2002); Borragini (2004); Gaspar e Monteiro (2004); Padilha e Carvalho (2004); Erthal, e

¹Estamos considerando este termo como Pinho-Alves (2000): a experiência é uma interação não preparada (de senso comum) com alguma situação cotidiana, não sendo reprodutível; e a experimentação faz parte do trabalho científico, sujeita a regras e a instrumentos (de medida e teóricos) e critérios de cientificidade.

²Alguns pressupostos básicos dessa visão são considerar que estudante é um sujeito ativo; que tanto ele quanto o cientista não são neutros ao observar fenômenos; e que a produção de conhecimento científico é fruto de um processo histórico não linear.

Linhares (2006); Talim (2006); Boss e colaboradores (2008; 2010); e Couto, Aguiar e Freitas (2010). Nestes trabalhos, notamos um avanço em relação ao que apontaram Araújo e Adib (2003, p. 191) no trecho que trouxemos no início desta Introdução.

A atividade experimental está sendo pensada de forma mais ampla – afastando-se da comprovação de teorias ou da ideia de motivar para realizar tarefas –, buscando entender como ela permite a elaboração de determinado conhecimento em sala de aula diante dos processos cognitivos do estudante. Isso tem sido verificado por diversos levantamentos bibliográficos em outros trabalhos. Entretanto, Azevedo e colaboradores (2009), apontam que a maior parte das propostas de atividades experimentais (para o ensino de Física), presente em nove diferentes periódicos de 1979 a 2008, tem o caráter verificacionista e pouco enfatizam a discussão do fenômeno. Do total de artigos analisados, os autores identificaram que

apenas 2% dos artigos catalogados propõem atividades problematizadoras no ensino da física, enquanto que apenas 1% propõe reconstruções históricas de experimentos, direcionadas a uma atividade experimental investigativa, consonante a uma visão realista crítica da ciência. (AZEVEDO, et al. 2009, p. 11).

Essa conclusão também está presente em outra revisão de literatura feita por Moreira e Penido (2009) em cinco dos mesmos periódicos de 1979 a 2008, mas enfocada no ensino de todas as disciplinas das ciências naturais. Esses autores inferem que a forma predominante com que as atividades são apresentadas, com procedimentos semelhantes a um receituário, fortalece uma visão verificacionista e também carecem de valor educacional. Em contrapartida, Carlos e colaboradores (2009), ao analisarem as atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), reforçam que há uma intensa mudança, ao menos neste encontro, pois as propostas de uso de atividades experimentais no ensino de Física: “tem amadurecido com o avanço das tendências no ensino de ciências, passando de uma postura tradicional, rigidamente estruturada e verificacionista para uma postura mais problematizadora, aberta e investigativa.” (CARLOS *et. al.*, 2009, p.12).

Ao longo deste trabalho, tentaremos justificar as atividades experimentais no ensino de Física pensando na construção de conceitos em sala de aula, partindo de pressupostos cognitivos e, principalmente, epistemológicos. No contexto que adotaremos, a motivação não será um

foco, tampouco será considerada a maior finalidade de se usar a atividade experimental. Andrade, Lopes e Carvalho (2009) reforçam nosso direcionamento da pesquisa e a ênfase sobre os aspectos epistemológicos das atividades experimentais, já que as atividades realizadas sob forte orientação de um viés construtivista psicológico:

apesar de estabelecer um diálogo entre os envolvidos continuam atingindo os mesmos fins dos laboratórios didáticos empiristas-indutivistas, pois não consideram em suas práticas aspectos importantes ligados a cultura científica (ANDRADE; LOPES; CARVALHO, 2009, p. 3).

Os autores salientam que muitos desses trabalhos conseguem estimular uma real participação ativa dos estudantes durante a realização das atividades experimentais – o que é relevante para o ensino –, porém pouco se atentam ou parecem não se preocupar com a orientação epistemológica dessas atividades.

Encontramos no trabalho de Pinho-Alves (2000) uma reflexão sobre a pertinência de realizar atividades experimentais segundo a perspectiva construtivista educacional e epistemológica. Seu enfoque e detalhamento nos aspectos epistemológicos é o que diferencia dos demais trabalhos que citamos anteriormente, mesmo que quase uma década os separem. Esse autor parte de uma crítica ao uso dado ao laboratório didático no ensino das ciências naturais, apontando que a fundamentação historicamente implícita era ensinar o **método experimental** e não tinha finalidades explícitas para o ensino de conceitos. À luz da Transposição Didática³, o autor aponta a necessidade de que as atividades experimentais sejam vistas como objetos didáticos, um recurso usado pelos educadores durante situações do diálogo didático com a **finalidade de ensinar conceitos científicos**. Como consequência, a justificativa para a utilização de certa atividade experimental dar-se-ia pela necessidade de superar dificuldades enfrentadas pelos estudantes e pelo professor nesse processo de ensino. Detalharemos os pontos de vista desse autor na seção 1.1 desta dissertação.

Assumindo essa perspectiva, é preciso lançar olhar para uma situação didática, encontrar as dificuldades para o aprendizado de determinado conceito e, só após isso, elaborar atividades experimentais que permitam superá-las. Partimos do ensino de Física Térmica (unidade

³Termo utilizado por Chevallard no trabalho *La Transposición Didáctica: Del Saber Sabio Al Saber Enseñado*. Aique: Buenos Aires, 1991.

didática correspondente ao estudo de fenômenos térmicos, englobando Termodinâmica e Calorimetria) para pensar como, quais e em qual momento as atividades experimentais se mostrariam pertinentes nesse processo. Mas, primeiramente, devemos levantar possíveis pontos de dificuldades enfrentados nesse assunto. Uma maneira de sondá-los seria por meio das concepções alternativas sobre esses conceitos, já que podem acusar possíveis “falhas” no ensino após anos de contato com os conceitos científicos.

Nossa escolha por esse assunto inicialmente partiu de conjecturas de que o intenso contato diário dos estudantes com fenômenos térmicos seria uma fonte rica de concepções alternativas (representações) e, estas, por sua vez, indicariam possíveis dificuldades para o aprendizado de física. Sabendo de algumas dessas dificuldades, suspeitamos que alguns aparatos experimentais de física térmica relativamente conhecidos poderiam confrontar essas dificuldades. Após esse passo inicial, aprofundamos nossas pesquisas nas representações, nas dificuldades para o aprendizado e nas atividades experimentais relacionadas. Mas antes de detalhar a fundamentação teórica desses aspectos, consideramos importante justificar o possível impacto do tema escolhido nesta pesquisa em um âmbito mais geral, como o ensino das ciências naturais.

O termo calor aparece em praticamente todos os processos de Transformação de Energia do dia a dia, o que nos indica a sua importância e ressalta uma aparente contradição no ensino, visto que só é devidamente tratado durante o ensino de Física Térmica – no Ensino Médio costuma ser trabalhado no segundo ano. Angotti (1991, 1993), criticando essa postura de fragmentação no ensino, considera a Energia um conceito unificador e que perpassa diversas disciplinas, o que valoriza também o aprendizado do conceito de Calor. Ainda relacionado ao tema que escolhemos, Angotti (1991) propõe o assunto de combustões na perspectiva unificadora das *transformações* e mostra como ele está presente em um grande número de disciplinas instauradas, e que no ensino mostra-se fragmentado. Por Calor e Temperatura serem conceitos que aparecem – para exemplificar alguns casos – em fenômenos biológicos (digestão e alimentação), termoquímicos (oxidação e combustíveis), geológicos e geográficos (formação do planeta, queimadas de florestas, combustíveis, veículos, organização social), ambos têm caráter de supradisciplinar, segundo Angotti (1991). Contudo, e tendo consciência das nossas limitações – principalmente da necessidade de recortes na pesquisa –, vamos nos focar no ensino de Física, mas podemos eventualmente transitar pelas demais áreas do

saber ao longo do diálogo didático. Reforçamos ainda que não estamos fundamentados no trabalho de Angotti (1991), mas ele foi revelador para justificar a pesquisa em torno do ensino de fenômenos térmicos. Vamos agora avançar naquilo que os estudantes pensam sobre o assunto.

Dentre as várias concepções alternativas dos estudantes referentes ao assunto de Física Térmica, as principais dizem respeito ao conceito de Calor, que é um conceito chave para esse assunto. Essas concepções alternativas têm sido investigadas pela pesquisa em ensino de ciências há algum tempo e estão resumidas no trabalho de Sözbilir (2003). O autor traz como concepções de estudantes (de diversos níveis): existência do frio e do quente; frio é o oposto do calor; calor é uma substância do corpo; calor é energia; calor é um fluido; temperatura é a medida do calor; etc. Notamos como os conceitos de energia e de temperatura estão estreitamente vinculados ao conceito de calor, chamando atenção de que existe uma rede de concepções alternativas se sustentando. Contudo, como essas concepções vão de encontro à científica e, portanto, influenciam no aprendizado dos conceitos científicos, podemos começar a indagar: como e quais atividades experimentais podem ser usadas para a construção em sala de aula desses conceitos físicos superando as concepções dos estudantes?

Muitas pesquisas apontam que as concepções alternativas dos estudantes não se mostram abaladas frente ao ensino, perdurando mesmo a longos anos de escolaridade. Diante disso, seria importante se ao menos os estudantes fossem capazes de diferenciar o momento em que deveriam fazer uso de um conceito científico ou do senso comum (MORTIMER, 1996; MARANDINO, 2003). Esse tipo de discussão ganhou mais impacto com o declínio do Movimento de Mudança Conceitual, que foi estabelecido na década de 1980, baseado fortemente no trabalho de Posner e colaboradores (1982). Com essas críticas, a pergunta que fizemos no final do parágrafo anterior precisa ser levada com cautela, já que parece não haver fundamento adequado para promover uma mudança conceitual radical, superando as concepções alternativas da forma como Posner e colaboradores (1982) propuseram. Mortimer (1996), em um olhar bachelardiano, indica que as concepções científicas podem conviver com as concepções alternativas e que os estudantes seriam capazes de fazer uso destas ou daquelas segundo o contexto. Encontramos outro argumento relevante no trabalho de Mortimer (p. 28, 1996), no qual o autor critica a mudança conceitual quando afirma: “aprender ciências está muito mais relacionado a se entrar num mundo que é ontológica e epistemologicamente diferente do mundo cotidiano”. Ao concordarmos com ele, estaríamos assumindo

que os estudantes constroem representações sobre o mundo agindo de uma forma que geralmente se difere da maneira científica de lidar com o mundo. Entretanto, essa afirmação de Mortimer (1996) nos leva a olhar para o caráter ontológico e epistemológico do saber que queremos ensinar e aquele que o estudante construiu ao longo de sua vida. Assim, chegamos à outra pergunta: como seria uma proposta didática para ensinar calor e temperatura que leve em conta essa diferença de visão ontológica e epistemológica de estudantes e da ciência?

Encontramos nos trabalhos de Astolfi (1993; 1994) uma orientação a essa pergunta, isto é, sobre como se daria uma relação didática frente às diferenças ontológicas e epistemológicas do conhecimento científico e do conhecimento gerado no senso comum. Seu trabalho também permite um olhar diferente para a situação de manutenção das concepções alternativas ao longo dos anos de escolaridade. Julgamos interessante ressaltar que esse autor, influenciado por Bachelard, considera que os estudantes constroem suas representações com base em obstáculos epistemológicos. Astolfi (1993) encontra em Martinand o conceito de objetivo-obstáculo e aponta que os objetivos didáticos devem ser a superação desses obstáculos presentes no pensamento dos estudantes, tendo como finalidade o aprendizado de conceitos científicos. Discutiremos mais profundamente as ideias de Astolfi na seção 1.3.

Passagens da História da Ciência podem elucidar a existência de vários obstáculos epistemológicos e muitos deles também estão presentes no aprendizado dos estudantes nas aulas de Física. O modelo submicroscópico da matéria mostrou-se um importante passo no entendimento de fenômenos térmicos durante a História da Física, que se dividiu por muito tempo entre os *energeticistas* e os *atomistas* (PEDUZZI, 2008). Neste modelo, os conceitos de calor e de temperatura ganham significados que necessitam da superação de alguns obstáculos, como a noção de calor como fluido ou como substância (PEDUZZI, 2008). No caso dos estudantes, por exemplo, algumas de suas representações aproximam-se da noção de *calórico*. Outro obstáculo epistemológico, com implicações no uso de atividades experimentais no ensino, refere-se à atitude empírica dos estudantes, na qual a interpretação do mundo está baseada nas primeiras impressões, ou seja, em experiências sensoriais sem a devida reflexão (BACHELARD, 1996). No que concerne a obstáculos epistemológicos dos conceitos de calor e de temperatura presentes no ensino, encontramos apontamentos teóricos no trabalho de Amaral e Mortimer (2001) e levantamento

empírico em Ribeiro (2004), nos quais as concepções dos estudantes eram tratadas como manifestações de obstáculos.

Assim, temos um forte indicativo de que os obstáculos epistemológicos, que normalmente não são levados em conta, são a origem – ao menos em parte – da invariância das representações dos estudantes, mesmo após um longo período de escolaridade. Diante das ideias de Astolfi e de Bachelard, voltamos a pensar nas atividades experimentais (com o auxílio de Pinho-Alves) e como elas podem ser úteis para que alcancemos uma proposta didática nesses moldes, de modo que cheguemos ao nosso problema de pesquisa.

Diante de diversos obstáculos presentes no ensino de Física Térmica e das perspectivas apontadas, reformulamos as perguntas que fizemos anteriormente: Quais características das atividades experimentais favorecem a superação de dificuldades no aprendizado dos conceitos de calor e de temperatura no Ensino de Física no Ensino Médio? Nota-se que estamos considerando a existência e a versatilidade de atividades experimentais para trabalhar os conceitos de calor e de temperatura em diversas situações didáticas, como ferramentas didáticas do professor. Nessa situação de objeto didático, elas devem se mostrar necessárias diante das dificuldades encontradas durante o aprendizado dos conceitos enfocados (PINHO-ALVES, 2000).

Por consequência, temos como objetivo geral: apontar características em atividades experimentais que favoreçam a superação de dificuldades no aprendizado dos conceitos de calor e de temperatura no Ensino Médio. Nossos objetivos específicos são:

- i.** Caracterizar os obstáculos de aprendizagem dos conceitos de calor e de temperatura.
- ii.** Elaborar atividades experimentais que permitam superar os obstáculos de aprendizagem dos conceitos de calor e de temperatura.
- iii.** Elaborar uma sequência didática, utilizando atividades experimentais que favoreçam a superação dos obstáculos de aprendizagem.
- iv.** Analisar e avaliar a viabilidade da sequência didática e das atividades experimentais, bem como sua implantação.

Para justificar a importância de analisar as características das atividades experimentais no ensino dos conceitos enfocados, achamos pertinente fazer um breve comentário sobre o trabalho de Pereira (2010). Ela elaborou uma sequência didática para abordar os conceitos de calor e temperatura e, nela, propôs a utilização de atividades experimentais, chamando-as de atividades investigativas. Esse termo significa, de

forma simples, realizar experimentos para os estudantes resolverem um problema. Essas atividades são propostas, pela autora, para que os estudantes mudem suas concepções ao se depararem com os seus resultados. O momento proposto para realizar cada atividade mostra certa linearidade, ou seja, os aparatos experimentais são usados para discutir um efeito específico e em um momento específico. Outro ponto que julgamos pertinente ressaltar é falta (ou a não explicitação) de justificativa teórica para realizar cada atividade experimental. Não há explicitação de uma preocupação conjunta dos vieses epistemológico, didático e cognitivo assumidos. Todavia, é importante destacar a proposta da autora de usar as atividades experimentais com a finalidade de construir os conceitos em sala de aula, não apenas comprovação da teoria.

Gostaríamos de apontar que, mesmo trabalhando com conceitos cujo ensino é bastante investigado, esta dissertação destacar-se-ia em dois pontos: primeiramente, pela discussão sobre a pertinência das atividades experimentais no ensino de Física, apontando quais características (para elaboração do conhecimento) elas podem assumir ao longo de uma sequência didática; segundo, analisaremos as atividades experimentais perante **a superação** de obstáculos de aprendizagem **em sala de aula**. Lembrando que vários trabalhos investigam obstáculos epistemológicos e ontológicos relacionados aos conceitos de calor e temperatura, como: Amaral e Mortimer (2001) e Ribeiro (2004). Esta autora analisou a presença desses obstáculos no pensamento de estudantes e aqueles autores fizeram um trabalho teórico. Por outro lado, nossa ênfase está no campo empírico, isto é, em como tratar didaticamente dos obstáculos que se mostrarem em sala de aula.

A expectativa inicial de nossa contribuição é que, ao apontar características das atividades experimentais importantes para superar obstáculos de aprendizagem relacionados aos conceitos de Calor e Temperatura, possamos contribuir para o ensino de outros conteúdos, visto que alguns obstáculos apontados neste trabalho podem ser encontrados no aprendizado de outros conceitos. Também se pretende contribuir na discussão do papel das atividades experimentais em um ensino de concepção construtivista.

Ao longo dos capítulos trilharemos um caminho para alcançar os objetivos acima citados. No capítulo a seguir, discutiremos mais profundamente as ideias de Bachelard, de Astolfi e de Vigotski, assim como explicitaremos os obstáculos de aprendizagem sobre os conceitos enfocados. Trataremos da Metodologia e dos Instrumentos de análise no segundo Capítulo. No terceiro e quarto capítulos, analisaremos

respectivamente a Sondagem e o Ensaio Piloto. Diversos instrumentos de pesquisa são trazidos nos Apêndices, assim como a proposta de sequência didática (SD) aplicada no Ensaio Piloto, cuja origem remete à Sondagem.

CAPÍTULO I – LOCALIZANDO OS OBSTÁCULOS DE APRENDIZAGEM

Conforme o nosso primeiro objetivo específico, pretendemos neste capítulo levantar possíveis obstáculos para o aprendizado dos conceitos de calor e temperatura. Uma vez encontrados esses obstáculos, pensaremos em como as atividades experimentais podem ser usadas nas aulas para superá-los. Para aplicá-las, buscaremos a orientação⁴ didática de Astolfi e o ponto de vista de Vigotski sobre aspectos cognitivos dos estudantes.

Pretendemos neste capítulo esclarecer as ideias de Bachelard com dois propósitos: delimitar a orientação epistemológica à luz da qual elaboraremos as atividades experimentais e sequência didática; e apontar obstáculos epistemológicos que podem afetar o aprendizado dos conceitos e a realização de atividades experimentais no ensino.

O planejamento dessa sequência didática, levando em conta os obstáculos de aprendizagem, será baseado nas ideias de Astolfi, como as etapas de Identificação, Fissuração e Superação.

Sinalizadas dificuldades para o aprendizado dos conceitos enfocados, retornaremos às atividades experimentais para pensar o seu papel em uma concepção construtivista de ensino (influenciada pela perspectiva bachelardiana de Ciência). Após sondarmos o potencial delas, tentaremos identificar em que momento faremos uso das mesmas.

As ideias de Vigotski darão fechamento ao planejamento das aulas. Elas indicarão a forma como o professor-pesquisador deverá considerar as ideias dos estudantes frente ao conteúdo (e objetivos didáticos).

⁴ Essa preocupação com os planos epistemológico, didático e cognitivo tem como fonte o “Triângulo Didático”, que é explorado por Chevallard (1991).

1.1 A ATITUDE CIENTÍFICA

Nesta seção abordaremos o viés epistemológico de Bachelard para tratar de obstáculos epistemológicos e da atitude empírica, que serão determinantes para, depois, pensarmos o enquadramento das Atividades Experimentais nessa corrente. A necessidade de explicitação de uma fundamentação epistemológica para a realização de Atividades Experimentais é ressaltada por autores como: Gunstone (1991), Millar (1991, 2004), Millar e Abraham (2009), Pinho-Alves (2000) e Tamir (1991).

Sabemos que o pensamento científico e o pensamento do senso comum têm respostas diferentes para um mesmo fenômeno, por exemplo: pessoas leigas dizem colocar um agasalho grosso porque precisam aquecer o corpo e quanto mais grosso, mais quente ele é. Pelo lado da ciência, a Física não considera que o agasalho seja fonte de calor para aquecer o corpo, mas que é um isolante térmico. Para melhor compreender por que essas duas interpretações podem surgir, buscamos ajuda em Bachelard. O autor traz reflexões sobre a *atitude empírica* nas experiências comuns e na experimentação científica, diferenciando-as. Também trabalhamos com o seu conceito de *obstáculo epistemológico* que, além de nos instruir sobre diferenças entre atitudes científicas e pré-científicas, ajuda-nos a alcançar os objetivos desta dissertação.

Como os demais construtivistas, Bachelard não considera que o sujeito seja neutro, nem que o conhecimento científico seja construído a partir de uma interação passiva do sujeito observador para com a natureza. Nessa perspectiva, é como se o conhecimento emergisse do objeto e fosse depositado no sujeito, cujo vetor epistemológico pode ser representado da seguinte forma: objeto → sujeito. Pelo contrário, o autor considera que o sujeito interage com o objeto de múltiplas formas e “a observação tem necessidade de um corpo de precauções que levam a refletir antes de olhar, que reformam pelo menos a primeira visão, de maneira que nunca é a primeira observação que é a boa” (BACHELARD, 2000, p. 18-19). Normalmente, nem mesmo se questiona se os instrumentos científicos, que são produtos humanos, influenciam na observação. Sobre isso, Bachelard complementa:

é preciso que o fenômeno seja escolhido, filtrado, depurado, vazado nos molde dos instrumentos, produzido no plano dos instrumentos. Ora, os instrumentos não são senão teorias materializadas.

Dêles saem fenômenos que trazem por todos os lados a marca teórica. (2000, p.19).

Portanto, o sujeito constrói o fenômeno que pretende explorar, pois possui ferramental (teórico e instrumental) para analisá-lo. O cientista prepara o objeto de conhecimento e os fenômenos, não é observador direto e muito menos manipulador de uma realidade objetiva: “a marcha para o objeto não é inicialmente objetiva. É preciso, pois, aceitar uma verdadeira ruptura entre o conhecimento sensível e o científico” (BACHELARD, 1996, p. 294). Essa construção do fenômeno por meio de uma preparação teórica (incluindo os instrumentos) do quê e como observar, o autor chama de *fenomenotécnica*. Esse conceito também pode ser usado para demarcar um conceito científico, uma vez que “torna-se científico na proporção em que se torna técnico, em que está acompanhado de uma técnica de realização” (BACHELARD, 1996, p. 77).

Diante desses apontamentos, podemos categorizar a experimentação científica como um fenômeno construído e a experiência comum como uma observação sem planejamento. Se pensarmos no contexto da sala de aula, dificilmente os estudantes agirão desta forma e, talvez, devemos provocar o planejamento da observação do fenômeno durante a realização de atividades experimentais.

Bachelard é caracterizado por uma visão que se opõe à da linearidade e cumulatividade do conhecimento científico, principalmente exposto na sua “Filosofia do Não” (BACHELARD, 1991). Para ele, o cientista precisa estar ciente que “quando o espírito se apresenta à cultura científica, nunca é jovem. Aliás, é bem velho, porque tem a idade de seus preconceitos” (BACHELARD, 1996, p. 18). Assim, a crítica de Bachelard dirige-se inicialmente à *opinião*, que seria o primeiro obstáculo a superar. Para ele, a ruptura se mostra diretamente para o cientista, uma vez que, “no fundo, o ato de conhecer se dá *contra* um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo à espiritualização.” (BACHELARD, 1996, p. 17, grifos do autor). Desse modo, para mudar atitudes em relação à natureza, necessita-se sair da *doxa* e entrar na *episteme*. Para isso ocorrer é preciso ter clareza daquilo que se quer perguntar.

Ter opinião sobre questões que não compreendemos ou que não tenhamos clareza em sua formulação é contra o espírito científico (BACHELARD, 1996, Cap. I). Reforçando a ideia de fenomenotécnica, construção de um fenômeno explorável, Bachelard aponta que na ciência tudo tem que ser construído e buscado com intencionalidade,

mas para isso “é preciso saber formular problemas” (1996, p. 18), já que não encontramos em fácil acesso dados e informações acerca da natureza. Esses problemas não serão evidentes. Desta forma, a formulação do problema assume um papel imprescindível para os cientistas, “se não há pergunta, não pode haver conhecimento científico” (BACHELARD, 1996, p. 18). Mas, segundo o autor, costuma-se evidenciar e valorizar a resposta ao longo do tempo, mas nunca a pergunta. Por exemplo, Delizoicov (2005) lembra que o conteúdo físico presente no ensino não traz as perguntas, as dificuldades e os erros dos cientistas durante a produção do saber.

Complementando essa linha de raciocínio, mas agora analisando o lidar com fenômenos, Bachelard aponta que:

“[...] a experiência que não retifica nenhum erro, que é monotonamente verdadeira, sem discussão, para que serve? A experiência *científica* é portanto uma experiência que *contradiz* a experiência *comum*. Aliás, a experiência imediata, [...]; faltalhe precisamente esta perspectiva de *erros retificados* que caracteriza, a nosso ver, o pensamento científico.” (1996, p. 14, grifos do autor)

Essa citação é importante para refletir sobre o objeto desta dissertação, as atividades experimentais no ensino de Física. Ao mesmo tempo, permite diferenciar a experiência comum da experiência científica (experimentação). Conforme já salientamos na Introdução, um dos fatores deste autor ter sido escolhido como viés epistemológico foi por ele ter se debruçado sobre as *atitudes* dos sujeitos perante a experiência.

A experiência cotidiana difere da experimentação científica pela ausência de racionalização naquela, “a experiência comum não é de fato **construída**; no máximo, é feita de observações **justapostas**” (BACHELARD, 1996, p. 14, grifo nosso). É interessante destacar dessa citação que o sujeito, em uma experiência comum, observa sem intencionalidade e o que questionar. Esse sujeito constrói uma imagem ingênua do ocorrido, que é tratada como fruto de um real dado, um fato inquestionável (sem erros).

Um físico busca um fenômeno bem demarcado para poder detectar suas variações e transpô-las matematicamente. Analisando as funções, as curvas e a álgebra, esse cientista provocará as variáveis que não estavam evidenciadas antes da matematização, ele “tentará *completar* o fenômeno, *realizar* certas possibilidades que o estudo

matemático revelou” (1996, p. 82, grifos do autor). Portanto, o cientista transita entre extremos da razão e da experiência quando recorre à compreensão matemática do fenômeno.

Se a forma de lidar com fenômenos por parte de leigos é via *experiências comuns*, devemos olhar para a sala de aula e lembrar que os estudantes constroem suas representações a partir dessa atitude ao longo de suas vidas. Portanto, fazer atividades experimentais no ensino de Física “não se trata de *adquirir* uma cultura experimental, mas sim de *mudar* a cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana.” (BACHELARD, 1996, p. 23). Bachelard lembra da tendência que os estudantes têm em valorizar o perigoso (ex.: experimentos com fogo e explosão) ou de situações que de alguma forma saiam do convencional ou normal. Esse tipo de interesse ainda é notado nos dias de hoje e tem como produtos a geração de imagens valorizadas, atividades como essas são usadas para motivação e viram mero entretenimento. Na Ciência e no seu Ensino, precisamos ir além dessas experiências, porque essa atitude se configura como *obstáculo epistemológico* para o entendimento dos fenômenos naturais. Esse epistemólogo chama atenção que “é indispensável que o professor passe continuamente da mesa de experiências para a lousa, a fim de extrair o mais depressa o abstrato do concreto” (BACHELARD, 1996, p. 50).

No parágrafo anterior trouxemos duas afirmações de Bachelard que implicam fortemente na finalidade de se fazer atividades experimentais no ensino de Física. A primeira aponta que o estudante já possui uma *atitude empírica* estabelecida, e que para mudá-la não seria suficiente adquirir domínio do método experimental. Lembrando ainda que esse método está frequentemente associado a uma concepção empírico-indutivista de ciência⁵. A segunda afirmação indica que é preciso que as atividades experimentais sejam usadas ao longo de toda a SD em que se trabalha o conteúdo, transitando entre a empiria e a teoria. Sendo assim, já podemos conjecturar que as primeiras atividades experimentais que realizarmos em nossa SD deverão permitir trabalhar o “concreto” com o que os estudantes estão acostumados (sua atitude experimental), antes de conduzi-los para a atitude experimental que se pretende.

Além de alertar sobre os riscos de analogias, metáforas e imagens mal feitas, encontramos nas críticas desse autor o quanto a problematização também é ausente na nossa atual estrutura curricular e

⁵ Trataremos mais sobre esse assunto na seção 1.4.

no diálogo didático; isso é tratado melhor por Delizoicov (2005). Estamos diante de um ensino de resultados, de conclusões, de respostas prontas. E, cabe lembrar, “o ensino de *resultados* da ciência nunca é um ensino científico” (BACHELARD, 1996, p. 289). Como na ciência foi preciso superar diversos obstáculos epistemológicos, também é preciso, segundo o autor, trabalhar e superar obstáculos no ensino de ciências. Logo, é preciso demarcar quais são os obstáculos epistemológicos.

Esses obstáculos devem ser levados em conta no ensino, porque são a origem das representações dos estudantes e, então, tornam-se obstáculos para o aprendizado durante o ensino, por exemplo, de Física e Química (LOPES, 1993; 1996; BACHELARD, 1996; AMARAL; MORTIMER, 2001; RIBEIRO, 2004; MARTINS, 2006; ROSA, 2011). Para exemplificar, e antecedendo uma discussão futura, os estudantes concebem frequentemente calor como uma substância dos corpos, que remete a aspectos de *substancialismo*. Mas a *experiência primeira* e a *doxa* são obstáculos que Bachelard aponta como “os primeiros” que devem ser enfrentados. No entanto, durante realização de uma atividade experimental os estudantes trarão atitudes mentais (ROSA, 2011) que podem interferir no alcance dos objetivos da SD.

Um dos grandes pontos atacados por Bachelard (1996) no que se refere ao obstáculo epistemológico da *experiência primeira* é a sobreposição de imagens. Isso acarreta em pensamentos e conclusões metafóricas, levando o sujeito a relacionar fenômenos muito distantes entre si sem o devido cuidado e vigilância, como no caso de cientistas terem relacionado *fluido elétrico* ao corpo humano e, assim, feito uso de um experimento com papéis antropomórficos eletrizados. A crítica de Bachelard na realização de experimentos impactantes, surpreendentes e perigosos está relacionado com essa *observação primeira*, que é “repleta de imagens; é pitoresca, concreta, natural e frágil” (1996, p. 25)⁶. Os valores envolvidos e gerados por esse tipo de experimento são discutidos mais profundamente pelo autor ao exemplificar casos na área alquímica. Entendemos que o termo “natural” refere-se a quando o sujeito atribui uma casualidade natural ao fenômeno, um fato que se encerra em si mesmo, pois “é natural” que seja assim. Não haverá, portanto, nenhuma outra situação capaz de questionar o fato. Em outras palavras, a *experiência primeira* origina-se de uma atitude experimental

⁶ Chega a ser excêntrico ao olhar atual os *jantares elétricos* relatados por Bachelard (1996) e ocorridos durante o séc. XVIII. Neles, nobres e estudiosos saciavam-se de alimentos e bebidas eletrizados, demonstrando o quão superficial (impressões primeiras) eram tratados os fenômenos elétricos.

não reflexiva, legitimada implicitamente por uma visão empírica. Esse obstáculo, contudo, por “permitir” atingir um real dado, fortalecerá outros obstáculos.

A partir de *observações primeiras*, uma vez que elas são encaradas como fatos, não seria totalmente inesperado que delas se chegue à generalização de uma constatação; lembramos que, embora possa parecer ser semelhante, esse discurso difere do que os indutivistas afirmavam: que a partir de um grande número de observações é *legítimo* generalizar (CHALMERS, 1993). Não que a generalização deva ser evitada mas o mal uso da mesma, sim, visto que “imobiliza o pensamento” (BACHELARD, 1996, p.74) e interrompe o processo dinâmico de que depende o conhecimento científico. Em outras palavras, uma afirmação geral ofusca as particularidades dos fenômenos. O epistemólogo parte do exemplo de quando se afirma que “todos os corpos caem à mesma velocidade”. Essa afirmação não dá margem para localizar o cerne do fenômeno (a variação da velocidade). Contudo, é um uso melhor da generalização do que alegar: “todos os corpos terrestres se dirigem naturalmente à terra”, uma típica explicação fechada em si mesma, um movimento, diríamos, tautológico. Como exemplo, o autor traz trabalhos que recorreram à coagulação e à fermentação – conceitos tomados dos reinos vegetal e animal – para explicar indevidamente, dada a generalidade vaga, diversos fenômenos do “reino mineral”.

O terceiro obstáculo tratado por Bachelard (1996) é o *verbal*, cujo exemplar é o termo *esponja*. Ele foi usado no século XVIII para explicar a solubilidade de gases em água, eletrização de materiais e o congelamento da água. É interessante destacarmos que, como obstáculo verbal, o termo esponja é usado de uma forma para além de uma generalização equivocada. Ele é mais uma expressão linguística que constitui a explicação em si. Agrava-se o fato de que esponja é carregada de uma imagem empírica, já que faz parte do conjunto de atividades do cotidiano das pessoas. Porém, mesmo em casos em que se possa aparentemente ir contra o objeto físico, mantém-se o termo esponja em suas explicações. Nesse ponto, Bachelard é bastante oportuno ao inferir que o sujeito “pode até, no final das contas, sacrificar a esponja, mas quer conservar a *esponjosidade*. Aí está a prova de um movimento pura e simplesmente linguístico que, ao associar a uma palavra concreta a uma palavra abstrata, pensa ter feito avançar as ideias.” (1996, p.94, grifo do autor). A *esponjosidade*, característica de absorver substâncias e eliminá-las depois de uma pressão externa, foi um artifício de linguagem com finalidade de expor ideias, mas fez com

que a esponja se tornasse a explicação em si (e ilusória) para outros fenômenos. A esponja não era usada como mecanismo de exemplificar e esclarecer um pensamento abstrato, tal como se usa de “bombas hidráulicas” para esclarecer a relação de diferença de potencial com corrente elétrica (BACHELARD, 1996), ela era a própria explicação.

Há outro obstáculo, o *conhecimento unitário e pragmático*, que possui certa proximidade com o obstáculo do pensamento geral. O motivo de tal proximidade deve-se à tentativa constante de contemplar a perfeição ou, melhor dizendo, a restrição do pensamento a um princípio geral da Natureza (BACHELARD, 1996). É buscada a unidade, obrigando que qualquer conhecimento a ser elaborado inclua fenômenos de escalas diversas, pois “não é concebível que a experiência se contradiga ou seja compartimentada” (1996, p. 107). Como consequência desse ideal e perfeição, é atribuído o critério de utilidade a fenômenos, ou seja, o conhecimento seria legítimo se desmascarar a utilidade de algo e, melhor, mostrar-se útil. Para o autor, a utilidade se mostra como obstáculo quando se torna princípio de explicação: “encontrar a utilidade é encontrar a razão” (1996, p. 115).

O *obstáculo substancialista* surge quando o comportamento de algum objeto é explicado buscando o “interior” da substância como se fosse um movimento de esquiwa para explicar o fenômeno manifestado: “prevalecendo-se da experiência externa evidente, mas escapando à crítica pelo mergulho na intimidade” (BACHELARD, 1996, p. 121). Notamos como a visão realista ingênua ainda se mostra nesse tipo de obstáculo, é como se o “dado real” da experiência fosse a legitimação da explicação pautada no íntimo do objeto. Na sua afirmação, também chama atenção o termo *intimidade*, que aponta como sendo uma tentativa de falar do *profundo* do objeto, e seria o mesmo que apresentar uma imagem fraca e superficial do objeto, impedindo o questionamento racional da sensação. Esse movimento epistemológico, do interior para o exterior, parte do pressuposto que a essência de um objeto está em seu interior e, portanto, qualquer fato ocorrido com o objeto terá relação com essa sua essência. O autor mostra que o pensamento alquimista traz vários exemplos desse obstáculo na sua busca pelo ouro no “interior” de cada substância. As explicações sobre a atração entre corpos eletrizados e objetos pequenos demonstraram como a atribuição de propriedades substanciais (ao corpo eletrizado) provoca uma explicação breve sobre o ocorrido. Nesse caso, a poeira e os objetos *grudam* no bastão eletrizado. Segundo Bachelard a eletrização teria sido primeiramente comparada a uma cola e, depois, transformada em uma cola: “atribui ao fluido elétrico a qualidade ‘tenaz, viscosa e untuosa’” (1996, p. 128). Essa

tendência à adjetivação, o acúmulo e a sobreposição despreocupada de qualidades é um dos sintomas desse tipo de obstáculo.

Analisando esses obstáculos, como se mostram na produção de conhecimento científico e até mesmo em sala de aula, Bachelard (1996) identifica a forte visão realista e, portanto, tece duras críticas a ela. O *pensamento realista* é um obstáculo epistemológico que impede a elaboração de diversos conceitos científicos e está, inclusive, presente nos obstáculos anteriores. Esse autor considera que o realista, em qualquer discussão, parte do pressuposto inicial que: “tem, acha ele, o real do seu lado, porque *possui a riqueza* do real” (p. 163, grifo do autor). O *sentimento de ter* é um ponto importante atacado pelo autor, pois aquilo a que é atribuído valor e admirado pelo humano torna-se um legítimo objeto de investigação no pensamento pré-científico. A supervalorização dada ao brilho verde da esmeralda, por exemplo, fez com que a “substância associada” a essa cor fosse tratada como fonte de curas medicinais. Por também serem alvo de desejo, de posse, ouro e prata tiveram essa mesma utilidade. Essas características atribuídas a pedras preciosas, por exemplo, foram movidas pelo sentimento de posse e mostram como as preferências e os interesses das pessoas passaram a ser substancializados (BACHELARD, 1996).

Existe uma grande quantidade de valores e de interesses que de alguma forma se relacionam com algum obstáculo epistemológico. Bachelard (1996) evidencia a valorização da vida, que é o *obstáculo animista*, como um obstáculo epistemológico à parte – apesar da semelhança com aspectos de outros. A valorização da vida fez os químicos direcionarem suas atenções para substâncias orgânicas, comparar materiais em termos de maior ou menor grau de vida. Também fez os cientistas estudarem e valorizarem fenômenos elétricos pela sua relação com os seres vivos, por exemplo, o médico Galvani e o fluido elétrico em animais. Como a característica básica dos seres vivos é a sua capacidade de reprodução, ela foi utilizada como maneira de explicar de muitos fenômenos físicos e químicos, a ponto de autores afirmarem que determinados minérios tinham a capacidade de preencher as lacunas da mina quando parte do minério havia sido extraída. Bachelard (1996) ressalta o “mito da digestão” como exemplo de *obstáculo animista* e o coloca em um capítulo separado, dado o seu impacto no pensamento pré-científico; esse mito surge pelo pensamento substancialista (o sentimento de *ter* e a interiorização) aliado ao animista (valorização da vida). Segundo o autor, a digestão teve uma imagem duplamente valorizada, pela suposta extração do sumo do material e pela relação com a vida (presente em seres vivos). Por isso, a passagem de materiais

pelo processo da digestão passou a ser alvo de interesse, como o caso do medicamento da *água de mil-flores*, que era esterco bovino destilado. A digestão também foi usada para explicar reações entre substâncias e transformações da matéria, por exemplo: a Terra digere e tritura minerais, favorece o crescimento de minas e transforma minerais impuros nos mais valorizados. Podemos dizer que o substancialismo tem como base o sentimento de *ter* e, o animista, o *ser*.

Bachelard (1996) aponta outro sentimento gerando obstáculos ao pensamento científico, que é o *dever*, o querer ser. Como tal obstáculo não faz pertinente ao escopo deste trabalho, não nos deteremos em discuti-lo, apenas apontar sua existência no capítulo intitulado “*Libido e Conhecimento Objetivo*”.

Como último obstáculo epistemológico apontado por Bachelard, temos o *obstáculo do conhecimento quantitativo*. Em um primeiro olhar, poder-se-ia pensar que haveria contradição com a afirmação inicial do autor de que a matematização é um fator demarcador do espírito científico. No entanto, o que Bachelard irá caracterizar como obstáculo são os extremos do tratamento quantitativo, a supervalorização da precisão da medida e a desqualificação da matemática de seu poder explicativo para fenômenos naturais. Para o autor, em muitos casos é possível identificar como a obtenção de uma medida precisa torna-se mais importante que o significado por trás. Da mesma forma, na preparação dessa tomada de medida, há uma preocupação maior com a gradação do instrumento do que com a capacidade dele em apontar o desejado. Há então, uma resistência ao ato de desprezar e aproximar os resultados. Mas, para Bachelard: “o espírito científico explicita com clareza e nitidez o direito de desprezar o que é desprezível” (1996, p. 273). Em movimento contrário à excessiva matematização, alguns poderiam dizer que não há necessidade de recorrer à matemática sofisticada para explicar fenômenos e fatos ocorridos, pois isso não seria realmente Física senão uma Física-matemática. No entanto, Bachelard considera esses casos de matematização vaga como hostis ao conhecimento científico visto que a análise do fenômeno está baseada em uma *experiência primeira*.

Sobre as particularidades do processo de consolidação e produção de um determinado conhecimento científico, Bachelard (1996) tentou demarcar as atitudes do cientista e identificou três estados de espírito científico: estado concreto, concreto-abstrato e estado abstrato; que correspondem ao pensamento em estágio pré-científico, científico e novo espírito científico. O primeiro estado de espírito (concreto / pré-científico) é caracterizado pela forte influência das imagens ingênuas

geradas nas primeiras impressões dos fenômenos, e, segundo Bachelard (1996, p. 11), “se apoia numa literatura filosófica que exalta a Natureza, louvando curiosamente ao mesmo tempo a unidade do mundo e sua rica diversidade”. Por sua vez, o estado de espírito concreto-abstrato (pré-científico) ainda mantém a “necessidade” de uma realidade objetiva e sensível, ainda que com menor grau que no primeiro caso, e diferencia-se do primeiro por aplicar – na nossa leitura – o raciocínio matemático, algébrico e geométrico, às experiências; nas palavras do autor: “o espírito acrescenta à experiência física esquemas geométricos e se apoia numa filosofia da simplicidade. [...] sente-se tanto mais seguro de sua abstração, quanto mais claramente essa abstração for representada por uma intuição sensível.” (1996, p. 11). Para ele, a geometrização seria “delinear os fenômenos e ordenar em série os acontecimentos decisivos de uma experiência” (1996, p. 7). O terceiro estado de espírito, o abstrato (novo espírito científico), dá-se quando o cientista supõe características e age intencionalmente sobre uma realidade não sensível diretamente. Ele busca informações que vão de encontro à experiência imediata, ingênua e neste estado o papel da matemática muda, “já não é mais descritivo é formador” (1996, p. 7), em que o espaço sensível se torna mais um exemplo do espaço construído.

É possível afirmar que o *espírito concreto* está apoiado fortemente em três obstáculos epistemológicos (apesar de que quase todos se aplicam): *experiência primeira*, o *conhecimento geral* e o *conhecimento unitário e pragmático*. O *espírito concreto-abstrato*, por sua vez pode estar relacionado ainda aos pensamentos *substancialista* e *animista*, mas também permite a instalação do obstáculo do *conhecimento quantitativo*. Se fizermos uma relação entre esses estados de espírito com o que Bachelard chamou de estágios pré-científicos, científicos e novo espírito científico, podemos inferir que para mudar de estado de espírito é preciso superar obstáculos epistemológicos, por exemplo: seria preciso romper com a *experiência primeira* para mudar do estágio pré-científico para o científico; e, por sua vez, para alcançar o novo espírito científico, seria necessário romper com o obstáculo do *pensamento realista* e o do *conhecimento quantitativo*.

Antes de abordarmos outros autores e assuntos, vale a pena registrar alguns indicativos e contribuições de Bachelard para o ensino de Física e Química, por exemplo. Para ele, é preciso que haja engajamento social na prática educativa, tanto por parte da relação professor-estudante quanto pela interação entre os estudantes. Isso permitiria aos estudantes entrarem em contato com a opinião contrária, lidarem com os

erros e reconhecerem a importância que a ruptura com pensamentos (e atitudes) estabelecidos tem para o seu aprendizado.

Identificamos em Bachelard que existem diversas dificuldades para a aprendizagem de conceitos científicos. Mas, antes de refletir sobre as atividades experimentais e a superação dessas dificuldades, é necessário identificar os possíveis obstáculos referentes aos conceitos de calor e de temperatura.

1.2 CALOR E TEMPERATURA: SEUS OBSTÁCULOS

Na seção anterior, identificamos obstáculos epistemológicos a partir da obra de Bachelard (1996). Nela, o autor buscou esclarecer as atitudes dos sujeitos frente à produção de conhecimento científico e aponta a existência de diversas atitudes que representam inércias ao pensamento científico, chamadas de obstáculos epistemológicos. Também foi apontado que para haver uma mudança de atitude científica (de espírito científico) se mostra necessário a superação de obstáculos. Foram tratados: (a) Experiência primeira, (b) Substancialista, (c) Verbais, (d) Conhecimento geral, (e) Conhecimento unitário e pragmático, (f) Animista, (g) Realista, e (h) Conhecimento Quantitativo. Esses obstáculos presentes na elaboração do conhecimento científico, segundo Bachelard (1996), também se mostram presentes no ensino de ciências.

Nesta seção, nosso objetivo é localizar possíveis obstáculos a serem enfrentados no Ensino de Física, em relação aos conceitos de Temperatura e de Calor. Abordaremos os obstáculos epistemológicos e, em um segundo momento, caracterizaremos outras formas de obstáculos, especialmente os didáticos e ontológicos.

1.2.1 Obstáculos Epistemológicos

Alguns autores tiveram como objeto de pesquisa identificar obstáculos epistemológicos relacionados aos conceitos de Calor e de Temperatura, como: Amaral e Mortimer (2001) e Ribeiro (2004). Segundo eles, alguns dos obstáculos apontados por Bachelard (1996) também se mostram presentes no ensino de Física. Enquanto aquele trabalho faz uma análise teórica, destacamos que o trabalho de Ribeiro foi realizado a partir de respostas de estudantes em sala de aula.

1.2.1.1 Obstáculo da Experiência primeira

Como os fenômenos térmicos são frequentes na vida dos humanos, é esperado que as representações construídas pelos estudantes estejam carregadas por um componente empírico muito forte. Portanto, ao trabalhar os conceitos de calor e temperatura em sala de aula, com a realização de experimentos, teremos que lidar com atitudes empíricas já estabelecidas. Extraímos de Sözbilir (2003) algumas representações dos estudantes que entendemos ser decorrentes desse obstáculo: alguns

objetos são “naturalmente” frios e outros são quentes, a temperatura mede calor, alguns corpos absorvem mais calor, as temperaturas de objetos e do ambiente são diferentes. Incluímos a essa lista o que os estudantes pensam sobre o tato, como se fosse um medidor de temperatura tanto quanto calor dos corpos (MATTOS; DRUMOND, 2004). Essas representações se mostram em explicações e, segundo Ribeiro (2004, p. 38): “Consideramos que as idéias de frio como grandeza física, de identificação de temperatura apenas pela sensação tátil e outros norteados pelo senso comum, (...), revelam o obstáculo da *experiência primeira*”. Amaral e Mortimer (2001), em contrapartida, consideram que a existência do frio decorre do obstáculo substancialista; mas, no entanto, estes autores enfatizam outro aspecto. Não podemos esquecer que os obstáculos nunca estão sozinhos, uma representação pode ser sustentada por diversos obstáculos.

1.2.1.2 Obstáculo Substancialista

Amaral e Mortimer (2001) enfatizam o frio ser considerado componente de corpos frios e o calor, por sua vez, substância que caracteriza os corpos quentes. Podemos encontrar exemplo desse tipo de pensamento, da importância do interior, em Bachelard (1996) quando critica o pensamento de Nicolas De Loques (1665), que aponta que o calor no interior dos objetos é apenas armazenado porque a superfície é mantida “fria” pela “friagem” lançada sobre ela. Outro exemplo de Bachelard (1996), Gaston Le Doux (1695), ilustra como ele considerava que o calor era uma substância característica de animais, principalmente fazendo aproximações com termos como “alma”, representando uma suposta “qualidade profunda”; característica marcante desse obstáculo. As seguintes representações – encontradas em Sözbilir (2003) – estão vinculadas a esse obstáculo: (a) calor é uma substância armazenada nos corpos e, quanto mais quente, mais calor está armazenado no corpo; (b) um corpo tem naturalmente mais calor que outro; e (c) calor é algo que se conserva durante a troca.

1.2.1.3 Obstáculos Verbais

O termo energia, bem como o calor, pode ser empregado de tal forma que seja vazio de significado em um movimento linguístico para explicar algum fenômeno térmico de forma rápida e final. Por outro lado, os próprios termos usados em Física como capacidade térmica e calor específico ou latente, podem também ser considerados obstáculos

verbais (RIBEIRO, 2004), pois são artifícios linguísticos que decorrem de uma visão substancialista (AMARAL; MORTIMER, 2001), baseada no modelo do calórico (GURGEL; PIETROCOLA, 2006). Esses conceitos podem induzir ao entendimento de que o calor está armazenado nos materiais. Ainda sobre estas expressões da Física, Ribeiro (2004, p. 66) alerta que “a linguagem utilizada pelo professor, em algumas situações, pode estar reforçando este obstáculo para o estudante” caso não haja cuidado com o que podem significar.

1.2.1.4 Obstáculo do Conhecimento Geral

Ao discutir sobre a mudança de fase, Ribeiro aponta as seguintes respostas dos estudantes como manifestações desse obstáculo: “1. Todo corpo ao trocar calor varia de temperatura. 2. Durante a mudança de estado físico o corpo nunca troca de energia.” (2004, p. 41). Essas generalizações, baseadas em observações singulares de aquecimento (sem mudança de fase) impedem qualquer aprofundamento sobre o que ocorre no material durante a mudança de fase e, também, como o calor possa estar envolvido nesse processo.

1.2.1.5 Obstáculo do Pensamento Realista

Para Ribeiro (2004), esse tipo de obstáculo está presente no pensamento dos estudantes, pois supervalorizam as sensações, como o tato, como instrumento de percepção da realidade. Isso também é notado pela autora quando os estudantes atribuíram qualidades macroscópicas a entes submicroscópicos. A divisão e incompatibilidade entre micro e macro são encontradas por diversos trabalhos e vistas como obstáculo para o aprendizado de química e fenômenos térmicos (BARLET; PLOUIN, 1997; FILLON, 1997).

1.2.1.6 Obstáculo Animista

Principalmente nas explicações dos estudantes sobre a dilatação dos corpos que Ribeiro (2004) encontra traços desse obstáculo. A autora aponta que vários estudantes interpretam fenômenos térmicos considerando que as moléculas se multiplicam quando o material está sob aquecimento, justificando a dilatação, por exemplo. Amaral e Moreira (2001) identificaram esse obstáculo pelo fato dos estudantes pensarem que o calor é algo independente, “considerado como uma entidade que se movimenta por suas próprias forças” (p. 5), e também

quando consideram que substâncias e corpos precisam consumir calor e frio.

Os demais obstáculos, *conhecimento unitário e pragmático*, *libido e conhecimento objetivo* e *obstáculo do conhecimento quantitativo* não são apontados pelos autores referenciados acima, talvez pelas dificuldades de caracterizá-los fora do ambiente científico. É difícil encontrar relação entre calor e temperatura com o *conhecimento unitário e pragmático*, embora a utilidade “persiga” professores de Física quando os estudantes questionam “para quê serve isso?”.

1.2.2 Outros Obstáculos

Como abordamos anteriormente, obstáculos epistemológicos têm a sua origem no modo de pensar, nas atitudes para com o conhecimento. Contudo, as atitudes epistemológicas para com o conhecimento não englobam todo os fatores que podem se demonstrar entaves para o processo de ensino-aprendizagem. Sendo assim, buscamos ressaltar outras formas de obstáculos que podem estar presentes em sala de aula.

Brousseau (1986; 1989) aponta que no ensino também é preciso levar em consideração os obstáculos didáticos, ontológicos e até mesmo culturais. Estes obstáculos culturais têm como origem a disseminação de conhecimentos equivocados que estão estabelecidos e legitimados culturalmente. Obstáculos ontológicos decorreriam da história de desenvolvimento do sujeito, que afeta os esquemas operatórios dominados por ele. Os obstáculos didáticos têm origem na Transposição Didática, quando os saberes a serem ensinados e as estratégias utilizadas pelo professor implicam em dificuldades de aprendizado.

1.2.2.1 Obstáculos didáticos

Além das questões epistemológicas, situações didáticas podem gerar obstáculos de aprendizagem dos conceitos enfocados, como: ao discutir sobre o corpo humano pode-se ressaltar calor como substância do corpo ou criada por ele; falta de vínculo entre a visão micro e a macroscópica dos fenômenos térmicos (AGUIAR, 2002; BARLET; PLOUIN, 1997); pouco esclarecimento sobre os aspectos matemáticos e abstratos; mal uso de metáforas e analogias (BACHELARD, 1996).

Para Brousseau (1986) e Astolfi (1993), dependendo da Transposição Didática realizada, pode ocorrer o surgimento de obstáculos de aprendizagem de conceitos, cuja origem são saberes e estratégias de ensino adotados, que no contexto da sala de aula

difícilmente podem ser ajustados. Como alertado por Barlet e Plouin (1997), sem uma devida explicação das características moleculares, ou seja, de uma modelização, dificilmente os estudantes conseguirão recorrer aos conceitos de calor e de temperatura para explicar fenômenos macroscópicos fazendo uso da concepção microscópica desses conceitos. Isso seria um caso em que, durante a Transposição Didática, a construção dos modelos teóricos (molecular, teoria cinética dos gases e estrutura cristalina) foi deixada de lado. Portanto, entendemos que a *ausência de modelização* torna-se um obstáculo didático que precisa ser superado. Aguiar (2002) também aponta que estudantes, apresentados ao modelo cinético molecular de forma desvinculada do olhar macro, demonstravam dificuldades para aplicá-lo corretamente em Termodinâmica. Para esse autor, a origem dessa dificuldade é didática:

“Professores e livros texto de física consideram, muitas vezes, trivial e isento de problemas a compreensão do sentido único da propagação do calor. De certo modo, supõem que essa imagem seja facilmente deduzida do modelo cinético de partículas. [...] Como vimos, a aceitação do modelo microscópico (cinético de partículas) não conduz os estudantes ao modelo básico da termodinâmica” (AGUIAR, 2002, p.11).

Outro obstáculo didático pode surgir com o descuido para com a origem e o papel conceitual dos termos: capacidade térmica, calor específico, fluxo / troca de calor e de energia. Eles podem levar à confusão e até mesmo a fortalecer outros obstáculos (AMARAL; MORTIMER, 2001; RIBEIRO, 2004).

Ribeiro (2004) salienta ainda que em alguns momentos o próprio professor, ao ser indagado pelos alunos, pode fazer uso de um discurso de utilitarismo para se esquivar do problema levantado e da discussão conceitual, podendo reforçar o que Bachelard (1996) chamou de obstáculo *unitário e pragmático*. Ao mesmo tempo, o professor estaria agindo contra a problematização. Bachelard (1996) – que é a nossa orientação epistemológica e, portanto, guia da nossa Transposição Didática – apontou que a problematização e a mudança de atitude experimental são necessárias para o bom ensino científico. Dessa forma, a Transposição Didática com esta orientação, que não levar isso em consideração, está gerando obstáculos à aprendizagem dos conceitos científicos e, também, da atitude e do pensamento científico.

1.2.2.2 Obstáculos ontológicos

Amaral e Mortimer (2001) expõem as ideias de Chi (1992) e extraem possíveis obstáculos ontológicos para o aprendizado dos conceitos de calor e temperatura. São três as categorias ontológicas apontadas por esta autora: matéria, evento e abstração (CHI, 1992 *apud* AMARAL; MORTIMER, 2001; CHI; 2008). Baseados nela, Amaral e Mortimer discutem que entender calor como matéria seria atribuir características como volume e massa ou que ele possa ser armazenado. Considerá-lo como evento, seria dizer que é algo que tem começo e fim e não pode ser armazenado. Chi (2008) considera que essas características acima dizem respeito à realidade intrínseca dessas bases ontológicas, já que nenhum processo físico consegue transformar um evento em uma matéria. O interessante aqui é salientar que se o estudante não consegue se desvincular e mudar de uma visão material de calor para raciocinar e atribuir realidade ao calor como um evento, tem-se um obstáculo.

Só identificaremos o potencial das atividades experimentais, visando à superação de obstáculos, quando tratarmos de aspectos didáticos e cognitivos. É preciso identificar a proposta didática em que nos inserimos, o ponto de vista de Astolfi, para entendermos melhor o que fazer com os aspectos trazidos por Bachelard e outros possíveis obstáculos de aprendizagem. Posteriormente, será preciso identificar as implicações das ideias de ambos os autores perante os conteúdos enfocados nesta pesquisa. Em outras palavras, identificaremos como agir didaticamente para superar os obstáculos de aprendizagem que podem se mostrar no ensino desses conceitos.

1.3 O PLANEJAMENTO DA SEQUÊNCIA DIDÁTICA

Enquanto discute os obstáculos epistemológicos, Bachelard (1996) reflete sobre como esses obstáculos podem interferir no ensino de áreas científicas. Esse epistemólogo chega a afirmar que o professor deve guiar o estudante para sair do concreto imediato e atingir a abstração dos experimentos, mas, é claro, pouco mostrou sobre o processo de superação de obstáculos em sala de aula. Um autor que avançou nesse aspecto dentro da Didática das Ciências foi Astolfi (1993; 1994)⁷.

Para Astolfi, a historicidade da elaboração do conhecimento científico está repleta de superação de obstáculos epistemológicos. Aliado a isso, afirma que “os conceitos científicos são *respostas a questões teóricas*” (ASTOLFI, 1993, p. 291, grifo do autor, tradução nossa) e que o contexto epistemológico é perdido durante o processo de disseminação do saber entre os cientistas. Consequentemente, esse distanciamento pode ser agravado na transformação do saber durante a relação didática, ou seja, no processo de Transposição Didática. Busca ainda mostrar que os *problemas* que originaram os conceitos são negligenciados no ensino, assim como os obstáculos epistemológicos, mas ambos “podem servir de *índice* tanto do progresso quanto das dificuldades dos estudantes” (ASTOLFI, 1993, p.291, grifo do autor, tradução nossa).

Para ilustrar a necessidade de superar os obstáculos, Astolfi (1993) traz dois exemplos. O primeiro ilustra brevemente interpretações históricas da interação entre o monóxido de carbono (CO) e a hemoglobina, em que o fato de a cor do sangue “não mudar” após a contaminação com o monóxido fez os cientistas pensarem que a molécula de oxigênio não conseguia “sair” da hemácia. Havia sido criado, então, um vínculo demasiado forte entre a cor e a oxigenação. O segundo exemplo envolve o tema da evolução: é comum pensar que qualquer animal pode se transformar em outro, atribuindo uma escala de complexidade entre seres, como se começasse em seres mais simples, como a ameba, e “evoluindo” até os humanos, mais complexos. O autor bem lembra que esses exemplos históricos de obstáculos são importantes para nos alertar da dificuldade que existe para superá-los. É interessante ressaltar que uma vez superado, esses obstáculos

⁷ Astolfi não mencionou Bachelard diretamente nesses dois trabalhos apesar de apresentá-lo em suas referências.

desaparecem da história, mantendo-se somente a resposta – o problema se perde.

Ciente do impacto das pesquisas do Movimento de Mudança Conceitual no ensino de ciências e das subsequentes investigações sobre concepções alternativas, Astolfi (1993) critica estas últimas, que se caracterizam como uma catalogação de concepções e carecem de dimensão epistemológica nas análises destas. Para o autor, o importante é buscar o porquê de tais representações existirem, pois, desta forma, poderemos entender melhor a permanência delas quando defrontadas com o conhecimento científico. Segundo o autor, a resistência das representações dos estudantes – após anos de escolaridade – tem ligação com os obstáculos epistemológicos, mas também com eventuais obstáculos didáticos, frutos de ensinamentos anteriores e que podem provocar dificuldades no aprendizado de conceitos. De qualquer modo, é preciso saber até que ponto as representações serão empecilhos no ensino de ciências. Descrevemos isso para justificar a preocupação que temos sobre o papel da representação do estudante no ensino e podemos comparar com o que Astolfi considera ser o *status duplo* das representações, com algumas similaridades com a mudança conceitual.

O primeiro *status* das representações, o de *divergência do saber científico*, caracteriza-se quando as representações (explicações de fenômenos consideradas equivocadas) opõem-se aos objetivos didáticos porque “ocupam o mesmo ‘nicho ecológico’” (ASTOLFI, 1993, p. 297)⁸ que o conhecimento científico. Logo, a representação é usada pelo estudante diante de uma pergunta ou situação e mostra-se como uma dificuldade a ser trabalhada pelo educador. O segundo *status* diz sobre as representações como explicações desenvolvidas ao longo de nossas vidas, que possuem uma coerência interna e são legitimadas pela sua funcionalidade. O importante, para o autor, é que este *status* das representações faz com que elas ocupem o mesmo núcleo dos objetivos que se deseja alcançar, sendo, então, necessário provocar uma alteração. Para Astolfi (1993), a resistência à mudança das representações dos estudantes, mesmo após anos de escolaridade, deve-se a este último aspecto, pois não haverá qualquer mudança enquanto não houver insatisfação, provocada por tentativas de desestabilização por parte do professor, e a promoção de um novo modelo explicativo. Se Astolfi ataca objetos diferentes que o Movimento de Mudança Conceitual,

⁸ Suspeitamos que esteja se referindo a termos usados por Posner e colaboradores (1982), e extraídos da “ecologia conceitual” de Toulmin.

precisamos diferenciar essas ideias. Começaremos pela diferença entre obstáculo e representação e como estes estão ligados.

Os obstáculos explicam a existência da representação e sua estabilidade. Sendo que “de um mesmo obstáculo podem derivar representações relativas a noções que não possuem vínculo aparente” (ASTOLFI, 1993, p. 298, tradução nossa). Portanto, os obstáculos não podem ser encarados no mesmo “nível” da representação, ele passa a ser antecessor, a sua origem: “definem o ‘núcleo duro’ do que oferece resistência à aprendizagem e ao raciocínio científico” (ASTOLFI, 1993, p. 298, tradução nossa). No entanto, vários obstáculos podem atuar em conjunto para reforçar uma representação específica; o que pode justificar a manutenção de representações dos estudantes após anos de escolaridade. A partir da análise dos obstáculos, permite-se “deduzir o sentido das representações” (ASTOLFI, 1993, p. 298, tradução nossa). Para o autor, não se preocupar com isso faria com que caíssemos novamente em um tipo de catálogo de ideias dos estudantes.

Com a finalidade de esclarecer, reforçamos que enquanto o Movimento de Mudança Conceitual enfrentava a concepção do estudante, Astolfi diz que é preciso atacar os obstáculos por trás da mesma. Salientarmos isso também é uma forma de evitar confusão do que será exposto nesta dissertação, pois a forma que o autor propõe a superação de obstáculos possui termos em comum ao desse movimento. Devemos ter em mente que superar obstáculos epistemológicos não é meramente mudar de representações. Além do mais, “se os obstáculos cedessem à primeira vez que foram questionados, significaria que provavelmente **não foram verdadeiros obstáculos**” (ASTOLFI, 1993, p. 300, grifo do autor, tradução nossa).

Considerando esse papel importante dos obstáculos, é preciso retornar e repensar a prática didática. Astolfi (1993) lança-nos à pergunta: “É preferível (e mais eficaz) atacar um obstáculo transversalmente ou se é melhor, pelo contrário, tratar suas manifestações particulares?” (p. 298, tradução nossa). Obviamente, corre-se risco nas duas situações. Por isso, o autor considera que deve ser feita alternância ao lidar com os obstáculos particular ou globalmente. Entretanto, cabe trazer os alertas do autor sobre tratar um obstáculo pontualmente, pois “se corre o risco de se ocupar mais de manifestações contingentes que de sua raiz” (1993, p. 299, tradução nossa) e os estudantes não perceberem a manifestação do mesmo obstáculo em outras situações e o professor tenha que repetir o processo. Apesar da importância, “na maioria dos casos tais obstáculos não se colocam no cerne das situações didáticas” (1994, p. 206, tradução

nossa). Tendo ciência disso: como propor o uso de aparatos experimentais visando à superação dos obstáculos de aprendizagem?

Ainda não fica claro se o obstáculo deve ser encarado diretamente a cada situação didática, em outras palavras, se a superação de obstáculos é o objetivo de cada aula. Isso o autor tenta esclarecer fazendo uso do conceito de *objetivo-obstáculo*. Esse conceito diz respeito à posição dos obstáculos na elaboração das sequências didáticas, podendo a superação destes ser algo que permeia a sequência de modo secundário ou os objetivos dela em si. Em uma situação secundária corre-se o risco, o autor alerta, de que os obstáculos sejam entendidos somente como o impedimento para o aprendizado, sem preocupar-se com os aspectos necessários para superá-lo. É preciso compreender os obstáculos enfrentados pelos alunos para a definição de verdadeiros objetivos a serem trabalhados no contexto escolar, ou seja, é importante traçar um diagnóstico dos obstáculos a serem encontrados e, a partir disso, estabelecer estratégias e sequências didáticas adequadas para superá-los.

Astolfi (1993) propõe a execução de quatro etapas para superar um obstáculo, mas que não necessariamente precisam ser seguidas à risca e linearmente: identificação, fissuração, superação e automatização. Mas é ilusório aplicar uma proposta e considerar que haverá sucesso em breve, pois, como bem lembra o autor, um obstáculo real obrigatoriamente mostra resistência após um questionamento, sendo necessário agir mais incisivamente para superá-lo.

A *Identificação* tem como função principal gerar uma “tomada de consciência” (ASTOLFI, 1993, p. 300, tradução nossa). Isso decorre de os estudantes geralmente não se darem conta de suas representações, principalmente quando elas possuem grau de funcionalidade para o estudante, que explicam suas experiências cotidianas. Esse autor considera importante para a identificação do obstáculo que os estudantes expressem suas representações, externalizando-as por meio de desenhos e de escrita, por exemplo. Outro ponto fundamental a ser explorado pelo educador durante esta etapa é que a tomada de consciência será maior se houver a localização “dentro de uma mesma turma ou grupo, de uma diversidade de sistemas interpretativos diferentes” (ASTOLFI, 1993, p. 301, tradução nossa). Este último ponto se mostra mais importante ainda por causa da segunda etapa, a *Fissuração*.

Se olharmos novamente para Bachelard (1996), lembraremos que os obstáculos epistemológicos correspondem a atitudes para com o conhecimento. Consequentemente, entendemos que a identificação de um obstáculo, apresentada por Astolfi (1993), ocorrerá quando o

estudante estiver ciente da sua forma de raciocinar e de suas atitudes intelectuais. Podemos inclusive dizer que esse processo de Identificação é um processo metacognitivo, tal como encontramos em Rosa (2011). Extrapolando mais ainda, a discussão de uma atividade experimental pode ser entendida como uma dessas tarefas para tomada de consciência.

Uma vez identificado o obstáculo e as diversas representações, é preciso planejar a *fissuração*, produzir uma “desestabilização conceitual” (ASTOLFI, 1993, p. 301, tradução nossa). Neste momento o autor lembra que é importante explorar os conflitos que surgem nas interações sociais, ou seja, no debate e na argumentação entre os pares, desde que se busque atingir convergência. No entanto, a superação do obstáculo é um processo que pode demorar, não necessariamente se dará de imediato. O foco nesta etapa é provocar *conflitos sociocognitivos*.

Contudo, a fissuração do obstáculo é sem sentido quando não se tem um modelo explicativo diferente para ser elaborado pelo indivíduo (ASTOLFI, 1993); podemos entender isso como um movimento intelectual em busca da satisfação e estabilização conceitual. A *superação* deve ocorrer com o uso de um novo modelo explicativo. Esse modelo deverá dar conta dos problemas em aberto e de outros novos, conforme o autor: “o estudante primeiro deve construir ativamente novas ferramentas conceituais, para depois tratar de fazê-las funcionarem em contextos novos” (ASTOLFI, 1993, p. 302, tradução nossa). Esse processo de aplicação do modelo alternativo em novos contextos é o que Astolfi (1994) chama de *automatização*; que de objeto conceitual esse novo modelo passa aos poucos a ser ferramenta.

Por fim, queremos lembrar que Astolfi discute outros fatores que interferem na aprendizagem de conceitos científicos, gerando dificuldades para o aprendizado. Ações didáticas podem ser fonte de obstáculos e, portanto, devem ser conduzidas com cautela no planejamento e no processo de ensino-aprendizagem. Quando nos referirmos a *obstáculos de aprendizagem* estaremos incluindo processos que dificultam o aprendizado de conceitos Físicos. Segundo Brousseau (1986; 1989), na relação didática encontraremos obstáculos epistemológicos, obstáculos didáticos, obstáculos ontológicos e, até mesmo, culturais. Neste trabalho temos como foco os três primeiros “tipos”, que pressupomos serem os principais.

Os detalhes para a aplicação de uma proposta didática não foram objeto dos trabalhos de Astolfi que citamos (dos anos de 1993 e 1994). No entanto, visando à elaboração de uma SD baseada em objetivos-obstáculos, faz-se necessário buscar exemplos de sua efetivação. Na

revista francesa “*ASTER: recherches en didactique des sciences expérimentales* do Institut Français De L’Éducation” vários volumes abordam o tratamento de obstáculos de aprendizagem no ensino de ciências. Destacamos a seguir artigos que esclarecem os processos de Identificação e Superação dos obstáculos de aprendizagem.

Para favorecer a superação dos obstáculos, Fabre e Orange (1997) apontam a necessidade da problematização, pois permite aos estudantes o entendimento do problema que estão tentando resolver, a explicitação de representações e a tomada de consciência. Então, a problematização pode se dar como guia da ação do professor (FABRE; ORANGE, 1997). No mesmo trabalho, os autores indicam a presença de três tipos de rupturas: (a) metafísica – quando há uma percepção de realidade diferente –, (b) mudança de raciocínio e (c) chamada de simples – que se dá em situações de debate. Cabe salientar que o sentido de problematização dos autores acima segue Bachelard (1996) e se aproxima do de Delizoicov (2005), como encontramos em trabalhos posteriores de Orange (2006) e de Peterfalve (2006). Reforçando seu trabalho anterior, Orange ainda faz o alerta: “se a problematização é uma condição necessária de toda superação de obstáculo, ela não é condição suficiente, senão nenhum conhecimento científico poderia preceder uma ruptura, o que desmentiria a história das ciências”(ORANGE, 2006, p.89, tradução nossa).

No trabalho de Robardet (1997) o autor identifica, por meio de questões e esquemas gráficos, obstáculos que são manifestados por representações de cunho pragmático e atitudes racionais de linearidade (atitudes que Astolfi já havia identificado). Robardet lembra como é preciso uma nova Transposição Didática para que haja o trabalho adequado dos obstáculos (seu trabalho tratou sobre eletrodinâmica). Como proposta de atividade, cria-se um jogo em que ocorre a identificação por parte dos estudantes de suas formas de raciocinar e, também, a promoção da fissuração (ROBARDET, 1997). As diferentes representações são trazidas e discutidas no grande grupo, buscando a convergência, tendo como objeto final a construção de um novo modelo explicativo com ajuda do aparato experimental utilizado no jogo.

Outros que identificaram em suas aulas o obstáculo do raciocínio linear foram Ballini, Robardet e Rolando (1997). Neste trabalho atacam também a intuição sensível – o que Bachelard chama de *experiência primeira* – como obstáculo de aprendizagem. Chama atenção este artigo por tratar de um conceito próximo ao de calor, que é energia, e nos brindar com alguns pensamentos sobre os fenômenos térmicos. No entanto, ele se mostra como o mais diferente em termos metodológicos

para superar obstáculos. Propõe-se primeiramente uma atividade em que os estudantes tentam aplicar o conceito de conservação de energia, ocorre a discussão e, por fim, a síntese do professor, a fim de ajudar a organizar as ideias trazidas pelos estudantes; que também contam com uma simbologia para ajudar a pensar os problemas. O professor não é omissor nas primeiras etapas, está constantemente interagindo e questionando.

Voltamos a questionar o papel do estudante para Astolfi durante a Identificação de um obstáculo, se ele ou o professor que o identifica. Peterfalvi (1997) esclarece esse ponto ao aprofundá-lo. A autora chama atenção para a atividade mental do sujeito em caracterizar seu pensamento e reconhecer seu modo de pensar diante de uma representação enunciada, pois assim poderá perceber a dinamicidade dos obstáculos e como eles se mostram como dificuldade para o seu aprendizado. Ao invés de simplesmente considerar sua representação como um erro, todos os estudantes podem passar a pensar o porquê de determinada representação – mostrada falsa – ter aparecido no contexto da sala; não se está criticando o erro, mas refletindo sobre o que levou a se pensar assim, que obstáculo está por trás. No entanto, diz a autora, o professor pode lançar frases ao longo do diálogo para apontar os obstáculos, evitando possíveis reações emocionais (negativas) dos estudantes quando suas representações estão sob análise de todos os presentes no diálogo didático.

Em outro trabalho, Peterfalvi (2006) reforça a importância do conceito de problematização na visão bachelardiana, da necessidade de suplantando erros, que ela chama de problematização ascendente⁹. A autora usa de falas de estudantes do “sexto ano”,¹⁰ em uma discussão de resultados experimentais, para ilustrar como é necessária a evocação das representações dos estudantes. A reflexão sobre o que ocorre no experimento é fundamental, pois “a partir do momento em que tais formulações são produzidas, torna-se possível examinar os erros e, assim, problematizar sobre eles” (PETERFALVE, 2006, p.103, tradução nossa).

⁹ A autora utiliza da expressão “*en amont*”, que em uma tradução literal seria “rio acima”, mas também pode ser entendida como “contra a corrente”. De qualquer modo, caracteriza a presença de alguma resistência.

¹⁰ O *sexième* engloba alunos com aproximadamente 11 anos de idade. É a primeira classe do *collège*.

Analisando uma SD envolvendo como situação-problema “o que acontece com a água que some?”¹¹, Plé (1997) aponta como há uma rede de obstáculos que precisa ser atacada. Durante a própria realização dos experimentos é que se caracteriza a dificuldade de se superar os obstáculos, principalmente pelo suporte dado por outro mecanismo do pensamento, ou seja, por outro obstáculo. Ressalta-se que esse processo necessita de dois movimentos, desconstrução das ideias iniciais e construção de novas que sejam igualmente satisfatórias (PLÉ, 1997). A autora chama atenção de como uma atividade experimental surpreendente não necessariamente provoca um conflito cognitivo; tal como podemos encontrar em Chinn e Brewer (1993). Devido a isso, Plé trabalha o conceito de conflito sociocognitivo. Comenta que tentar enfrentar diretamente e de imediato algum obstáculo, raramente causará envolvimento do estudante, que é fundamental para a superação. Em sua proposta, indica outras etapas: usar o experimento para dar algumas informações sobre a água e gases, resolver alguns problemas (que decorrem de obstáculos) com os experimentos, discutir e convergir ideias e, depois, comparar propriedades de substâncias em estados físicos diferentes. As discussões e atividades de escrita em grupo buscam pela cooperação, e a escrita individual serve como mecanismo de exercitar a explicação e identificar os obstáculos de cada um. Essas etapas acabam mobilizando o professor em situações antagônicas: “objetivo conceitual e flexibilidade adaptativa; oposição para o conflito e cooperação entre os estudantes; desestabilização e reconstrução conceitual” (1997, p. 226, tradução nossa). Para esclarecer a primeira situação, o professor, tendo em mente os objetivos-obstáculos, precisa criar situações em que haja a discussão e contradição entre os estudantes, mas precisa ser flexível a ponto de fazer com que eles entrem no jogo antes.

Astolfi e Peterfalvi (1997) alegam que as propostas de ensino baseadas no conflito cognitivo costumavam estar orientadas para confrontar as representações, não os obstáculos, pois estes permaneciam ocultos. Esses autores reforçam a importância de atribuir aos obstáculos o papel central na didática. Também expõem a necessidade dos estudantes se envolverem nas tarefas (mobilização cognitiva) para identificá-los. Discutem ainda os processos intelectuais para a superação

¹¹ A pergunta inicial utilizada pela autora é baseada na percepção comum dos estudantes de que a água líquida desaparece depois de certo tempo. Seu objetivo era discutir a evaporação.

de um obstáculo: desestabilização, (re)construção e identificação¹² do obstáculo (ASTOLFI; PETERFALVI, 1997). Esses processos ocorrem **paralelamente**, cada um com um tempo diferente para ser concluído. Desta forma, os autores esclarecem, então, o que Astolfi (1993; 1994) havia dito sobre as etapas didáticas para a superação de obstáculos não ser linear. Talvez a contribuição mais valiosa deste artigo é o detalhamento sobre maneiras de trabalhar esses processos. Trazem três quadros que traduzimos de forma livre: o Quadro 1.1 comenta sobre a desestabilização do obstáculo; o Quadro 1.2 é dedicado ao processo de (re)construção conceitual; e, por fim, no Quadro 1.3 há o processo de identificação do obstáculo.

Quadro 1.1 – Desestabilização do obstáculo

Princípios Dinâmicos	Mecanismos Didáticos ¹³
(1) Reforçar o obstáculo temporariamente	<ul style="list-style-type: none"> • Seleção de grupos com opiniões divergentes
(2) Identificar e explicitar as representações	<ul style="list-style-type: none"> • Escrever as ideias dos estudantes • Exigir previsões com justificativas • Construir maquetes ou modelos análogos
(3) Reconhecer inconsistências e dissonâncias	<ul style="list-style-type: none"> • Introdução de dados heterogêneos de outras turmas • Apresentar um modelo explicativo em conflito com as ideias expressas anteriormente • Introduzir um texto histórico surpreendente • Propor uma experiência surpreendente • Desenvolver jogos de papéis, em que cada um defende um ponto de vista diferente do que seus próprios • Criar grupos, dispondo de materiais

¹² *Desestabilização* e *(re)construção* correspondem respectivamente à *fissuração* e *superação* de obstáculos.

¹³ O termo se traduzido literalmente seria Elementos de Dispositivos (didáticos). Optamos por traduzir desta forma porque os “elementos” da coluna remetem normalmente a procedimentos do professor.

Princípios Dinâmicos	Mecanismos Didáticos ¹³
	diferentes, com uma tarefa que requer cooperação <ul style="list-style-type: none"> • Fazer um "painel" de estudantes com ideias convergentes • Montar grupos divergentes a partir de grupos convergentes

Fonte: Adaptado de Astolfi e Peterfalvi (1997, p.210, tradução nossa).

Os procedimentos destacados no Quadro 1.1 aproximam-se de vários dos apontamentos presentes em Plé (1997), como o uso de experimentos, a busca por modelos alternativos que sejam satisfatórios e a proposta de um conflito sociocognitivo. Também há convergência com Robardet (1997), que investiu nas discussões de grupos com ideias divergentes e no uso de um novo modelo explicativo. De qualquer forma, o Quadro 1.1 é rico em ações didáticas que podem ser feitas para superar obstáculos, o que tem implicações diretas nesta dissertação, mas partimos do pressuposto que não faz sentido aplicarmos-las de forma cronológica ou linear e, até mesmo, executar sua totalidade. Lembramos que a desestabilização de um obstáculo pode se prolongar, dada a rede de obstáculos que lhe dá sustentação.

Particularmente, há um ponto que precisa ser analisado cuidadosamente nesse quadro de Astolfi e Peterfalvi: o uso de aparatos experimentais. Salientamos, para o leitor, que não basta fazer uso de resultados experimentais com a finalidade apenas de surpreender, no sentido de “interessar”, é preciso dar um olhar adequado para não cair no mero entretenimento e, até mesmo, reforçar obstáculos como a *experiência primeira*. O que os autores quiseram afirmar, no entanto, é que um resultado experimental que permita surpreender as expectativas dos estudantes seria uma excelente maneira de provocar a fissuração de obstáculos. A própria construção de maquetes ou modelos com aparatos físicos seria uma forma de aparato experimental, permitindo aos estudantes trabalharem explicações partindo de modelos, embora as representações possam estar longe de conhecimento científico consolidado.

Quadro 1.2 – Construção ou (reconstrução) conceitual

Princípios Dinâmicos	Mecanismos Didáticos
(1) Estabelecer a validade da construção conceitual	<ul style="list-style-type: none"> • Fazer relação com os resultados experimentais • Validar uma ideia para uma experiência “crucial” visando a estabelecer a prova • Vincular os diferentes elementos de uma determinada “forma”, fornecidos ou a encontrar (motivada pela comunicação com os outros)
(2) Tornar concebível a construção conceitual	<ul style="list-style-type: none"> • Construir um ou mais modelos e usá-los sistematicamente • Escrever uma síntese em um esquema • Usar metáforas e analogias, para comparar palavra a palavra em relação ao conceito
(3) Adquirir a disponibilidade e “confortável” do novo conceito (ou modo de pensar) (de uma maneira para além da sequência)	<ul style="list-style-type: none"> • Propor uma variedade de exercícios que mobilizem o conceito para fazê-lo disponível • Utilizar diferentes formulações e codificações (simbologia) • Multiplicar as atividades em que se deve selecionar um modelo apropriado • Refazer, após certo tempo, um exercício ou outro semelhante • Resolver um problema que utilize "fora de ordem" os conceitos estudados • Usar o conceito para compreender uma situação "fora do laboratório" • Explicar aos outros (ou escrever para os outros) o que foi entendido • Fazer previsões usando a nova forma de pensar • Variar as formulações alterando os níveis de análise

Fonte: Adaptado de Astolfi e Peterfalvi (1997, p.211, tradução nossa).

Experimentos podem ser usados de dois modos nessa etapa (Quadro 1.2), um como fornecedores de dados que deem subsídios para a construção de um novo modelo explicativo e outro como teste da correspondência empírica do modelo explicativo que está sendo trabalhado. Assim, a modelização por meio de aparatos experimentais, teria como finalidade o estabelecimento de conhecimento científico (escolar) e a aplicação do modelo em outras situações principalmente por meio da previsão. Aparatos experimentais diferentes ao utilizado na modelização poderiam gerar discussões, em que a busca pela explicação do ocorrido seria um momento de aplicação do novo modelo explicativo em situações diferentes.

Embora utilizar de experimentos possa ser uma excelente maneira de o professor identificar as representações dos estudantes e os obstáculos envolvidos em seu pensamento, a Identificação (Quadro 1.3) é a etapa que menos evidencia a pertinência de se usar de experimentos. Talvez porque essa identificação do obstáculo deva ser feita pelo estudante. No entanto, elas podem se encaixar como mecanismo para estabelecer diálogos e questionar o pensamento de colegas, o que ainda é uma de suas principais características. Vale lembrar que, para Bachelard (1996), a própria atitude experimental pode ser um obstáculo.

Quadro 1.3 – Identificação do obstáculo

Princípios Dinâmicos	Mecanismos Didáticos
(1) Explicitar o obstáculo e nomeá-lo	<ul style="list-style-type: none"> • Analisar "textos errados", com instruções para identificar um obstáculo • Fazer comparações entre a produção atual e outros elementos para aumentar a consciência do caráter "transversal" do obstáculo: <ul style="list-style-type: none"> - Texto histórico - Produção de outros estudantes - Produções anteriores da mesma obra - Produções de outros conceitos • Refletir sobre o "porquê" de tal mecanismo proposto para a turma • Reconstituir um raciocínio que levou a um erro (jogo de papéis)
(2) Simbolizar o obstáculo	<ul style="list-style-type: none"> • Representar o obstáculo graficamente ou por uma expressão curta

Princípios Dinâmicos	Mecanismos Didáticos
(3) Adquirir a competência de reconhecer o obstáculo	<ul style="list-style-type: none"> • Instituir, para certos estudantes, a função de “fiscais do obstáculo” • Fazer com que “o outro caia na armadilha” • Provocar o retorno do obstáculo em novas situações • Uma vez o obstáculo identificado, dar a um estudante o <i>status</i> de corretor

Fonte: Adaptado de Astolfi e Peterfalvi (1997, p.212, tradução nossa).

Com as orientações didáticas esclarecidas e os possíveis obstáculos de aprendizagem levantados teoricamente na seção 1.1, precisamos elaborar maneiras para superá-los em uma SD. Essa sequência, nesta dissertação, será fortemente baseada no uso de aparatos experimentais. Sendo assim, precisamos refletir sobre como eles podem ser utilizados em sala de aula para favorecer as três etapas didáticas: Identificação, Fissuração e Superação; necessárias para a completa superação dos obstáculos que enfrentaremos em aula.

1.4 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS: NOSSO OBJETO DE PESQUISA

Nesta seção almejamos caracterizar o uso de aparatos experimentais no ensino ajustado à corrente epistemológica adotada. A preocupação com a fundamentação epistemológica na realização desse tipo de atividade é ressaltada por vários autores como: Gunstone (1991), Millar (1991), Tamir (1991), Pinho-Alves (2000), Euler (2004) e Millar e Abraham (2009). De forma comum, esses autores criticam como a visão empirista está normalmente presente quando experimentos são usados durante o ensino.

Com o intuito de melhor esclarecer o que entendemos por atividades experimentais, buscaremos em Pinho-Alves (2000) uma caracterização do que seria, experimentação, experiência e atividades experimentais. Para ele, a experiência constitui-se de situações comuns baseadas em percepções sensoriais não preparadas, sendo coerente dizermos que é uma experiência individual, particular. A experimentação, em contrapartida, é fruto de uma construção histórica da comunidade de investigadores, que busca atingir situações mais amplas e é intencional frente aos fenômenos. Em outras palavras, a experimentação cria situações para manipulá-los (buscando relações entre variáveis e entre os fenômenos) e é composta por regras e critérios estabelecidos por cientistas. Isso se aproxima da diferença de *atitude empírica* entre um cientista e um leigo, conforme trouxemos de Bachelard (1996). No ensino, para Pinho-Alves (2000), o professor deve fazer uso de aparatos experimentais como objetos didáticos. Vamos esclarecer essa ideia ao longo do texto.

Em sua tese, Pinho-Alves (2000) analisou, à luz da Transposição Didática, o uso historicamente feito do Laboratório Didático¹⁴ no processo educacional. Uma de suas constatações é que “o método experimental é que foi o grande objeto de ensino no laboratório didático e não os conteúdos do saber” (p. 245). Lembramos que outros autores já apontavam que a visão empirista de ciência se perpetuava nos laboratórios das escolas, como: Gunstone, (1991), Millar (1991) e Tamir (1991). Para aquele autor, as justificativas de se realizar atividades no

¹⁴ O autor também trabalha a evolução desse termo ao longo das pesquisas em Ensino de Física. Na sua forma mais simples, para além da estrutura física, diz respeito ao conjunto de aparatos experimentais e ferramentas complementares necessárias para explorar um fenômeno de forma empírica.

laboratório didático encerram-se em torno de uma concepção epistemológica empírico-indutivista implícita nessa prática:

“Esta Transposição Didática do método experimental como um objeto de ensino, satisfaz a compreensão geral da ciência como processo indutivo. A noosfera, de certa forma, assimilou e transferiu ao processo de transposição, a forte imagem popular da produção científica associada à concepção empirista” (PINHO-ALVES, 2000, p. 245).

Essa citação reforça a nossa preocupação com o sentido dado à expressão “fazer ciência”, já esboçada na Introdução. O método experimental, baseado em um olhar empírico-indutivista, foi por muito tempo considerado o único método científico (CHALMERS, 1993; FRENCH, 2009). Hoje, a definição de Ciência em torno do método experimental encontra-se superada no âmbito da epistemologia (BACHELARD, 1996; 2000; FEYERABEND, 2007; POPPER, 2007; KUHN, 2009; BUNGE, 2010), embora o método experimental ainda seja um dos vários métodos científicos. A concepção empírico-indutivista de Física e da experimentação, muitas vezes implícita nas aulas de Física, afetou a constituição do laboratório didático no Ensino Básico. O laboratório mostrou-se distante do conteúdo visto (ou a ser visto) em sala de aula, acreditava-se que bastaria realizar o roteiro do experimento para haver entendimento das teorias físicas, já que elas emergiriam diretamente dos dados.

Segundo Pinho-Alves:

O controle total do professor, chegando ao limite em determinar o erro máximo aceito nas medições, denota que o objetivo do laboratório está dirigido ao ensino de procedimentos, técnicas e habilidades experimentais. (2000, p. 246).

Portanto, o laboratório também teria de desenvolver as habilidades de um bom cientista experimental. Essa excessiva preocupação com as habilidades experimentais evidencia como trabalhar o método era essencial. Também podemos inferir como o *obstáculo do conhecimento quantitativo* pode estar presente nessa configuração do laboratório, visto que há grande preocupação e valorização da precisão da medida. Mas, “se a experimentação se mostrou inadequada ao fazer científico, o uso da experimentação também não se mostrou muito adequada ao ensino.” (p. 205). Entendemos que a razão disso, em grande parte, deu-se pelo equívoco no entendimento sobre o papel epistemológico e heurístico da experimentação. O autor aponta ainda

que o discurso do ensino de Física seria empírico-indutivista dentro de uma prática racional que, conseqüentemente, fez com que os experimentos fossem presentes em sala de aula mas aparecessem em situações de comprovação da teoria vista anteriormente.

Baseando-se nas ideias construtivistas, o autor aponta a necessidade de promover uma nova forma de fazer uso de experimentos em sala de aula, abandonando a ideia de laboratório didático produto de uma visão empírico-indutivista. Essa substituição demandaria uma nova Transposição Didática da experimentação para o ensino de conteúdos, agora fundamentada por um olhar construtivista. Gunstone (1991) também traz vários apontamentos sobre o que ele chama de “trabalho prático” em uma concepção construtivista, dando ênfase ao que seria a observação nesse contexto. Diante dessa necessidade de mudança, Pinho-Alves faz uma reflexão sobre como as atividades experimentais devem ser usadas no diálogo didático, tendo como foco os saberes envolvidos no ensino de Física.

Antes de continuarmos, é necessário lembrar que no olhar construtivista, do ponto de vista cognitivo, o estudante possui ideias prévias que influenciam no processo de aprendizagem dos conteúdos científicos. Assim, ele é entendido como alguém mentalmente ativo durante o seu aprendizado, que faz interpretações sobre o que lhe é exposto com base nas suas ideias prévias. No âmbito epistemológico, o sujeito não é neutro em suas observações, pois ela é feita à luz de teorias e pressupostos, e, portanto, não há uma linearidade acumulativa do conhecimento e não há verdade última na ciência.

Nessa conjuntura, Pinho-Alves (2000) aponta que o experimento deve aparecer como instrumento para a construção desse saber escolar e as atividades experimentais deveriam “estar ligadas ao fenômeno didático que, sob orientação do professor, irá desencadear e mediar o diálogo construtivista na sala de aula” (p. 262). Dentro dessa perspectiva, o autor propõe que as atividades experimentais sejam vistas como “objetos didáticos”, ferramentas didáticas a que o professor possa recorrer durante o diálogo didático. Dessa maneira, há obrigatoriedade de vincular as atividades experimentais aos conteúdos vistos em sala de aula. Portanto, ao fazerem parte da indução didática no ensino de ciências, devem conduzir os estudantes a refletirem sobre suas ideias prévias e a se apropriarem do saber científico.

Após caracterizar o papel das atividades experimentais na concepção construtivista de ensino, o autor categoriza-as em: histórica;

de compartilhamento; modelizadora; conflitiva; crítica; de comprovação; e de simulação¹⁵.

Uma **atividade experimental histórica** seria aquela em que se reproduz um experimento tal qual aquele que o cientista usou, de modo que recontextualize o saber, permitindo uma aproximação do “momento da descoberta” com o contexto histórico-social da elaboração das teorias. Permitiria “reconstruir o cenário histórico ligando um determinado saber sábio através de uma atividade experimental, valoriza o contexto histórico permitindo ao professor trabalhar ensinar de forma menos dogmática.” (PINHO-ALVES, 2000, p. 271-272), mas se deve ser cuidadoso com a História da Ciência, pois ela, segundo o autor, “(...) deve inspirar um cenário próprio para uma recontextualização epistemológica” (PINHO-ALVES, 2000, p. 272). Em outras palavras, não terá finalidade didática caso seja tratada de forma informativa.

Também devido à descontextualização, segundo a Transposição Didática, os conteúdos escolares normalmente negligenciam os aspectos de modelização que estão presentes na produção dos saberes científicos (MACHADO, 2009). Além de auxiliar os estudantes a identificarem a modelização nos conteúdos encontrados em sala de aula, uma **atividade experimental de modelização** permitiria que eles participassem desse processo, ou seja, elaborem modelos e caracterizem o seu papel na Física. Pinho-Alves (2000, p.278) salienta que em sala de aula:

Quando uma explicação oferecida pelo professor não se fizer bastante clara para a compreensão de um certo saber, fundamentado nas possíveis relações causais do evento físico com o objetivo

¹⁵ Embora o autor não explicita, é possível identificar influências de vários epistemólogos, por exemplo: as atividades históricas refletem um consenso entre aqueles que se opõem ao empirismo e ao positivismo-lógico (BACHELARD, 2000; BUNGE, 2010; FEYERABEND, 2007; KUHN, 2006; POPPER, 1975), de que o conhecimento científico decorre de um processo histórico não cumulativo linearmente; as atividades de compartilhamento podem ser fruto de uma leitura do conceito kuhniano de Ciência Normal, em que os sujeitos compartilham de uma Matriz Disciplinar para entender os fenômenos; a modelização é bastante trabalhada por Bunge, um processo de construção de um modelo teórico por meio de abstrações, idealizações e submissão do objeto-modelo a uma teoria geral; atividades conflitivas e críticas poderiam estar relacionadas ao papel da experimentação para a superação de obstáculos epistemológicos, na óptica bachelardiana, ou, também, na leitura popperiana, poderiam estar baseadas no teste e na refutação de hipóteses e promover a falseabilidade dessas conjecturas.

de construir um modelo, o processo de modelização possibilitará a sua elaboração facilitando sua compreensão e aquisição.

Pensando no nosso problema de pesquisa, que envolve o uso de modelo submicroscópico da matéria, os professores enfrentam muitas dificuldades didáticas. Segundo aponta Euler (2004), é necessário fazer atividades envolvendo a criação de modelos concretos de partículas e a modelização teórica em aula para maior compreensão desses assuntos. De acordo com o que analisamos de Astolfi (1993), esse tipo de atividade será fundamental para as etapas de Fissuração e Superação dos obstáculos.

Uma **atividade experimental de compartilhamento** pode ser vista como uma negociação fundamental entre professores e estudantes sobre como investigar um experimento e quais as variáveis envolvidas no fenômeno. De modo que essa atividade “favoreça uma apresentação coletiva, facilitando a indução didática na direção de que todos passem ver e interpretar 'a mesma coisa da mesma forma'” (PINHO-ALVES, 2000, p. 275). Desse modo, os sujeitos compartilhariam, neste contexto, uma mesma linguagem e forma de entender um fenômeno físico. Para que os estudantes se apropriem da linguagem e da visão científica é preciso um experimento em que “as relações de causa e efeito devem ser tão visíveis quanto possíveis” e, durante a mediação, “(...) a ênfase deve ser dada à linguagem, isto é, a valorização do qualitativo pela descrição correta das variáveis e suas possíveis relações de causas e efeitos.” (PINHO-ALVES, 2000, p. 275). Assim, buscando clareza na utilização de conceitos frente aos dados experimentais pode dar subsídio inicial à elaboração de um novo modelo explicativo (ver Quadro 1.2), que faz parte da Fissuração do obstáculo (ASTOLFI, 1993).

Para superar as concepções alternativas e os obstáculos de aprendizagem é preciso estabelecer uma situação de conflito cognitivo. Uma atividade do tipo **conflitiva** permite surpreender as expectativas dos estudantes e os faz refletirem sobre as suas concepções prévias. Com uma atividade experimental *conflitiva*, ao “pôr em cheque as concepções não formais dos estudantes” (PINHO-ALVES, 2000 p. 280), o professor cria um ambiente bastante favorável para a inserção, discussão e construção da visão científica sobre o mesmo assunto. Assim, tem de apontar ou fazer os estudantes se darem conta da “inadequação e limitação de suas explicações pessoais” (PINHO-ALVES, p. 280), de modo que eles possam aceitar a explicação científica sem a imposição da mesma. Essas atividades experimentais devem proporcionar a “oportunidade de eliminar as diferentes gestalt,

que possam surgir no evento em estudo e, ao mesmo tempo, permitir ao estudante checar suas concepções ou ‘hipóteses’ (PINHO-ALVES, p. 280)”. Entendemos que isso seria uma maneira de chamar atenção para as diferentes experiências de cada um e como isso afeta a observação de um mesmo fenômeno, necessitando uma convergência. À luz de Bachelard, podemos dizer que há uma proposta de surpreender e superar as *experiências* dos estudantes e visar uma *atitude empírica* mais científica.

Partindo das ideias de Laburú (2006) que trouxemos na Introdução, podemos extrair a importância desse tipo de atividade experimental. Mas usá-las somente para surpreender o senso comum pode levar ao mero entretenimento, trabalhando o *domínio do objeto* sem o *domínio das ideias* (MILLAR; ABRAHAM, 2009), como se conceitos e teorias surgissem da observação sem reflexão prévia ou posterior. Isso é perigoso, já que as os estudantes podem interpretar de diversos modos aquilo que estão observando, originado grande parte das dificuldades no ensino, e, segundo este autor, “as ‘descrições’ do professor levam o estudante a imaginar coisas desvirtuadas do objeto focado” (p. 275).

Existem situações didáticas em que dois conceitos são tratados pelos estudantes de forma muito próxima entre si. Para superar essa dificuldade se faz necessário uma **atividade experimental crítica**, segundo o autor, que “consiga mostrar explicitamente as diferenças entre as grandezas envolvidas de forma mais clara possível” (p. 282). Assemelha-se à categoria anterior, por também promover um conflito cognitivo, mas neste caso está focada em diferenciar conceitos. Atividades experimentais que apresentarem características de *crítica* ou *conflitiva*, questionando as representações dos estudantes, possuem grande potencial para provocar a Fissuração de obstáculos que geraram essas representações (ASTOLFI, 1993).

Embora uma atividade de **comprovação** tenha se tornado uma tradição escolar baseada numa visão distorcida da ciência, não quer dizer que ela perdeu seu papel em uma concepção construtivista educacional. Ela pode servir de *reforço* ao conteúdo trabalhado previamente e “deve atuar como suporte fenomenológico para dar validade e comprovar a teoria aprendida em situações novas” (PINHO-ALVES, p. 283). Desse modo, uma atividade com essas características poderia ser usada no processo de Superação (ASTOLFI, 1993).

Quando não for possível analisar o comportamento de certas variáveis por meio de um aparato experimental, podemos recorrer a uma **simulação**. Ela pode ser de muita utilidade no ensino, até superando

alguns aparatos experimentais, uma vez que pode apresentar maior versatilidade e, inclusive, trabalhar alguns modelos físicos de uma forma mais adequada.

O trabalho deste autor, acerca das atividades experimentais no contexto construtivista, destaca-se por possuir uma orientação baseada fortemente no campo epistemológico. Enquanto isso, podemos encontrar várias propostas de se realizar atividades experimentais sob o ponto de vista cognitivo construtivista, com ênfase nas ideias de Piaget ou Vigotski: Whitaker (2002); Gaspar e Monteiro (2004); Padilha e Carvalho (2004); Erthal e Linhares (2006); Talim (2006); e Couto, Aguiar e Freitas (2010). Nestas propostas, notamos que os autores se preocupam, de forma geral, com a importância das atividades experimentais para favorecer a clareza e a compreensão dos termos e conceitos científicos. A criação de conflito cognitivo e a interação e discussão entre os estudantes são sugeridas como meios de se promover a compreensão de conceitos. Destacamos um trecho de Gaspar e Monteiro (2004) em que contribuem ao pensarem na característica semiótica das atividades experimentais, reforçando nossos propósitos:

O experimento, como a linguagem simbólica ou gestual, deve ser entendido como uma forma de linguagem complementar à linguagem oral. É como se o experimento esclarecesse a teoria, tanto quanto um gráfico, ou uma tabela, pode tornar mais evidente a interpretação de um conceito matemático a eles associados (p. 10)

Encontramos em Rosa (2011) um enfoque diferente para as atividades experimentais: a metacognição. Nesse trabalho ela atinge mais amplamente o que Euler (2004) e Gaspar e Monteiro (2004) sondaram como importância da atividade experimental para o pensamento. A metacognição já havia sido apontada por Gunstone (1991) como um aspecto para ser trabalhado com atividades experimentais em um ensino construtivista. Rosa (2011) discute-a com mais profundidade, identificando que as atividades experimentais potencializam e promovem o controle do estudante sobre o pensar e planejar o fenômeno.

Esses trabalhos vão ao encontro do que Pinho-Alves (2000) propôs para as atividades experimentais em um ensino construtivista, uma vez que há preocupação com o ensino de conceitos, que são objetos do ensino de Física. Contudo, salientamos que nos trabalhos que citamos, exceto aqueles que tratam sobre modelização, os aspectos epistemológicos quase nunca são explicitados. E como a orientação

epistemológica é muito importante neste trabalho, assumimos com maior ênfase o trabalho deste autor. Para finalizar, concordamos a afirmação do autor de as atividades experimentais serem inerentes ao ensino de Física, mas não suficientes para resolver todas as dificuldades dessa prática.

Entendemos que a elaboração de uma atividade experimental se dará pelas necessidades de ensinar conceitos ao longo do diálogo didático. Conforme Pinho-Alves (2000, p 292): “por ser um objeto de ação, manipulada didaticamente pelo professor, sua inserção no discurso didático construtivista deverá facilitar a indução do fenômeno didático que objetiva o ensino de determinados saberes e sua respectiva aprendizagem.”. Portanto, assumindo a perspectiva construtivista, o percurso didático que iremos elaborar dependerá das representações dos estudantes e, mais especificamente, de suas atitudes para com o conhecimento, que muitas vezes representam obstáculos epistemológicos.

Delimitamos nesta seção o que entendemos por Atividades Experimentais (AE) e, a partir deste momento, adotaremos a abreviação “AE” quando nos referirmos novamente a elas. Desta forma, pretendemos facilitar a leitura do texto.

Como estamos lidando com aspectos cognitivos, é preciso demarcar o nosso olhar pra o sujeito em sua interação com o mundo e, também, com o saber escolar. Para isso, buscamos orientação nos trabalhos de Vigotski. No que se refere ao “Triângulo Didático” trazido em Chevallard (1991), adotamos Bachelard como orientação epistemológica para a relação Professor-Conhecimento e o lado da didática (relação Professor-Estudante) será guiado por Astolfi. As ideias de Vigotski, por sua vez, orientarão o olhar para a relação Estudante-Conhecimento. Tentaremos na medida do possível expor possíveis vínculos entre Vigotski e os principais autores que mencionamos, como Astolfi e Bachelard.

1.5 O ESTUDANTE DO PONTO DE VISTA DE VIGOTSKI

Podemos dizer que o núcleo base das diversas correntes construtivistas está em considerar que o estudante possui concepções prévias que influenciam no aprendizado dele, pois faz interpretações à luz delas. O construtivismo educacional não é uma metodologia de ensino, embora muitos equivocadamente o considerem desta forma (LABURU; CARVALHO, 2005; RANGEL, 2002). O foco dos psicólogos que fundamentam a área, como Vigotski e Piaget, está na aprendizagem, olhar o sujeito do ponto de vista cognitivo.

Com uma obra vasta sobre o desenvolvimento humano, Piaget contribuiu para a educação, primeiramente, por criticar e se opor ao modelo de aprendizagem cognitiva proposto pelo comportamentalismo (PIAGET, 1964). Para Piaget, o sujeito age sobre o objeto de conhecimento com que interage (1964), que é um dos fundamentos construtivistas; contrário à passividade e neutralidade do sujeito do comportamentalismo. Os conceitos de conflito cognitivo, de equilíbrio, de assimilação e de acomodação são importantes para pensarmos o caminho didático e o estudante na sua interação com experimentos ou saberes (LABURÚ, 2006; MILLAR, 2004; ROSA, 2011). Portanto, contribuem para a elaboração de AEs, tendo em vista a superação de obstáculos epistemológicos e das representações referentes aos conceitos físicos enfocados. No entanto, devemos ter ciência das limitações do conceito de conflito cognitivo. Ele não pode ser considerado como suficiente para a mudança de representações (CHINN; BREWER, 1993; MORTIMER, 1996; PLÉ, 1997; MARANDINO, 2003), pois reações diversas por parte do estudante podem desencadear inclusive a rejeição de um novo modelo explicativo. Várias AEs devem ser planejadas para desencadear conflitos cognitivos, mas estamos conscientes que mais atividades (como a discussão entre colegas) precisarão ser realizadas para gerar a superação de obstáculos.

Enquanto Piaget dá à linguagem e à socialização um caráter secundário no processo de aprendizado, Vigotski, em contrapartida, considera-as imprescindíveis para o sujeito cognoscente (OLIVEIRA, 2002), afirma a linguagem como um processo de internalização da fala social e inerente ao pensamento. Outro ponto de discordância, talvez o maior deles, é o fato de o primeiro considerar que o desenvolvimento precede o aprendizado enquanto o segundo entende que ambos se influenciam:

[...] a aprendizagem não é, em si mesma, desenvolvimento, mas uma correta organização da

aprendizagem da criança conduz ao desenvolvimento mental, ativa todo um grupo de processos de desenvolvimento, e esta ativação não poderia produzir-se sem aprendizagem (VIGOTSKI, 2010, p. 115).

Para Vigotski (1989; 2008), a realização de operações não é dependente somente da maturidade biológica do ser, ela se dá por meio de instrumentos e signos. Os signos, como mediadores de um processo, permitem os seres humanos a “*controlar o seu próprio comportamento*” (1989, p. 45, grifo do autor). Os instrumentos, por sua vez, são mecanismos pelos quais os sujeitos alteram o ambiente objetivando algo. Para o autor:

A função do instrumento é servir como um condutor da influência humana sobre o objeto da atividade; ele é orientado *externamente*; deve necessariamente levar a mudanças nos objetos. Constitui um meio pelo qual a atividade humana externa é dirigida para o controle e domínio da natureza. O signo, por outro lado, não modifica em nada o objeto da operação psicológica. Constitui um meio da atividade interna dirigido para o controle do próprio indivíduo; o signo é orientado *internamente* (1989, p. 62, grifo do autor).

Esse instrumento como agente intermediário pode ser, por exemplo, um experimento, pois este pode ajudar a pessoa a elaborar conceitos e agir em outra situação ao lembrar e / ou analisar o fenômeno manipulado. Devido aos signos e instrumentos, a *internalização* é uma reconstrução no interior do indivíduo de uma operação ocorrida externamente. Neste contexto, os símbolos e os signos são, conforme Oliveira: “**compartilhados** pelo conjunto dos membros do grupo social, permitindo a comunicação entre os indivíduos e o aprimoramento da interação social” (2002, p. 36, grifo nosso).

Segundo Vigotski, “na formação de conceitos, esse signo é a **palavra**, que em princípio tem o papel de meio na formação de um conceito e, posteriormente, torna-se seu símbolo” (2008, p. 70). Isso significa dizer que a palavra apresenta-se inicialmente como um mecanismo linguístico de auxílio do pensamento e, depois, assume o papel de representante do pensamento construído. Em se tratando de ensino formal, um novo conceito elaborado, por exemplo, torna-se mais um dos signos do estudante, que são ferramentas que “auxiliam nos processos psicológicos” (OLIVEIRA, 2002, p. 30).

Com a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), Vigotski (1989) traz a necessidade de um mediador, um representante social com mais experiência. A ZDP, que talvez seja o conceito vigotskiano de maior impacto educacional, representa aquilo que uma pessoa pode aprender quando é assistida por uma pessoa mais experiente. Portanto, por meio da indução didática, o estudante poderá atingir um nível de aprendizado que por si só não seria capaz no momento (ONRUBIA, 2009). Esse aprendizado decorrente de uma interação social passa a ser propriedade do estudante: “O que uma criança pode fazer hoje com o auxílio dos adultos poderá fazê-lo amanhã por si só. A área de desenvolvimento potencial permite-nos, pois, determinar os futuros passos da criança e a dinâmica do seu desenvolvimento [...]” (VIGOTSKI, 2010, p.113). O “mais experiente” não precisa ser necessariamente um adulto.

Partindo de Vigotski, podemos pensar que os estudantes atribuem significados aos signos e símbolos de acordo com seu grupo social. Porém, esse contexto social difere-se do científico. Precisamos, então, prestar atenção ao significado da palavra que estamos fazendo uso durante o diálogo didático no ensino de Física:

[...] o ensino direto de conceitos é impossível e infrutífero. Um professor que tenta fazer isso geralmente não obtém qualquer resultado, exceto o verbalismo vazio [...], que simula um conhecimento dos conceitos correspondentes, mas que na realidade oculta um vácuo (2008, p. 104).

Desta forma, parece que encontramos justificativa do ponto de vista cognitivo para o uso de AEs que valorizem os aspectos da linguagem, compartilhamento de significados e de símbolos tal como apontados por Gaspar e Monteiro (2004) e Pinho-Alves (2000). Mas, diante do que já tratamos de Bachelard e Astolfi, essas ideias de Vigotski nos fazem questionar as diferenças, para este último, entre conhecimento científico e as representações dos estudantes.

Ao refletir sobre a formação de conceitos científicos em crianças, Vigotski (2008) contribui – ao mesmo tempo em que critica Piaget – com alguns aspectos interessantes sobre a diferenciação entre os chamados conceitos espontâneos e não-espontâneos (ou científicos); isso também é tratado por Gaspar e Monteiro (2004) ao justificar AEs. A primeira distinção entre ambos tipos de conceitos é a relação com a experiência do estudante, muito presente naquele e pouco neste. Dialogando com Piaget, Vigotski entende que “ao operar com conceitos espontâneos, a criança não está consciente deles, pois a sua atenção está

sempre centrada no objeto ao qual o conceito refere-se, nunca ao próprio ato do pensamento.” (2008, p. 115). Enquanto que o conceito científico “com seu sistema hierárquico de inter-relações, parecem constituir o meio no qual a consciência e o domínio se desenvolvem, sendo mais tarde transferidos a outros conceitos e a outras áreas do pensamento” (2008, p. 115). Em outras palavras, a consciência e o domínio de aplicação desses conceitos assemelham-se.

O conceito científico trabalhado na escola, para Vigotski, não está isolado, depende da mediação de outros conceitos para se relacionar com algum objeto; cria-se um sistema de conceitos. A relação entre conceitos espontâneos e não-espontâneos remete a sua tese de que “os rudimentos de sistematização primeiro entram na mente da criança, por meio do seu contato com os conceitos científicos, e **são depois transferidos** para os conceitos cotidianos, mudando a sua estrutura psicológica.” (VIGOTSKI, 2008, p. 116, grifo nosso). Desta afirmação, pode-se entender que há uma sistematização dos conceitos cotidianos, um aperfeiçoamento destes em direção a características de conceitos científicos. Em outra passagem, exemplifica que o conceito cotidiano de *irmão* é “impregnado de experiências” (VIGOTSKI, 2008, p. 135), enquanto que *escravidão* e *guerra civil* são conceitos “esquemáticos e carecem de riqueza de conteúdo proveniente da experiência pessoal” (VIGOTSKI, 2008, p. 135). Um conceito cotidiano pode se desenvolver “para cima” permitindo a elaboração de um conceito científico, ao criar estruturas básicas que permitem a evolução do conceito e aumentam seu vetor de abstração. Enquanto isso, o conceito científico, ao explorar a conscientização promove o desenvolvimento ascendente dos conceitos espontâneos e ao uso voluntário da ação. Em outras palavras, “os conceitos científicos desenvolvem-se para baixo por meio dos conceitos espontâneos; os conceitos espontâneos desenvolvem-se para cima por meio dos conceitos científicos” (VIGOTSKI, 2008, p. 136). Desta forma, as representações dos estudantes são importantíssimas para uma situação didática, senão indispensáveis, para os estudantes alcançarem os conceitos científicos; mesmo que sejam contraditórios. Vigotski (2008) afirma inclusive a necessidade de o conceito espontâneo do estudante estar em um determinado nível para que haja compreensão de um conceito científico correlato.

Sobre esse aspecto há uma distinção entre as concepções científicas e espontâneas tanto por Bachelard quanto por Vigotski. Porém, da última citação de Vigotski acima, notamos que, para este, há uma mútua influência entre ambas durante a elaboração de conhecimento (científico ou “comum”), enquanto para aquele há uma

ruptura e um afastamento necessário para a construção do conhecimento científico, tal como Andrade e Smolka (2009) salientam. Devemos lembrar que algumas interpretações díspares não tornam incoerente a adoção de ambos, visto que Vigotski e Bachelard lidaram com objetos diferentes.

Sobre a superação de obstáculos epistemológicos, principalmente na etapa da automatização, Astolfi (1993) busca justificativa em Vigotski. Aquele autor expõe que o professor mediador possui papel fundamental na fissuração do obstáculo e que, para a automatização de um novo modelo explicativo é preciso levar em conta a internalização de uma nova linguagem:

“o que em princípio deriva da **mediação** (e que poderia corresponder ao que chamei de fissuração do obstáculo) deve ser em seguida objeto de uma consolidação interiorizada. [...] o aluno primeiro deve construir ativamente novas ferramentas conceituais, para depois tratar de fazê-las funcionar em contextos novos antes de servir-se delas definitivamente” (ASTOLFI, 1993, p. 302).

Nas propostas de atividades visando a superação de obstáculos (ver Quadros 1.1, 1.2 e 1.3), podemos notar a ênfase de Astolfi em atividades de compartilhamento de símbolos e de significados, guiadas pelo professor mediador. O conflito *sociocognitivo* parte do pressuposto que os estudantes, no convívio com os demais, possam buscar a convergência em suas ideias e o processo de internalização seja estimulado. Há, portanto, em Astolfi, ênfase em estratégias didáticas com forte cunho social, favorecendo a interação entre os estudantes e, através da mediação entre os próprios estudantes, a internalização de conceitos científicos.

CAPÍTULO II – DELIMITANDO A PESQUISA

2.1 ORIENTAÇÃO METODOLÓGICA

Diante dos objetivos notamos que, para responder o problema de pesquisa, a coleta de dados e a análise dos resultados da pesquisa dependem da aplicação do projeto em sala de aula. Outro ponto a ser salientado é que, diante da fundamentação adotada, precisamos que o pesquisador assuma o papel do professor durante a aplicação da SD.

Como o projeto foi aplicado pelo pesquisador, buscamos na metodologia *pesquisa-ação* (BARBIER, 2007; ELLIOT, 1990; FRANCO, 2005; MION; ANGOTTI, 2004; TRIPP, 2005) orientação para o nosso projeto, visto que ele envolve uma melhora da prática didática (no contexto em que surge o problema) e, principalmente, do uso de AEs. Não podemos perder de vista o fato de que a metodologia reflete uma atitude epistemológica e delimita os métodos pelos quais ela nos ajudará a responder o problema de pesquisa. Para tanto, devemos buscar características desta investigação que justifiquem essa opção.

Nosso objeto de pesquisa são as AEs, mas modificamos as suas características e reelaboramo-las durante a própria coleta de dados. Essa atitude decorre do papel da atividade experimental na concepção assumida, pois o tipo de atividade experimental pode ser modificado ao longo do diálogo didático de acordo com as necessidades do professor. Assim, a escolha de usar uma atividade experimental com certa característica foi feita antes de cada aula e mudanças nessa característica ocorreram durante a própria aula. Portanto, a ação didática produziu “fatos” novos durante a realização da pesquisa (insere tipos de AEs no percurso didático), não necessariamente previstos na elaboração da SD. Resumindo, nosso objeto de pesquisa (as características das atividades experimentais) sofre constantes interferências do pesquisador de acordo com as necessidades didáticas.

Da mesma forma, a SD precisa ser repensada a cada aula, objetivando o seu aprimoramento, especialmente na forma de usar as AEs. A reflexão e o aperfeiçoamento tornam-se mais importantes ainda ao longo da primeira fase de aplicação da investigação: Sondagem e Piloto. Essa reflexão da prática é determinante para o planejamento e a efetivação da aplicação final da pesquisa, que incluiu ajustar os instrumentos de análise. Ao mesmo tempo, previmos que alguns tipos de AEs sejam importantes, mas precisavam ser corroborados.

Notamos como nesta dissertação seguimos o ciclo conhecido sobre pesquisa-ação: “Planeja-se, implementa-se, descreve-se e avalia-se

uma mudança para a melhora de sua prática, aprendendo mais, no correr do processo, tanto a respeito da prática quanto da própria investigação.” (TRIPP, 2005, p. 446). Temos um ciclo alternando constantemente entre a aplicação e a reflexão. Esse ciclo de investigação extraído da metodologia, além de permitir o levantamento de dados, passa a ser também orientador da própria atividade docente. Usamos roteiros durante as atividades experimentais como instrumentos principais na obtenção de dados e, também, para corrigir o caminho didático conforme as situações didáticas enfrentadas.

Há várias interpretações sobre a *pesquisa-ação*, gerando subcategorias da mesma, conforme ressaltam André (2001), Franco (2005) e Tripp (2005). Dentre as várias subdivisões, parece-nos que a modalidade prática (TRIPP, 2005) é a mais propícia para nortear a elaboração desta pesquisa e o uso dos instrumentos, a fim de responder o nosso problema de pesquisa. Na *pesquisa-ação prática*, aplicada à educação,

o pesquisador tem em mira contribuir para o desenvolvimento das crianças, o que significa que serão feitas mudanças para melhorar a aprendizagem e a autoestima de seus alunos, para aumentar interesse, autonomia ou cooperação e assim por diante (TRIPP, 2005, p. 457).

Buscamos essa melhoria da aprendizagem e o pesquisador interagiu e tomou decisões sobre o quê e quando fazer. Mas é interessante apontar que o próprio autor, Tripp, chama atenção para o fato de que uma pesquisa com metodologia de pesquisa-ação acaba passando por todas as “modalidades de pesquisa-ação” ao longo da mesma. Na leitura de Franco (2005, p.486), nosso projeto estaria mais próximo de uma *pesquisa-ação do tipo estratégica*, pois “a transformação é previamente planejada, sem a participação dos sujeitos, e apenas o pesquisador acompanhará os efeitos e avaliará os resultados de sua aplicação”.

Muitos trabalhos de pesquisa-ação tomam como princípio que os demais sujeitos envolvidos ajam com igualdade perante a pesquisa e que o problema de pesquisa tenha que emergir de uma situação social. Além disso, muitas pesquisas-ação possuem um cunho emancipatório evidente (BARBIER, 2007; ELLIOT, 1990; FRANCO, 2005; MION; ANGOTTI, 2004; TRIPP, 2005). Cabe ressaltar que estamos considerando que o professor é o agente da pesquisa-ação, ou seja, o problema não é emergente do grupo como um todo (estudantes, professor e escola), mas sim da comunidade de professores de Física (mais restritamente) e de

Ciências. Esse pressuposto também justifica porque estamos considerando que a aplicação desta pesquisa em turmas diferentes faz parte do ciclo de investigação. Assim, por mais que a aplicação se encerre a cada turma, o professor-pesquisador visa à melhoria de sua prática docente. De acordo com Moreira e Caleffe (2008), o professor, não auxiliado por sujeitos externos, também pode concretizar uma pesquisa-ação: “Ele sentirá a necessidade de algum tipo de mudança ou melhora na sua prática pedagógica e na organização e estará em uma posição de traduzir suas idéias em ação na sua própria sala de aula”(p. 92). Vale lembrar que, ao situarmos nosso problema de pesquisa diante da fundamentação teórica adotada, não estamos mais sozinhos, pois há um grupo de sujeitos cujas contribuições e pensamentos estão presentes nesta dissertação e, de certa forma, estamos dialogando com eles.

Apesar dessas aparentes contradições teórico-metodológicas, entendemos que a pesquisa-ação seja uma metodologia coerente com as necessidades desta dissertação, embora talvez não estejamos mais falando de uma pesquisa-ação tal como Lewin e demais fundadores propuseram em sua totalidade (BARBIER, 2007; FRANCO, 2005) e sim uma **aproximação**. Franco (2005) é esclarecedora ao levantar os “princípios fundantes” desta metodologia teórica, de forma que, partindo deles, temos consciência que nosso trabalho não agrega a totalidade da pesquisa-ação.

Concluindo, enfatizamos que nossa metodologia se aproxima em diversos aspectos da Pesquisa-Ação, muito mais semelhante com o que Tripp (2005) caracterizou como *pesquisa-ação prática*. Para alcançarmos os objetivos desta pesquisa, lidamos com a aplicação e o aperfeiçoamento de um novo método de ensino e de estratégias de aprendizagem, que são, conforme Moreira e Caleffe (2008), ações pertinentes a esta metodologia aplicada ao ensino.

2.2 OS SUJEITOS DA PESQUISA

O contexto em que se dará a pesquisa é em torno da disciplina Física durante o 2º ano do Ensino Médio. É neste ano escolar em que os conceitos de Calor e de Temperatura costumam ser trabalhados. Lembrando que o nosso objeto de análise envolve superar as dificuldades no aprendizado desses conceitos no ensino de Física utilizando de AEs. Entretanto, encontramos professores que tratam desse assunto em períodos diferentes do ano letivo e, por esse motivo, tivemos mais liberdade e oportunidades para aplicar a pesquisa em sala de aula. Em todas as sete turmas, usamos 8 horas-aula.

A etapa de Sondagem foi realizada no segundo semestre do ano de 2011 em duas escolas públicas localizadas no município de Florianópolis¹⁶, totalizando 36 estudantes envolvidos. No primeiro semestre de 2012, o Ensaio Piloto ocorreu novamente em uma dessas escolas, desta vez em uma turma com 27 estudantes. Neste mesmo semestre, três semanas após o término do piloto, aplicamos a Pesquisa final em 4 turmas de uma escola pública federal localizada na mesma cidade, envolvendo 93 estudantes ao total. Como selecionamos o 2º ano no Ensino Médio, vale lembrar que os estudantes envolvidos têm idade média de 16 anos.

¹⁶ Sob a Gerência Regional de Educação (GERED) da Grande Florianópolis, por sua vez, submetida à Secretaria de Estado da Educação do governo do estado de Santa Catarina.

2.3 ELABORANDO CATEGORIAS DE ANÁLISE

Existem diversas profissões que fazem uso de atividades cíclicas, como uma equipe médica. No entanto, algo bastante importante e que serve para diferenciar a Pesquisa-Ação desses outros tipos de prática cíclica está na reflexão racional de cada etapa da Pesquisa-Ação. Para promover esse ambiente de análise e de melhor ajuste da prática, precisamos elaborar categorias de análise. Diante do objetivo geral desta investigação, lembramos que essas categorias envolvem apontar características assumidas por AEs no diálogo didático visando à superação de obstáculos de aprendizagem. Portanto, devemos detalhar inicialmente quais obstáculos presumimos serem encontrados ao longo da SD.

2.3.1 Obstáculos De Aprendizagem

A partir da fundamentação teórica, listamos diversos obstáculos de aprendizagem e como eles se manifestam no assunto físico focado. Os obstáculos verbais, epistemológicos e ontológicos foram situados a partir da obra de Bachelard (1996) e contribuições de outros autores como Amaral e Mortimer (2001) e Ribeiro (2004). Os obstáculos didáticos dos conceitos focados são apontados direta e indiretamente com base em outros trabalhos: Pinho-Alves (2000); Aguiar (2002); Köhnlein e Peduzzi, (2002); Sözbilir (2003); Cindra (2004); Jacques (2008); Machado (2009); Pereira (2010); e Rosa (2011). No Quadro 2.4, organizamos o tipo de obstáculo, manifestações decorrentes do mesmo e exemplos de respostas dos estudantes que podem ser encontradas ao longo da pesquisa. Salientamos que os dados deste quadro foram conjecturados e serviram para orientar especialmente a realização da etapa de Sondagem com categorias de análise.

Quadro 2.4 – Obstáculos de aprendizagem relacionados à temperatura e ao calor

Tipo de Obstáculo	Manifestação	Exemplos
Verbais	Termos usados como sinônimos e sem significado preciso	Calor é sinônimo de quente, energia e/ou temperatura elevada

Tipo de Obstáculo	Manifestação	Exemplos
Didáticos	Relação entre o micro e o macro	Modelizar para relacionar o mundo micro com efeitos no mundo macro
	Falta de modelização	Entendimento do papel das moléculas, ligações intermoleculares e estruturas cristalinas nos fenômenos
	Pouca fenomenologia e compartilhamento de significados	Relação entre as variáveis físicas nos fenômenos
Epistemológicos	Atitude empírica	Tato mede temperatura
	Animista	Durante o aquecimento, aumenta a quantidade de moléculas. Alguns corpos podem absorver calor
	Conhecimento Geral	A chama do fogo sempre muda a temperatura da substância em contato
	Pensamento Realista	Os sentidos são confiáveis
	Substancialista	Calor é aquilo que um corpo quente possui e troca; roupa tem calor.
Ontológicos	Não conseguir raciocinar com conceitos abstratos sem um correspondente concreto.	Calor não é um evento; calor como substância/matéria.

Fonte: Dados da pesquisa

2.3.2 As Características das Atividades Experimentais

Dentro de uma concepção construtivista de ensino, podemos apontar que tipos de AEs servem-nos também como categorias de análise. Vale lembrar que, ao longo do diálogo didático, um mesmo aparato experimental pode ser usado de forma a manifestar mais de uma “categoria de atividade experimental”, conforme alguma necessidade estabelecida no diálogo didático e identificada pelo professor. O que Pinho-Alves (2000) chamou de “categoria” vamos chamar de “classe”, evitando confusão com a expressão “categorias de análise”. Pinho-Alves (2000) propõe sete classes de AEs, resumidas no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 – Classes de atividades experimentais

Classe	Característica da atividade experimental
Histórica	Usada para discutir sobre o momento da descoberta e o contexto histórico por trás da elaboração das teorias.
Compartilhamento	Com ênfase na linguagem, pensada para gerar o compartilhamento de significados, a fim de que os sujeitos vejam o fenômeno da maneira mais próxima possível, diante das variáveis e suas mudanças.
Conflitiva	Provoca conflito cognitivo e reflexão dos estudantes sobre suas concepções prévias.
Crítica	Semelhante à conflitiva, mas indicada quando é preciso discriminar conceitos que são tratados como idênticos.
Modelizadora	Permite a elaboração de modelos e caracterização do papel atribuído aos modelos nas ciências.
Comprovação	Comprovar a teoria e conceitos trabalhados antes teoricamente.
Simulação	Importante quando não há como manipular experimentalmente o fenômeno e para reforço do conteúdo.

Fonte: Adaptação de dados de Pinho-Alves (2000) localizados na seção 5.5.

Com base em elementos da fundamentação teórica, levantamos mais três classes de AEs: de *sondagem*, *metacognitiva* e de *generalização*. A relevância de uma atividade experimental do tipo

sondagem deve-se à influência que as representações dos estudantes exercem no processo ensino-aprendizagem, tal que o professor deve sempre sondar que representações estão presentes para planejar as ações didáticas. No nosso caso, o levantamento de diversas representações é determinante para estabelecer uma discussão posterior e apontar os obstáculos de aprendizagem existentes. Então, este tipo de atividade, acreditamos, favorece as etapas de Identificação e Fissuração do obstáculo. A classe *generalização* também é extraída da nossa fundamentação teórica, pois muitos apontam a necessidade dos estudantes aplicarem os conceitos apreendidos em situações não trabalhadas previamente, além do reforço. Neste caso da *generalização*, deve-se usar algum aparato experimental que explore um fenômeno diferente dos abordados anteriormente, de modo que o estudante faça uso dos conceitos já trabalhados e elabore a explicação do novo fenômeno.

No trabalho de Rosa (2011) é mostrado o potencial das AEs para a exploração da metacognição. E, tal como já havíamos ressaltado, Astolfi (1993) parece buscá-la durante o que ele chamou de Identificação do Obstáculo, o que fica evidente em seu trabalho conjunto com Peterfalve (1997). Desta forma, faz-se pertinente considerar *atividades experimentais metacognitivas* como mais outra classe.

Elaboramos o Quadro 2.6 com a finalidade de ressaltar essas classes AEs que julgamos pertinente inserir na pesquisa, que obviamente representam AEs com características específicas e diferentes daquelas levantadas por Pinho-Alves (2000). Acreditamos que esses tipos de AEs são necessários e coerentes com nossa fundamentação teórica, uma vez que elas englobam as diversas etapas da superação do obstáculo apontadas por Astolfi e colaboradores.

Quadro 2.6 – Outras classes de atividades experimentais

Classe	Característica da atividade experimental
Sondagem	Trazer à tona as representações (diferentes) dos estudantes.
Metacognitiva	Favorecer o controle do estudante sobre suas atitudes e a tomada de consciência do seu modo de pensar.
Generalização	Aplicar o novo modelo explicativo a novas situações / fenômenos.

Os Quadros 2.5 e 2.6 mostram diversos tipos de AEs que podem aparecer ao longo do diálogo didático. Uma vez que suas **características** podem ser enquadradas nos processos de superação de obstáculos, essas classes de atividades experimentais passam a ser *categorias de análise*. Podemos antever que, durante o processo de Identificação do Obstáculo, as AEs devem explicitar as diversas representações dos estudantes, buscar a clareza em termos usados e estimular a tomada de consciência dos estudantes sobre como pensar e agir frente aos fenômenos. Na Fissuração, é preciso gerar conflitos sociocognitivos por meio de fenômenos que contrariem as expectativas dos estudantes (inclusive de forma radical). Para a Superação, as AEs devem permitir que seja gerado um novo modelo representativo para explicar os fenômenos térmicos e aplica-lo em outras situações. No Quadro 2.7, resumimos um possível enquadramento das AEs às etapas.

Quadro 2.7 – Superação de obstáculos e as atividades experimentais

Etapa	Ações Didáticas	Classe da AE
Identificação	Explicitar as diversas representações dos estudantes.	Sondagem
	Buscar a clareza nos significados.	Compartilhamento
	Estimular a tomada de consciência do estudante e o planejamento da ação.	Metacognição
Fissuração	Gerar conflitos sociocognitivos para contrariar os estudantes e diferenciar conceitos “radicalmente”.	Conflitiva
		Crítica
Superação	Permitir o compartilhamento de ideias.	Compartilhamento
	Construir um novo modelo explicativo.	Modelização
	Aplicar o novo modelo em contextos diferentes.	Generalização

2.3 OS PRIMEIROS INSTRUMENTOS DA PESQUISA

A cada atividade experimental realizada, foi necessário identificar se a expectativa de seu uso foi coerente com o planejado e com o seu papel diante das etapas didáticas para a superação dos obstáculos. Portanto, era preciso trazer à tona como as AEs provocam mudanças no diálogo didático. Isso acarretou em registrar, por meio de um gravador, o áudio dos diálogos ocorridos em sala de aula. Aliado aos registros de áudio, os apontamentos escritos pelos estudantes antes e depois de realizarem os experimentos (como desenhos e respostas a questionários) irão complementar e servirão para cruzamento de informações. Os desenhos e as atividades em grupo registradas no quadro, por exemplo, foram usadas tanto para superação dos obstáculos quanto para a obtenção de dados sobre como os estudantes entendem certo fenômeno físico. Segundo Barbier (2007), a metodologia Pesquisa-Ação não limita tipos de instrumentos, o que nos permitiu a utilização dos indicados acima sem restrição. Na seção seguinte, detalharemos o propósito dos instrumentos utilizados (na Sondagem) e como os elaboramos.

Durante as transições, entre os três ciclos {sondagem (Cap. III), piloto (Cap. IV) e pesquisa (Cap. III)}, fizemos modificações nos instrumentos, ou seja, estamos cientes das limitações destes, as quais trazemos na seção 2.4. Após a aplicação da Sondagem, alguns foram abandonados, outros tiveram parte de sua redação corrigida – para evitar indução indevida nas questões – e, em vários casos, tivemos que elaborar novos. Entretanto, antes de avaliar o instrumento, pretendemos mostrar ao leitor como fizemos uso das nossas categorias de análise (seção 2.2) para elaborar nossos instrumentos de pesquisa.

2.4 A ELABORAÇÃO DOS INSTRUMENTOS DA SONDAGEM

Tendo o objetivo explícito de detectar as manifestações de obstáculos de aprendizagem salientadas anteriormente neste capítulo, construímos questionários, roteiros de AEs para algumas aulas e Testes (vide Apêndice A). Com o intuito de esclarecer ao leitor o processo de elaboração desses instrumentos de coletas de dados, focaremos em algumas questões de cada um. Pretendemos evitar, desta forma, excesso no detalhamento dado o elevado número de questões. Ao analisarmos as respostas aos diversos instrumentos nos Capítulos III, IV e V, acreditamos que o leitor não terá dificuldades para identificar a presença das categorias de análise em todas as questões, mesmo quando não exibidas de antemão.

De forma a permitir o planejamento da SD, foi realizada a obtenção de dados antes do início da mesma. É preciso identificar os obstáculos de aprendizagem dos estudantes para preparar as AEs necessárias para superá-los. Ambos os questionários, portanto, foram planejados para acessar as representações dos estudantes de modo que manifestassem os obstáculos. Roteiros de atividades foram usados para verificar se a realização das AEs afetavam de alguma forma esses obstáculos. Com objetivo semelhante, testes foram aplicados ao final da Sondagem, permitindo identificar mudanças ou não (em relação aos obstáculos de aprendizagem) após a realização da pesquisa.

Todos os instrumentos que trazemos nesta seção estão presentes no Apêndice A. Foram os primeiros instrumentos que utilizamos e foram avaliados durante a aplicação da sondagem (ver Capítulo III). É notável a forte ênfase em questões fechadas. Optamos por essa forma para forçar o aparecimento de manifestações de todos os obstáculos que levantamos teoricamente.

2.4.1 Questionário Nº 1 (Q1) (Apêndice A)

Neste questionário há enunciados referentes a fenômenos térmicos, cujas alternativas representam ao menos um obstáculo de aprendizagem. Evidentemente, várias manifestações equivalentes de obstáculos surgem em questões diferentes visando o cruzamento de informações. Além disso, várias alternativas podem caracterizar diversos obstáculos ao mesmo tempo. Vejamos, por exemplo, a questão 3 (de um total de 11):

3. Posso afirmar que para esquentar o “meu corpo” eu posso usar um cobertor, pois:

- A temperatura do cobertor é maior que a do meu corpo O cobertor esquenta o meu corpo com o seu calor Ele isola o meu corpo do calor, mantendo a minha temperatura

A primeira alternativa dessa questão busca identificar a manifestação de obstáculos da *experiência primeira*, já que o estudante atribui à sensação térmica a medida de temperatura e relaciona a sensação de quente com maior temperatura. Na segunda alternativa, podemos extrair a manifestação dos obstáculos da *experiência primeira* e *substancialista*, uma vez que atribui ao cobertor a qualidade interiorizada de detentor de calor, partindo de uma relação empírica ingênua. A última alternativa, em contrapartida, mostrará se o estudante compreende uma visão mais próxima da científica sobre a sensação térmica e condutividade de calor. Contudo, ao mesmo tempo, se o estudante marcar essa opção, manifestar-se-á o obstáculo *animista* por considerar que o calor é um ente, uma qualidade do corpo humano; e o obstáculo *substancialista*, pois a temperatura representaria a quantidade de calor do corpo.

2.4.2 Questionário N° 2 (Q2) (Apêndice A)

Esta segunda forma de questionário tem os mesmos propósitos do Q1. Mesmo assim, optou-se pela elaboração de dois questionários estruturalmente diferentes, pois pretendíamos identificar qual melhor se adequaria à obtenção de dados e mostra-se mais claro aos respondentes. O Q2 é composto por 29 questões em escala de Likert modificada, sem o nível “indiferente”, para impedir que o estudante o usasse como modo de evitar a sua exposição. Caso o estudante escolhesse pela opção parcial de concordância, indicaria que seu pensamento se aproxima de modo favorável ao que é afirmado, que estaria totalmente correto se sofresse pequenas modificações; com um nível “indiferente” perderíamos essa informação. Pretende-se, então, identificar a confiança dos estudantes em suas representações, manifestando o obstáculo e também quais obstáculos mostram-se mais frequentes.

No Quadro 2.8, explicitamos os obstáculos envolvidos nas questões e suas manifestações. As questões de 1 a 6, em conjunto, buscam evidenciar a atitude empírica dos estudantes e, então, se há presença do obstáculo da *experiência primeira*. O obstáculo substancialista pode ser manifestado por meio das questões 7 a 10. Nas questões 11 a 26 há a busca por obstáculos *didáticos*, da *experiência*

primeira, pensamento substancialista e ontológicos, pois o estudante irá mostrar se consegue pensar os conceitos em termos submicroscópicos ou como evento. Ao mesmo tempo, as manifestações extraídas dessas respostas serão cruzadas com as das 10 primeiras questões. As últimas questões buscavam por obstáculos verbais, caso calor, temperatura e energia fossem utilizados de forma vaga.

Quadro 2.8 – Manifestações de obstáculos no Q2

Obstáculos	Manifestações	
Experiência primeira	O tato como medidor de calor e de temperatura.	1 Identifica-se o calor pelo tato.
		2 Identifica-se temperatura pelo tato.
		3 Um corpo pode estar mais quente/frio que o ambiente externo em que se encontra.
	Quanto mais quente, maior o calor.	4 Roupas aquecem porque são quentes.
		5 Roupas e alimentos têm calor.
		6
Pensamento substancialista	Calor é substância ou fluido interno às substâncias.	7 Calor é uma substância que sentimos pelo tato.
		8 Calor é a substância que esquentas as coisas.
		9 Calor é um fluido existente nos corpos.
	Frio é substância.	10 Existe o frio, que é oposto ao calor.
Pensamento macroscópico do fenômeno	Relação entre a variação de temperatura e o calor como substância.	11 Temperatura mede o estado de quão quente.
		12 Calor sempre aumenta a temperatura.
		13 O calor <i>flui</i> pelos corpos de forma diferente.
		14 A diferença de temperatura provoca o fluxo de calor.
		15 Ao esfregar a mão, o trabalho do atrito aquece a palma.

Obstáculos	Manifestações		
Pensamento submicroscópico do fenômeno	Considerar entes não-observáveis: fótons, moléculas e átomos.	16	Absorção de calor pelas substâncias.
		17	Calor fica armazenado nos
		18	átomos e moléculas.
		19	Propagação de calor.
		20	
		21	
22	Calor é a quantidade de energia trocada entre dois corpos que aumenta a energia cinética.		
Obstáculos ontológicos	Alguns conceitos físicos podem não ter correspondente concreto; só ganham significado em processos.	23	Calor é conceito abstrato.
		24	
		25	Calor como quantidade de energia que é trocada entre dois corpos.
		26	Energia como quantidade que se conserva.
Obstáculo verbal	Sinônimos e palavras gerais.	27	Temperatura alta e calor são sinônimos de quente.
		28	
		29	

2.4.3 Roteiros (Apêndice A)

Nos Roteiros Nº 1 e 2, o principal objetivo era tentar evidenciar a Superação ou Fissuração de obstáculos ao comparar o antes e o depois de realizar uma atividade experimental. Ao mesmo tempo, serviria para auxiliar os estudantes na sua interação com o aparato experimental e no acompanhamento da aula. Logo, seriam usados durante as aulas e serviriam para acompanhar eventuais mudanças ou manutenções na forma de pensar dos estudantes. Salientamos que os roteiros de forma alguma substituem o papel do professor no diálogo didático. Os roteiros estão configurados em etapas para que o professor-pesquisador controlasse quando os estudantes deveriam preenchê-los, evitando que os completassem antes de realizar o experimento e perdermos os dados comparativos do “antes e depois” de cada etapa da atividade. Isto foi planejado porque o diálogo didático foi pautado em constantes idas e vindas entre o experimento e o diálogo entre professor e estudantes.

Desse modo, essas etapas são pontos que marcam a interrupção da discussão e volta ao experimento.

Por exemplo, no Roteiro de Atividade nº 1 (Apêndice A), que diz respeito a uma atividade em que os resultados da Etapa 2 muito provavelmente contradizem os resultados da Etapa 1. Assim, quando os estudantes registrassem o ocorrido, o professor poderia gerar uma discussão sobre o que cada um identificou e as possíveis representações. Na etapa 1, as questões 4 e 5 (não estavam numeradas no documento entregue aos estudantes) serviriam para sondar as representações dos estudantes, tal que fossem usadas nessa mesma discussão.

2.4.4 Testes

A estrutura dos Testes 1 e 2, por sua vez, é muito próxima do que já relatamos sobre o Q1 e também têm como objetivo a manifestação de obstáculos. Porém, o principal motivo da elaboração desses testes foi a solicitação de uma avaliação dos estudantes por parte dos professores titulares, sendo uma condição para que nos cedessem as 8 horas-aulas. Sendo assim, foram realizados ao término da aplicação da SD. Aproveitamos ambas as avaliações para obter dados ao término da pesquisa e contrastar com o que os estudantes manifestaram no início das aulas. De forma a facilitar essa comparação, usamos do Q1 como referência para construir as questões dos Testes. As questões e alternativas possuem formas diferentes, mas o intuito e obstáculos a serem manifestados são os mesmos. Reforçamos que os testes não se resumem somente a identificar se os obstáculos estão ainda presentes no pensamento dos estudantes, pois talvez possamos identificar um eventual impacto das aulas na construção dos conceitos de Temperatura e de Calor.

Desta forma, com esse conjunto de instrumentos, que trouxemos na seção 2.4, pretendemos estabelecer uma SD e construir experimentos de tal forma que permitam identificar obstáculos de aprendizagem no pensamento dos estudantes e promover o entendimento físico acerca de fenômenos térmicos. A elaboração da SD é abordada no capítulo seguinte.

CAPÍTULO III – SONDAGEM

Diante dos objetivos da pesquisa, era necessário ajustar os instrumentos de pesquisa para a obtenção de dados. Esses instrumentos visam à identificação de obstáculos de aprendizagem, que é um fator elementar para a elaboração de AEs. Em outros termos, foi realizada uma Sondagem de forma a testar os instrumentos de pesquisa e a adequabilidade de aparatos experimentais. Portanto, é a primeira etapa de *ação* dos nossos ciclos de Pesquisa-Ação. Não menos importante para a pesquisa, também se buscou aperfeiçoar a prática docente do pesquisador-professor, que havia tido poucas experiências didáticas.

Este processo foi precedido de um contato com professores de colégios estaduais (em julho de 2011) para aplicarmos o projeto em caráter experimental, como maneira de verificar a correspondência empírica da previsão teórica e o que poderia ocorrer em sala de aula. Como consequência da Sondagem, a pesquisa seria aplicada em um Ensaio Piloto no ano seguinte, com outras turmas, partindo de um conjunto definido de AEs e instrumentos de pesquisa.

Ao término da Sondagem, foi elaborada a SD final, cujos objetivos e experimentos estão no Apêndice C. Tendo isso em vista, é apropriado trazer alguns resultados da sondagem realizada em sala de aula. Obtivemos os resultados a partir dos instrumentos (Q1, Q2, Roteiros e Testes) explicitados na seção 2.4 e presentes no Apêndice A. Realizamos essa etapa em duas turmas de 2º ano do Ensino Médio de diferentes colégios estaduais, uma com 12 e outra com 24 estudantes, em que já haviam trabalhado assuntos de Física Térmica, principalmente escalas termométricas; em uma delas fora tratado o assunto de gases ideais.

Ao longo deste capítulo serão apresentados a identificação de obstáculos pelas respostas aos questionários da Sondagem, o processo de elaboração de AEs e a SD que será usada como referência na pesquisa.

3.1 IDENTIFICANDO OS OBSTÁCULOS

Aplicamos os dois questionários Q1 e Q2 (vide Apêndice A), um em cada turma. O intuito era testar se eles atendiam aos seus objetivos como instrumento de pesquisa, que seria manifestar os obstáculos de aprendizagem.

Na primeira turma, o Q2 foi aplicado com 12 (doze) estudantes, cujas respostas estão na Tabela 3.1. Nas questões 9 e 12 tivemos a ausência de uma resposta, enquanto na questão 16 não obtivemos o registro de três estudantes.

Podemos evidenciar nas questões 1 a 6 de que os estudantes possuem forte vínculo com a *experiência primeira*, pois concordaram fortemente com as afirmações. Metade do total (6 estudantes) concordou totalmente (índice CT) com as questões 1 e 2. Nas questões 3 e 5, tivemos 5 respostas convictas da certeza delas e 9 estudantes marcaram o mesmo na questão 4. Esses números indicam uma presença intensa desse obstáculo. Quanto ao pensamento *substancialista*, as respostas às questões 7 a 9 não mostram tanta convicção, o que já é manifestado de forma mais intensa na questão 10.

Como é expressa convicção na questão 12, demonstra-se que os estudantes vinculam fortemente calor e temperatura. Isso é reforçado pela questão 15, já que o fato de a mão aquecer deve ser, para eles, causa de uma troca de calor. Ao mesmo tempo, devemos contrastar as questões 10 a 15 com as questões, 7 a 10, mostrando que uma parcela significativa de estudantes tem inclinação ao pensamento substancialista. Quando 6 estudantes concordaram totalmente na questão 27 que quente é sinônimo de calor, podemos olhar a questão 11 e reforçar nossa expectativa da existência de pensamento substancialista.

Tabela 3.1 – Respostas ao Q2

Questão	CT	CP	DP	DT
1 Ao encostar a mão em um objeto eu posso sentir o calor que ele tem.	6	6	0	0
2 Um metal tem temperatura alta quando eu encosto nele e sinto minha mão aquecer.	6	4	1	1
3 O metal é sempre mais frio que a madeira.	5	5	2	0
4 Uso roupa para aquecer meu corpo.	9	1	2	0
5 Uso roupa para manter a temperatura do meu corpo.	5	5	1	1

Questão		CT	CP	DP	DT
6	Uso roupa para manter o calor do meu corpo.	3	6	2	1
7	O gelo tem pouco calor, enquanto o vapor de água tem bastante.	3	5	3	1
8	A troca de calor sempre aquece qualquer corpo nunca há resfriamento.	1	4	6	1
9	o calor é um fluido que pode ser armazenado por alguma substância.	1	7	2	1
10	o gelo tem frio enquanto o vapor de água tem calor.	5	6	0	1
11	Maior é a temperatura da panela quanto mais quente ela estiver.	8	3	1	0
12	Sempre que fornecemos calor para a água, a temperatura dela muda.	9	2	0	0
13	O calor não consegue passar pelo metal, mas passa pela madeira.	3	3	2	4
14	Só há troca de calor quando a minha mão está a uma temperatura diferente da do objeto que encosto.	3	6	0	3
15	Não há troca de calor ao esfregar as minhas mãos.	1	2	6	3
16	Para uma mesma quantidade de calor, a água fica mais aquecida que um metal.	1	4	3	1
17	Calor pode ser explicado a partir da estrutura microscópica da substância.	2	6	3	1
18	Temperatura pode ser explicada em termos da energia das moléculas.	7	4	1	0
19	Para haver troca de calor é preciso contato físico entre os objetos.	4	3	3	2
20	A condução só depende do tipo de material.	2	6	3	1
21	Só matéria conduz calor.	3	2	1	6
22	Calor pode ser entendido com a energia trocada entre moléculas.	5	4	2	1
23	Calor é um conceito que diz respeito a algo concreto.	3	4	3	2
24	Calor é um conceito que diz respeito a um processo físico, não é um objeto ou substância.	5	3	2	2
25	Calor é a quantidade de energia que é trocada	6	6	0	0

Questão		CT	CP	DP	DT
entre dois corpos.					
26	Energia é um conceito que diz respeito a algo abstrato, como um número.	5	2	3	2
27	Quente é sinônimo de calor.	6	6	0	0
28	Quente é sinônimo de temperatura alta.	7	5	0	0
29	Frio é sinônimo de temperatura baixa.	9	3	0	0

Legenda: CT: concordo totalmente; CP: concordo parcialmente; DP: discordo parcialmente; DT: discordo totalmente.

Fonte: Dados da pesquisa.

Alguns estudantes manifestaram (nas questões 22 a 26) que calor é um ente concreto, ao mesmo tempo em que seria um processo. Isso indica que alguns estudantes podem ainda manter dificuldades para entender calor e energia como conceitos que expressam algo sem correspondência concreta direta, sendo um conceito que representa um evento ocorrido em determinado intervalo de tempo. Salientamos que dois estudantes assinalaram com certeza que calor não pode ser concebido como um processo físico.

Quente pode significar tanto calor quanto temperatura para os estudantes, segundo as questões 27 e 28. Ao analisarmos as questões que envolvem a palavra energia, podemos notar como há uma grande concordância dos estudantes entre calor e energia, indicando que este termo pode ser um obstáculo verbal nas discussões.

Na outra turma, em que aplicamos o Q1, notamos semelhanças no pensamento. Nesta, obtivemos a resposta de 21 estudantes, conforme a Tabela 3.2. Várias questões foram nitidamente influenciadas pelo contato anterior dos estudantes com o assunto, como ocorreu especialmente no caso das perguntas 3, 8 e 9, e obtemos nessas mesmas questões a manifestação de diversos obstáculos. Porém, não avançaremos muito na análise deste questionário, pois várias alternativas mostraram-se com informações vagas em relação aos obstáculos, seja por falhas na redação ou por elas serem muito semelhantes, aproximando-se mais a uma catalogação de concepções alternativas do que a manifestação de suas origens; assim, este instrumento mostrou-se inadequado para a obtenção de dados. Isso levou a que seleccionássemos, para analisarmos a Tabela 3.2, somente as questões 2, 3, 8, 9 e 10.

Tabela 3.2 – Respostas ao Q 1

Q	Enunciado	Frequência por alternativa			
2	Ao segurar uma pedra de gelo, que é água congelada, você poderia dizer que:	18 a sua mão transfere calor para o gelo	5 Falta calor na pedra de gelo	11 a temperatura do gelo é baixa	2 o gelo tem bastante frio nele
3	Posso afirmar que para esquentar o "meu corpo" eu posso usar um cobertor, pois:	1 a temperatura do cobertor é maior que a do meu corpo	6 o cobertor esquento o meu corpo com o seu calor	14 ele isola o meu corpo do calor, mantendo a minha temperatura	
8	Temperatura está relacionada a:	1 Quão quente é o corpo	14 estado energético das moléculas do corpo	5 quanto de calor há no corpo	
9	Quando um corpo cede calor para outro	6 perde parte do calor que tinha	9 as suas moléculas perdem parte de sua energia cinética	5 o frio do outro corpo passa para ele	
10	No equilíbrio térmico	14 a temperatura dos corpos é a mesma	2 não há troca de calor	4 a temperatura é igual, mas não o calor	

Fonte: Dados da pesquisa

Na questão 2 do Q1, os estudantes poderiam assinalar mais de uma alternativa. Desta forma houve a manifestação da *experiência primeira* juntamente com o pensamento substancialista, visto que 11 estudantes afirmaram que o tato mede a temperatura, 5 consideram a sensação de frio como falta de calor no gelo, e 2 estudantes consideram haver frio no gelo. A primeira alternativa desta questão precisaria ser mais aprofundada para saber se a resposta representa mesmo um *pensamento substancialista*, pois de todas as alternativas, ela melhor se aproxima do que seria o conceito científico de sensação térmica, mas a palavra transferência remete à troca de algo retido.

Dado o contato anterior dos estudantes com o assunto por meio do professor titular, as respostas assinalam mais ainda a presença do obstáculo substancialista no pensamento dos estudantes. Isso é reforçado pela questão 3, ao menos para 7 estudantes, que assinalaram as duas primeiras alternativas (1 na primeira e 6 na segunda). Quando comparamos estes dados com os da outra turma, reforçamos o nosso pressuposto de que haveriam “universais” quanto aos obstáculos de aprendizagem nas turmas; porém, isso não se aplica a todos os estudantes.

Notamos influência do contato prévio dos estudantes com o assunto na oitava e na nona questão, em que muitos pensaram temperatura em função de moléculas. No entanto, é interessante que na questão 8 cinco estudantes tenham apontado que temperatura mede a quantidade de calor do corpo. Esse vínculo forte entre temperatura e calor também foi notado na outra turma. Também similar, como notamos por meio da questão 9, é que esse vínculo está relacionado a uma visão substancialista de calor. Esse obstáculo também foi manifestado pela terceira alternativa desta questão, em que cinco estudantes apontaram que o corpo cede calor e recebe frio. Quatro estudantes afirmaram na questão 10 que no equilíbrio térmico pode haver a mesma temperatura, mas calor diferente, indicando fortemente a presença do pensamento substancialista devido à contradição com a terceira alternativa da questão 8.

Notamos que o questionário N° 1 foi mais limitado que o segundo em termos de manifestação de obstáculos. O questionário N° 2, tendo um número maior de questões, foi capaz de evidenciar obstáculos ontológicos dos estudantes e, também, obstáculos verbais. Diante dos resultados dos questionários, era necessário construir AEs para superar os obstáculos da *experiência primeira* e substancialista. Os resultados do questionário N° 2, aplicado na primeira turma, coloca a necessidade de elaborarmos AEs que permitam trabalhar o conceito de calor como

evento; algo não concreto e se mostra como um processo com início e fim. Alteramos algumas das questões do Q2 por problemas na redação que identificamos durante a análise ou por terem gerado queixas de incompreensão por parte dos estudantes. O resultado das alterações está presente nas seguintes questões do Questionário P (Apêndice B) utilizado no Ensaio Piloto: 5, 6, 8, 9, 11, 13, 17, 18, 20, 22, 23, 24, 27, 28 e 29.

3.2 ELABORANDO AS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

Para explorar os obstáculos da *experiência primeira* era preciso alguma AE em que os sentidos sejam usados e mostrem-se claramente limitados. Para obter resultados que permitam romper com a confiabilidade nos sentidos para a percepção de fenômenos térmicos, selecionamos um experimento bastante conhecido: as três bacias de Locke, neste caso adaptado a três copos. Usamos copos de isopor, a fim de evitar a visualização do conteúdo pelas laterais do copo durante a preparação da atividade, pois o foco era que os estudantes ficassem curiosos em tocar na água. Os copos continham água a diferentes temperaturas, foram marcados com A, B ou C e entregues aos grupos de estudantes. Era esperado, ao surpreender as suas expectativas, gerar um *conflito cognitivo* quando verificassem que a água no copo B pode produzir sensações térmicas diferentes se a mão for mergulhada anteriormente nos outros copos (A ou C). Ao mesmo tempo, essa atividade poderia possuir aspectos de compartilhamento sobre a relação entre a temperatura da mão e a do objeto para caracterizar a sensação térmica.

Visando superar o obstáculo da *experiência primeira* e também o substancialista, era preciso uma atividade experimental para diferenciar de forma *crítica* calor e temperatura. Isso pode ser evidenciado durante a ebulição da água, em que não há mudança de temperatura apesar da transmissão de calor por parte da chama. Usamos um fogareiro, que aquecia água lentamente, e um termômetro era entregue a cada grupo para acompanhar o aumento na temperatura da água ao longo do tempo.

Como maneira mais eficiente de gerar um conflito sociocognitivo para superar o obstáculo do *pensamento substancialista*, um experimento realmente simples que pode ser feito é esfregar as mãos. Assim, o aquecimento de ambas as mãos ao mesmo tempo é um fenômeno cuja explicação não é satisfatória se baseada na ideia de calor como “substância”. O problema dessa explicação seria: para esquentar uma mão, ela precisa absorver calor da outra mão que, no entanto, não pode ter perdido calor porque ela também aqueceu, não resfriou.

A atividade de aquecimento e ebulição da água dá início, inclusive, à discussão sobre as moléculas da água nos diferentes estados físicos. Simultaneamente à Fissuração de obstáculos, faz-se necessário construir um novo modelo explicativo, neste caso, o modelo submicroscópico da matéria. Para isso, usamos de dois *modelos representacionais*, um deles referente a gases e o outro a sólidos. Este modelo é um quadro de madeira com bolas de isopor presas a ele e a

outras bolas por meio de molas, de tal forma que todas vibram juntas ao bater em uma das bolas. Para representar os gases, agitamos pequenas bolinhas de isopor em um tubo de vidro por meio de um êmbolo que, por sua vez, estava acoplado a um pequeno motor elétrico. Com isso, discutir-se-ia os conceitos de temperatura e calor em uma visão submicroscópica, superando obstáculos ontológicos e, também, verbais. A modelização permitiria conceituar temperatura em termos da energia cinética das moléculas e calor em função da diferença de energia cinética das moléculas.

Para consolidar os conceitos construídos e completar a etapa de Superação dos obstáculos já salientados, era necessário AEs para estimular o uso do novo modelo explicativo. Os últimos dois experimentos são chamados de *panela de papel* e *cascata de tachinhas*. Ambos poderiam surpreender as representações dos estudantes e causar conflitos cognitivos ao mesmo tempo em que permitem construir o conceito de condutividade térmica. O primeiro trata de aquecer por meio de uma chama a água em uma caixa de papel sem queimá-lo. No segundo, mostra a transmissão de calor pelo material, pois tachinhas, coladas com parafina em pontos diferentes de um fio de cobre, caem em momentos diferentes.

A elaboração de AEs nesta etapa (Sondagem) não ocorre somente neste momento de preparação para as aulas. O professor-pesquisador, orientado pela metodologia da Pesquisa-Ação, interferirá constantemente na forma como as AEs serão usadas em sala de aula, poderá ajustá-las (entre aulas) visando realizá-las novamente e, não menos importante, poderá criar novas AEs para lidar com os obstáculos que surgem no diálogo didático.

3.3 IDENTIFICANDO AS CARACTERÍSTICAS DAS ATIVIDADES EXPERIMENTAIS

Usamos de alguns roteiros experimentais, semelhantes a questionários (Roteiros de atividade – Apêndice A), para tentar identificar mudanças depois das AEs e caracterizar o papel de determinada atividade no diálogo, mas não pudemos obter resultados adequados. Muito dessa falta de resultado deve-se à estrutura desses roteiros e à forma de sua aplicação, que não permitiram identificar possíveis mudanças na maneira de pensar dos estudantes no desenvolver das AEs. Apesar de o registro ser individual, muitos estudantes responderam pelos colegas do grupo, com respostas idênticas. Em alguns casos, foram respondidas todas as Etapas do Roteiro de uma só vez, não aguardando os momentos solicitados (por exemplo, a Etapa 1 deveria ser feita antes de realizar a AE e a Etapa 2 após).

Trazemos a seguir de forma resumida a SD aplicada na Sondagem, tendo como objetivo salientar as características exercidas pelas AEs e seu potencial ao mesmo tempo em que refletimos sobre os instrumentos aplicados. Não estamos preocupados, no momento, em analisar se o diálogo didático foi bem conduzido. Das duas turmas em que aplicamos a Sondagem, o relato abaixo se restringe somente àquela em que aplicamos o Q2, cujos resultados, a nosso ver, eram mais ricos e representam um maior volume de respostas.

Dos registros é notado o potencial na primeira atividade experimental para a **sondagem** com o intuito que os estudantes tomassem conta das diversas representações no grupo. Nela, um estudante vendado recebia pedaços de tecidos, de madeira, de barras de metal e de plástico e precisava acusar se o material era quente ou frio. Enquanto ele estava vendado, colegas escreveram em um papel se consideravam aquele material quente ou frio. Essas expectativas registradas eram questionadas assim que o estudante vendado tocava nos objetos e dava o seu parecer. No caso do metal, por exemplo: uma estudante anotou que ele era quente, outro escreveu que era um material frio, que foi, inclusive, a sensação térmica sentida depois pelo estudante vendado. Como a aula estava encerrando, não houve discussão entre a sensação térmica do estudante vendado e as expectativas individuais. Por isso, não permitiu que estudantes expusessem as origens de suas representações e, então, não foi explorada plenamente a característica de sondagem.

Também aquém do esperado, a atividade experimental dos três copos com água não foi trabalhada devidamente. Durante a realização desse experimento foi entregue o Roteiro de Atividade Nº1 (Apêndice A). Era solicitado que mergulhassem o dedo em cada copo e anotassem o resultado na Etapa 1 do roteiro. Apesar de o professor questionar as respostas para as duas questões 4 e 5 desta mesma etapa, não houve avanço no diálogo. Na segunda etapa deste roteiro, era pedido que encostassem a mão nos copos extremos (A ou C) e depois mergulhassem a mão no copo B; os resultados foram anotados (na Etapa 2 do Roteiro de Atividade Nº 1) e discutidos. Foi chamada atenção para o que os estudantes estavam dizendo: que a água em B era primeiramente morna e depois estava sendo acusada tanto de quente quanto de fria. Essa fala do professor foi seguida de um breve silêncio na sala. Diante disso, questionou se o tato estava medindo a temperatura da água do copo B, ao que uma estudante disse que não e outros insistiram aparentando pouca confiança. Imediatamente o professor perguntou o que seria / provocaria essa sensação, mas não houve avanço no diálogo e alguns estudantes voltaram a falar no tato medir a temperatura. Isso fez com que o professor reafirmasse que a água no copo B estava quente, morna e fria ao mesmo tempo.

Pelas respostas ao questionário notamos que quatro estudantes optaram, após a atividade experimental, que a mão deve apontar a troca de calor entre ela e o objeto, enquanto os demais mantiveram o pensamento de que o tato indicava a temperatura. Como todos, incluindo os quatro estudantes, haviam dito anteriormente que o tato acusava temperatura, entendemos que essa atividade experimental permitiu gerar **conflito cognitivo** e tem o potencial para **compartilhar** o significado de sensação térmica. Ao longo do diálogo chegou-se à conclusão de que a sensação de quente ocorre quando o calor “entra” no dedo, e a de frio quando o calor “sai” do dedo e que isso vai depender da temperatura do dedo e da água. Devemos salientar que o diálogo didático não explorou esses resultados experimentais, que poderiam ter potencializado o conflito cognitivo, ele foi especialmente afetado pela pressa em finalizar os experimentos e que todos preenchessem o roteiro da atividade.

Quando realizado o experimento do aquecimento da água (para que ela atinja cerca de 100 °C) pudemos notar em resultados do Roteiro de Atividade Nº 2 (Apêndice A) a manutenção da forma de pensar dos estudantes. Assim que a temperatura da água se aproximava dos 100 °C (ou a um valor próximo) perguntava-se às equipes se havia mudança ou não de temperatura e possíveis razões disso. Diante de a temperatura ter

se mantido em cerca de 100 °C alguns estudantes sentiram-se incomodados, a ponto de uma equipe trocar de termômetro para notar se mudava algo. Novamente não houve uma discussão adequada no momento, que o professor indicou que a explicação ficaria para a próxima aula. Uma equipe apontou sobre a evaporação da água quando a temperaturas elevadas. Na aula seguinte, os estudantes falaram que o fogo foi usado para aquecer a água, até certo ponto (perto de 100 °C). Partindo disso, disseram que calor e temperatura não são a mesma “coisa”, pois o calor pode ser fornecido, mas não necessariamente a temperatura irá mudar. O professor chamou atenção para o fato de que não havia mudança na temperatura enquanto havia o aquecimento, mas algo estava acontecendo durante os 100 °C, ao que um estudante disse que a água estava se transformando em gás.

Assim que o grupo de estudantes pediu ao professor a troca de termômetro, nota-se que eles estavam incomodados com o fato de a fonte de calor (chama acesa) não estar alterando a temperatura. Portanto, houve manifestação do pensamento do grupo de que o aumento de temperatura está diretamente ligado à absorção de calor. Isso mostra a necessidade desse experimento durante nossa SD, pois com ele é possível criar uma situação que gere a necessidade de diferenciar calor e temperatura. Essa atividade possui características do tipo de **atividade experimental crítica**. Quando os estudantes apontaram que a causa de não ter havido aumento de temperatura estava relacionada à evaporação da água, essa atividade se aproxima do que chamamos de atividade de **compartilhamento**.

Nesta quarta aula, partindo do que responderam sobre o experimento para chamar atenção sobre as moléculas, foi solicitado que representassem graficamente as moléculas da água líquida e do vapor de água. Partindo desses desenhos, o professor estabeleceu um diálogo e fez uso de um modelo das moléculas de um sólido (bolas de isopor presas por molas entre si e a um quadro). Com esse *modelo representacional* apontou como nos sólidos, ao empurrar uma bolinha (molécula), as outras também são empurradas. Disso, chamou atenção dizendo que há uma força de ligação entre as moléculas, relacionando essas forças às forças aplicadas pelas molas sobre as bolas (moléculas). O professor comentou que no líquido, especialmente na água líquida, há certa interação, mas as moléculas tem maior liberdade de movimento. Sobre a água líquida ter entrado em ebulição, o professor questionou: o que ocorre com as moléculas de água para que haja a transformação da água líquida em vapor? Um estudante falou que as moléculas “precisa se mexer e se separar”, quando tiverem bastante movimento e energia. O

professor insistiu no que significaria o termo “separar”. Os estudantes falam em termos de agitação, ao que o professor responde dando movimento a uma das bolinhas de isopor que agita as demais, dizendo: “elas estão se mexendo, mas elas não estão separadas”. Imediatamente o professor questiona novamente o que seria separar, então, no modelo, ao que um estudante responde ser o rompimento das ligações (das molas).

Dando continuidade, foi utilizado de outro aparato experimental: um tubo de vidro com um pistão acoplado a um motor que agitava verticalmente pequenas bolinhas de isopor. Foi dito que o experimento demonstrava o comportamento das moléculas de um gás, podendo representar as moléculas do vapor da água. Ao ligar o motor, as bolinhas de isopor se moveram no interior do tubo de vidro. Os estudantes apontaram que havia agitação das “moléculas” e o professor chamou atenção sobre o vínculo entre elas ser muito pequeno. Partindo deste modelo, tentou-se explicar o experimento de aquecimento e ebulição da água.

Lembrando que com fornecimento de calor a temperatura da água elevava até certo ponto, o professor questionou os estudantes para pensarem o que o calor estava fazendo com as moléculas da água. O professor tentou chamar atenção à transformação da água líquida em vapor e disse que durante esse momento a temperatura não está mudando. Enfatizou que para haver a mudança de fase é preciso romper as ligações entre as moléculas, com ajuda do calor, mas perguntou o que deveria ocorrer então com as moléculas de água enquanto não houvesse o rompimento. Foi dito que o calor estava aquecendo a água. Questionados sobre o que seria isso, pensando em termos de moléculas, responderam que seria o aumento da agitação. O diálogo seguiu com uma síntese por parte do professor.

Pela descrição acima podemos notar o papel fundamental do *modelo representacional* para que os estudantes entendessem a configuração das moléculas de um sólido (bolas de isopor) e as ligações intermoleculares (molas). Assim, essa atividade experimental permite modelizar conceitualmente o fenômeno físico, assumindo características de uma atividade do tipo **modelização**. Além disso, essa atividade, por permitir a construção do conceito de temperatura na visão submicroscópica, também pode ser caracterizada como de **compartilhamento**. Mas como as variáveis precisam estar bem evidentes é fundamental que o professor conduza com clareza o “batismo” delas; algo que não foi bem explorado neste caso. O compartilhamento de significados é necessário e esse modelo representacional tem bastante potencial para isso.

Com outro experimento, a “panela de papel”, o professor criou uma situação para aplicar o modelo explicativo criado acima. Primeiramente, mostrou que o papel a ser utilizado na “panela” queimava quando em contato com uma chama, e estabeleceu um diálogo para que o fenômeno da combustão fosse explicado. Um estudante falou que o fogo aqueceu o papel, aumentando a energia cinética das moléculas até que em um ponto houve o rompimento das ligações e o papel começou a pegar fogo. O professor afirmou que o papel precisava atingir certa temperatura para entrar em combustão. Ele pegou uma caixinha com o mesmo tipo de papel, encheu-a de água, acendeu uma vela e colocou-a por baixo da caixa. Devido ao papel não queimar mesmo depois de certo tempo, uma estudante afirmou que a água não está deixando o papel atingir a temperatura e outras manifestações sobre o papel estar conduzindo energia surgem. O professor comentou que a temperatura de combustão do papel é cerca de 200 °C, e que na situação em que havia água ele não queimou. Quando houve a queima, havia somente ar, conforme estudantes. Diante disso o professor gerou uma discussão sobre condutividade dos materiais, comparando papel e metal.

Neste momento, realizou-se um experimento mental, pensando em uma barra que atravessasse a sala: ao encostar uma vela em uma ponta o que deveria estar ocorrendo de diferente com as moléculas nas extremidades? Os estudantes afirmaram que a energia cinética seria diferente. O professor disse que, pela ligação entre as moléculas, a energia cinética seria transmitida e cedida de molécula em molécula, momento em que uma estudante falou que ainda haveria a diferença de temperatura nessa situação. O professor concordou e completou, dizendo que ao longo de muito tempo todo o material atingiria a mesma temperatura. A partir disso, questionou caso fosse o ar. Os estudantes afirmaram que a ligação é muito baixa entre as moléculas e isso foi usado para falar então da baixa condutividade de calor pelo ar. Foram apresentadas duas representações (maquetes com bolinhas de isopor e palitos) de estruturas cristalinas, uma da face cúbica centrada e outra da face centrada. Trabalhou-se com elas para conceituar condutividade segundo o número de ligações entre moléculas/átomos.

Esse último experimento pode até ter surpreendido alguns estudantes, mas como não houve tentativa expressiva do professor em explicitar as expectativas deles se o papel queimaria ou não, não é possível caracterizar aspectos de conflito cognitivo, apesar da possibilidade. Essa atividade reforça o novo modelo explicativo ao aplicá-lo em uma situação ligeiramente diferente da qual ele emergiu (aquecimento e evaporação da água), aproximando-se do que chamamos

de **generalização**. A tentativa de usar “energia cinética das moléculas” e as “ligações intermoleculares” como elementos explicativos para a *condutibilidade térmica* indica o potencial desta atividade para atingir essa característica.

Com características de **comprovação**, duas atividades foram realizadas na sexta aula. Uma delas é “cascata de tachinhas”, em que o diálogo didático estava voltado para usar o modelo submicroscópico da matéria para explicar porque as ceras que seguram as tachinhas em pontos diferentes do fio de cobre demoram mais para derreter. Semelhante, mas com a finalidade de discutir sobre a *sensação térmica*, foi usado uma barra de metal e um pedaço de madeira de igual dimensão. Ambos os materiais eram encostados primeiro na chama de uma vela e depois em pedras de gelo. A condução do diálogo pelo professor, devemos avaliar, voltou-se à comprovação do modelo submicroscópico em outros fenômenos térmicos. O diálogo sobre essas atividades experimentais não trouxe resultados interessantes e não tivemos instrumentos aplicados neste dia para sabermos o impacto das AEs. Nas duas aulas seguintes não houve mais AEs, apenas a revisão para a avaliação (Teste 1 – Apêndice A) e sua aplicação, ambas solicitadas pelo professor titular.

Ao todo, 19 estudantes estavam presentes na aplicação do Teste 1. Destes, três responderam que temperatura é “a medida da quantidade de calor de uma substância” e um deles que era a “quantidade de calor trocada com outra substância”, ou seja, mantiveram pensamento substancialista. Os outros 15, cuja resposta era correta, podem ter superado esse obstáculo. Essa resistência é reforçada na questão 2, sobre o conceito de calor, visto que 5 afirmaram que calor é “o quanto de temperatura que o corpo possui ou consegue trocar com outro corpo”, e outros dois concordaram que é a “quantidade de energia que uma substância possui em seu interior”. Novamente, o pensamento substancialista aparece na questão 3, mas agora juntamente com o da *experiência primeira*, pois dois estudantes afirmaram que “o tato mede temperatura”, e quatro que “o tato indica que há bastante frio no gelo”. O pensamento da *experiência primeira* é também manifestado na questão 6, pois cinco estudantes afirmaram que “o tato mede a temperatura dos objetos que tocamos”. Somente 1 (um) estudante afirmou, na questão 4, que a luva possuía calor, os demais disseram que ela é isolante térmico. Na questão 5 a resposta equivocada de 7 estudantes chama atenção para a clareza com que se devem realizar os experimentos e suas discussões.

Esse teste chama atenção para a necessidade de realizar uma atividade experimental, na próxima etapa de aplicação da pesquisa, que permita a discussão do pensamento substancialista e a sua superação. Entendemos que o ato de esfregar as mãos seja suficiente. O aumento de temperatura das duas mãos ao mesmo tempo não é explicado satisfatoriamente se pensarmos que para aquecer a mão é preciso que a outra ceda calor; já que ambas aquecem, absorveriam calor da outra mão ao mesmo tempo em que cederiam.

3.4 ELABORANDO A SEQUÊNCIA DIDÁTICA: REFLEXOS DA SONDAGEM

Partindo dos obstáculos levantados anteriormente e do que presenciamos nas aulas durante a Sondagem, elaboramos cerca de 6 horas-aulas – explicitadas no Quadro 3.9 – prevendo que os obstáculos levantados na Sondagem fossem se mostrar ao longo da SD da pesquisa. Como reflexo do ocorrido na Sondagem, no Apêndice C há o planejamento detalhado de 8 aulas. As duas últimas horas-aulas não estão detalhadas nos quadros a seguir por estarem previstas para a aplicação de testes.

Nota-se que partimos do pressuposto que os obstáculos da *experiência primeira* e do *pensamento substancialista*, como dificuldade para aprendizado dos conceitos, são os mais frequentes. No entanto, como a identificação das representações dos estudantes e dos obstáculos de aprendizagem se dá ao longo do diálogo didático, o professor-pesquisador não pode compreender essa proposta como uma sequência rígida e linear.

Quadro 3.9 – Planejamento das aulas do Ensaio Piloto

Aula	Objetivos
Nº 1	<ul style="list-style-type: none"> • Aplicar questionário para sondar as representações dos estudantes; • Realizar atividade experimental de sondagem ao tocar em diversos materiais; • Manifestar as representações dos estudantes sobre se um objeto é quente ou frio.
Nº 2	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar atividade experimental conflitiva (com os copos de água a diferentes temperaturas) para discutir se o tato mede temperatura; • Sondar as representações dos estudantes sobre temperatura e calor.
Nº 3	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar atividade experimental crítica (aquecimento e ebulição da água) para discutir se temperatura é a medida do calor.
Nº 4	<ul style="list-style-type: none"> • Construir o conceito submicroscópico de temperatura a partir de modelos representacionais (quadro com bolas de isopor presas por molas e modelo cinético dos gases com bolas de isopor movimentadas por um pistão);

Aula	Objetivos
	<ul style="list-style-type: none"> • Conceituar e diferenciar calor e temperatura.
Nº 5	<ul style="list-style-type: none"> • Caracterizar a sensação térmica em termos da condutividade térmica dos objetos tocados; • Utilizar modelo em forma de maquete da estrutura cristalina de sólidos; • Aplicar os conceitos para explicar os fenômenos observados anteriormente.
Nº 6	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar atividade experimental conflitiva (panela de papel) • Exercitar o uso dos conceitos em uma situação nova.

Enquanto no Quadro 3.9 temos uma breve descrição metodológica das aulas, expomos objetivos didáticos no Quadro 3.10 com base no trabalho de Astolfi (1993). Outro detalhe é que em ambos quadros há planejamento só até a sexta aula, isso porque a duas últimas horas-aulas estão previstas para realizar a avaliação padrão da disciplina e a sua revisão, requeridas pelos professores titulares da disciplina e as instituições que representam. A sétima aula seria para dar continuidade às atividades não concluídas nas aulas anteriores, caso houvesse necessidade, não teria um objetivo específico visando os obstáculos, apesar de poder ser pensada em termos de automatização do novo modelo explicativo.

Quadro 3.10 – Proposta para trabalhar os obstáculos nas aulas

Aula	Objetivo-Obstáculo	Manifestações esperadas
Nº 1	Identificação: <i>Experiência primeira</i> e do Pensamento Substancialista.	Sensação térmica e temperatura
Nº 2	Fissuração: <i>Experiência primeira.</i>	Tato mede temperatura
	Identificação: Substancialismo	Calor como substância
Nº 3	Fissuração: Substancialismo	Calor do corpo; Temperatura é a medida do calor do corpo
Nº 4	Superação (parte da etapa): Substancialismo; <i>Experiência</i>	Calor do corpo; Temperatura é a medida

Aula	Objetivo-Obstáculo	Manifestações esperadas
	<i>primeira;</i>	do calor do corpo
	Identificação e Fissuração: Obstáculos ontológicos e verbais	Calor como ente material; Modelização de entes submicroscópicos; Calor e temperatura são sinônimos
Nº 5	Fissuração e Superação: Substancialismo	Calor como substância
	Identificação e Fissuração: <i>Experiência primeira;</i>	Tato mede temperatura
	Superação: Obstáculos ontológicos e didáticos	Visualizar e modelizar o fenômeno microscopicamente
Nº 6	Fissuração e superação: <i>Experiência primeira.</i>	Calor e combustão

Lembramos que um aparato experimental muito provavelmente assumirá diversas classes de atividade experimental durante o diálogo didático e pode ser usado em diversas aulas ao longo da SD.

Esse processo de reflexão da Sondagem (fechamento de um ciclo da Pesquisa-Ação) evidenciou a necessidade de vários ajustes na pesquisa, tanto de ordem didática quanto de ordem operacional. Como o modo como os estudantes estavam respondendo aos instrumentos não foi adequado, era preciso aprimorá-los: evitar que um estudante preencha as respostas de colegas; o momento de responder as questões precisa ser mais explícito; e maior clareza nos enunciados. Como os obstáculos de aprendizagem da *experiência primeira* e do *pensamento substancialista* se mostraram mais persistentes, era preciso rever os objetivos-obstáculos de cada aula e elaborar novas AEs. Diante disso, houve a necessidade de aplicarmos um Ensaio Piloto antes da etapa final da pesquisa.

CAPÍTULO IV – ENSAIO PILOTO

Realizamos o piloto em uma escola pública catarinense também localizada em Florianópolis. Selecionamos uma turma de Física do 2º ano do Ensino Médio com 26 estudantes e aplicamos o projeto assim que o ano letivo começou, de forma que não haviam entrado em contato com o assunto de Física Térmica. Os quatro encontros ocorreram cada um com 2 horas-aulas, totalizando 8 horas-aulas. Antecipamos que, frente aos obstáculos de aprendizagem enfrentados, tivemos de mudar o planejado (proposta no Apêndice C). Estendemos as aulas 3 e 4 de modo a melhor discutir as AEs realizadas nelas e os obstáculos. Consequentemente, também pelas solicitações do professor-titular por uma avaliação no último encontro, não realizamos AEs “de reforço” planejadas para as duas últimas aulas.

No primeiro encontro, explicamos resumidamente aos estudantes sobre o projeto, os procedimentos da pesquisa, a participação deles e aplicamos o questionário. Durante estas aulas realizamos duas AEs, cujo diálogo estabelecido forneceu representações semelhantes ao que encontramos na Sondagem e previstas em nossas categorias de análise.

Na segunda semana houve alteração no cronograma. Era preciso trabalhar melhor os conceitos e os obstáculos manifestados por meio dos dados levantados no primeiro encontro. Por consequência, repetimos e discutimos mais profundamente na terceira semana as AEs realizadas no segundo encontro. Pudemos identificar manifestações de nossas categorias de análise, especialmente na atividade de medição de temperatura da água em ebulição.

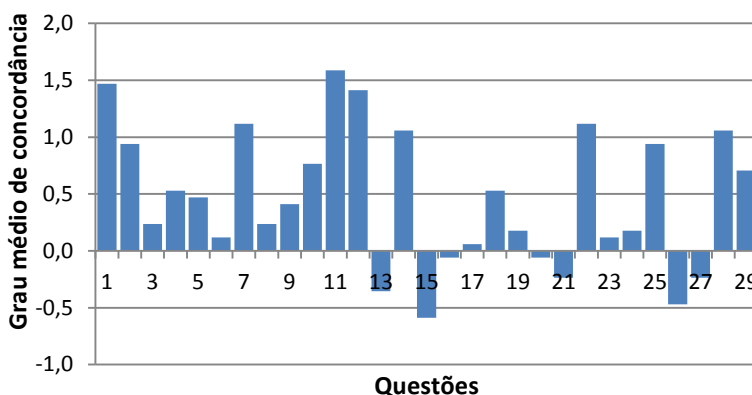
Nas semanas finais encontramos várias situações para refletir sobre os processos necessários para a superação de obstáculos de aprendizagem. Os resultados, ao olharmos para nossas categorias de análise e para as ações didáticas realizadas, provocam uma nova discussão acerca da caracterização de uma atividade experimental no ensino construtivista.

Neste capítulo avaliaremos os instrumentos usados no Ensaio Piloto – se atingem os propósitos – e as ações didáticas envolvendo o uso de AEs – para ajustá-las para a etapa final da pesquisa. Começaremos pelos resultados do questionário e depois serão trazidos alguns dados coletados nos roteiros para caracterizar efeitos das AEs nas aulas. Orientamos esta análise pela manifestação das categorias teóricas (ver seção 2.3), ou seja, buscamos por trechos que evidenciavam características das AEs ou de obstáculos de aprendizagem.

4.1 DADOS DO QUESTIONÁRIO P

Tendo a finalidade de detectar manifestações de obstáculos de aprendizagem usamos do Questionário P (Apêndice B), que é um aprimoramento do Q2 (ver seção 3.1 e Apêndice A). Optamos por usá-lo já que permite evidenciarmos, a partir da certeza que o estudante expressa nas afirmações, a presença dos obstáculos de aprendizagem e a tendência de pensamento na turma. Esses dados são apresentados na Figura 4.1 e nas Tabelas 3 e 4.

Figura 4.1 – Distribuição média das respostas dos estudantes ao Q-P



Legenda: Valores mais próximo de 2,0 apresentam uma frequência elevada de respostas de total concordância. Valores positivos indicam maior concordância que discordância.

Fonte: Dados da pesquisa

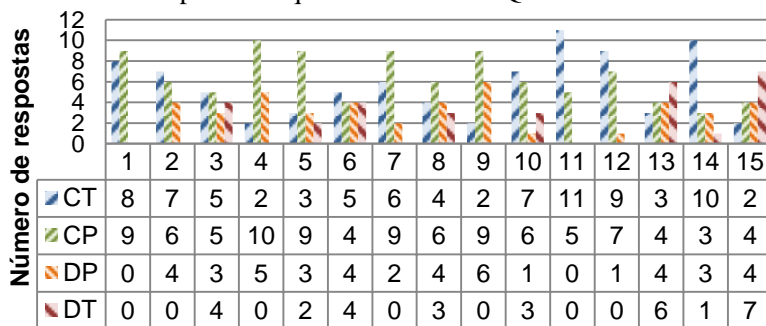
Embora a escala de Likert possa oferecer a tendência das respostas dos estudantes, não é indicativo direto para eles que o item “concordo totalmente” seja simetricamente oposto em grau ao “discordo totalmente” e, também, não se sabe o quão intenso significa “parcialmente”. Cientes disso, e a título de referência, temos no gráfico da Figura 4.1 o levantamento do grau médio da concordância de 17 estudantes da turma piloto sobre as afirmações dos itens no Questionário P (Q-P). Somente na questão 11 ocorreu de um dos estudantes não a ter respondido. Para a construção deste gráfico foi atribuído o grau 2 para respostas “concordo totalmente” e 1 para “concordo parcialmente”, as respostas dos correspondentes “discordo totalmente” e “discordo parcialmente” receberam graus de mesmo módulo mas negativos, para

destacar a oposição. Por isso, quanto mais próximo de zero for o grau médio, mais as respostas se aproximam de uma distribuição normal.

Em um olhar mais geral, as respostas referentes às questões 1, 7, 11 e 12 expõem bastante confiança, visto que o grau médio foi superior a 1. Partindo delas, temos indicativos de como a *experiência primeira* mostra-se presente no modo de pensar dos estudantes. Juntamente, mostra-se forte vínculo com o pensamento substancialista, pois o calor é armazenado nos corpos, pode ser sentido pelo tato e provoca o aumento da temperatura dos objetos. Ainda que haja uma divisão da turma entre calor como evento e como matéria, podemos contrastar as questões 22, 23, 24 e 25 e apontar a existência do obstáculo ontológico quanto a não caracterizar calor como evento. Apesar de na questão 22 considerarem legítimo pensar em termos de moléculas, e que calor seja um evento, a questão 25 reforça a existência do obstáculo substancialista quanto ao conceito de energia.

Devemos admitir que essa forma de analisar esse tipo de escala é limitada, já que detalhes podem ser omitidos por respostas opostas. Por exemplo: estudantes podem concordar totalmente com alguma afirmação, manifestando certos obstáculos, e esse dados serem omitidos no gráfico porque outro grupo de estudantes discordou totalmente. Diante disso, trazemos na Tabela 4.3 dados da frequência dos índices da escala para as 15 primeiras questões e, na Tabela 4.4, os valores correspondentes às questões 16 a 29. Os índices foram reduzidos a siglas: “C” significa concordo, “D” discordo, “T” totalmente e “P” parcialmente. Logo, “CT”, por exemplo, significa concordo totalmente.

Tabela 4.3 – Respostas às questões 1 a 15 do Questionário P



Distribuição do grau de concordância por questão

Fonte: Dados da pesquisa

Na primeira questão, ao concordarem com que o tato é medidor de temperatura, temos a manifestação do obstáculo da *experiência primeira*, reforçado na questão 2, pois boa parte dos estudantes concorda com o tato também medir o calor do corpo. Quando 5 respostas apontam na questão 3 que o metal é sempre mais frio que a madeira, fica mais evidente que a *experiência primeira* está bastante presente. A afirmação parece (para os estudantes) certa demais e nem mesmo pensaram que um metal pode ser levado ao fogo e falsear a afirmação desta questão.

Encontramos confusão nos dados das questões 4, 5 e 6, pois boa parte dos estudantes primeiramente concordou que a roupa aquece e também mantém a temperatura do corpo. Ao questionarmos se o calor do corpo humano que seria mantido armazenado, houve distribuição quase homogênea das respostas, mas com um número maior de concordância total. Contrastando resultados das questões 4 e 6 extraímos que pensam o tecido como uma fonte de calor, pois para 12 estudantes há aquecimento do corpo humano por causa do tecido e 8 discordam que o calor seja do corpo. Esse aspecto fortalece a manifestação do *pensamento substancialista* especialmente apontado nas questões 7 a 10, principalmente na sétima, já que a maioria dos estudantes afirma que o vapor **tem** mais calor que o gelo.

Na questão 8 várias respostas apontam vínculo forte entre o fenômeno de aquecimento e o acúmulo de calor, pois afirmam não haver resfriamento de qualquer um dos corpos em contato durante a troca de calor. Portanto, para eles, só há aumento da temperatura. Isso deixa em aberto se haveria outro fator responsável para explicar o resfriamento. Já na questão 10, boa parte considera que a substância “frio” existe nos corpos. A visão substancialista de calor aparece também na questão 15, pois, para os estudantes, o aquecimento da mão durante a fricção exige a troca de calor entre as mãos.

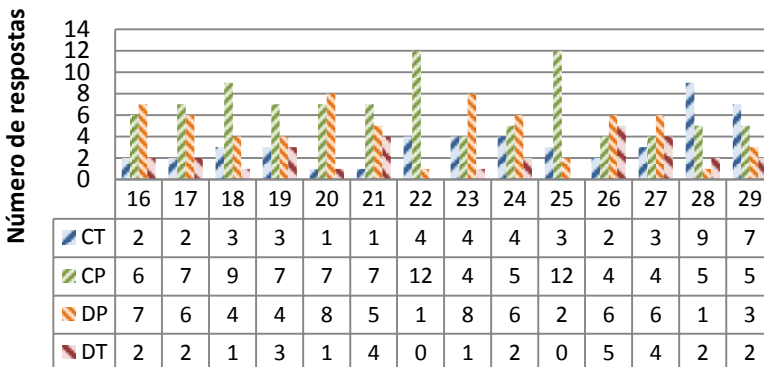
Essa consideração da existência das substâncias *calor* e *frio* são decorrentes da proximidade entre o obstáculo substancialista – manifestado nas respostas – com a atitude empírica da *experiência primeira*, que gera a confiança no tato, na sensação térmica. São afirmações legitimadas pelo pensamento realista. Podemos entender que essa forma de pensar o calor estaria vinculada à concepção ontológica de calor como matéria. No entanto, os dados das questões 17 e 18 (Tabela 4.4), que dizem respeito ao pensamento submicroscópico dos fenômenos (manifestação de obstáculos didáticos e ontológicos), são menos expressivos. A forma quase gaussiana com que as respostas se

distribuíram mostra que poucos estudantes manifestaram discordância quanto ao uso de moléculas para explicar fenômenos térmicos.

Essa distribuição também ocorreu de forma semelhante nas questões 19 e 20. A questão 21 pode ser contrastada com a questão 19, identificando que alguns estudantes insistem na necessidade de haver matéria para conduzir calor, enquanto outros já consideram que calor possa ser transmitido de outras formas. No entanto, há aparente contradição dos estudantes com a resposta dada na questão 22, uma vez que boa parte havia dito que não é somente matéria que conduz calor, mas concordaram com as moléculas poderem transferir calor sob a forma de energia. Chama atenção nesta questão o alto índice de concordância, reforçando que os estudantes não apresentam resistência para fazer uso de moléculas para entender o fenômeno. Porém, o termo energia pode ter sido o grande catalisador dessa concordância, e deve ser levado em consideração que “energia” possa vir a se tornar um obstáculo verbal ao encerrar uma explicação em si e ao atribuir um grau de naturalidade ao fenômeno. A preocupação aumenta quando levamos em consideração a questão 25, pois ao concordarem que os corpos *trocam* energia estão manifestando o *pensamento substancialista* e reforçando como o termo energia pode ser um obstáculo verbal.

O *pensamento substancialista* é manifestado novamente nas respostas às questões 23 e 24, pois 8 estudantes concordaram que calor corresponde a um tipo de substância, contrastando com os 9 que

Tabela 4.4 – Respostas às questões 16 a 29 do Questionário P



Distribuição do grau de concordância por questão

Fonte: Dados da pesquisa

afirmaram que seria um evento. É interessante que, esses 9 estudantes ao concordarem que calor seja algo como um evento, não estariam manifestando o obstáculo ontológico. Na questão 26, temos manifestado em 11 respostas que energia é algo concreto e, nas questões 22 e 23, vários estudantes já havia apontado que calor é troca de energia e, na questão 24, que calor era um evento, não uma substância. Resumindo, consideraram calor como evento e, ao mesmo tempo, como troca de um ente material, a energia.

Nas últimas questões é interessante que muitos estudantes atribuem significado de frio e quente mais em termos de temperatura do que calor. Contudo, 7 concordaram que *calor* é sinônimo de *quente* (questão 27) e 14 concordaram na questão 28 que *quente* tenha mesmo significado que temperatura alta. Reforçamos desta forma como o termo *quente* manifesta-se como um obstáculo verbal por ser utilizado para encerrar uma discussão e poder ocultar diversas representações.

4.2 ENCONTRO 1 – AULAS I E II

4.2.1 “Quente ou Frio”

No primeiro contato com os estudantes foi entregue o Questionário P (Apêndice B) para responderem. Ao término, foi solicitado um voluntário para a atividade que seria realizada logo em seguida, em que ele seria vendado. Foi entregue a folha de respostas da atividade (Atividade Experimental I-P no Apêndice B), cujo título era “quente ou frio”, em que registrariam se consideravam alguns objetos como quentes ou frios.

Na Tabela 4.5 temos as expectativas de 14 estudantes (3 não responderam) para cada material, e podemos detectar a forte relação entre metal e frio, bem como tecido e quente, que podem ser entendidas como manifestações do obstáculo da *experiência primeira*. O contato diário com esses materiais, baseado em uma atitude empírica pré-científica, constrói representações (o metal é frio, o tecido é quente) por meio de uma sobreposição de imagens, de “fatos”, provocando na caracterização de que o metal é “naturalmente” frio. Isso também ocorreu em uma representação oposta, quando o estudante disse que o metal esquenta sozinho mesmo na temperatura de hoje e que sob o Sol ele pegará fogo.

Tabela 4.5 – Expectativas dos estudantes de materiais quentes/frios

Material	Quente (Nº de respostas)	Morno (Nº de respostas)	Frio (Nº de respostas)
Madeira	1	6	7
Tecido	4	7	3
Isopor	1	9	4
Metal			14
Plástico	1	9	4
Vidro		2	12

Fonte: Dados da Pesquisa

Muitos estudantes não registraram os motivos de seus palpites nos quadros do roteiro da Atividade Experimental I-P (Apêndice B), o que nos faz repensar a forma com que as questões estão elaboradas e como o professor deve orientar para respondê-las. De qualquer forma, das 14 fichas devolvidas, destacamos 3 respostas diferenciadas para o primeiro quadro, pois em 11 temos respostas similares, em que os

estudantes reforçaram a ideia que só pelo contato que é possível saber se o material é quente ou frio ou se era uma característica do material, por exemplo: “Teve 3 diferenças. É difícil deduzir sem tocar no objeto” e “Sim, pela característica do objeto”. Nas três respostas que não se focaram nas primeiras impressões, um estudante afirmou que [i] “coloquei a maioria morno porque alguns materiais não tem temperatura certa”, outro disse que certo objeto [ii] “em si era ‘frio’, mas a temperatura da mão do colega ‘mudou’ a temperatura do objeto!” e o último disse que a [iii] “madeira é má condutora de energia e o plástico também”. Sobre a primeira resposta podemos destacar que considera a temperatura como algo variável, mas ainda considera que existam substâncias naturalmente quentes ou frias, pois tanto o metal quanto o vidro foram ditos como frios, e podemos inferir que para esse estudante o tato indica a temperatura do objeto tocado.

Temos dois elementos interessantes para discutir a segunda resposta. Primeiro, o estudante diz que certo objeto tem como característica ser “frio”, o que nos dá a entender que, para ele, ser frio é o *natural* daquele material. Depois, frente à discussão ocorrida durante a realização do experimento, o estudante considera que o tato não foi capaz de detectar o estado *natural* do objeto. Portanto, essa afirmação manifesta a presença dos obstáculos da *experiência primeira* e do *substancialismo*. Lembrando o discutido sobre Bachelard na seção 1.2, identificamos, no pensamento do estudante, a associação de imagens sem a devida reflexão quando ele não desiste da representação de que o objeto era frio (primeira imagem: metal frio) e a sobrepõe com a segunda imagem, a interferência da temperatura da pele de quem toca no objeto (resposta inesperada do tato), tentando encaixá-las. Portanto, o estudante ainda mantém forte ligação com as suas experiências cotidianas, explicitada pela representação do tato como medidor de temperatura, mesmo após a discussão ocorrida na atividade experimental.

Na terceira resposta, foi feito uso de termos inesperados. Madeira e plástico foram os materiais cujas expectativas deste estudante foram diferentes das respostas do colega vendado. Ambos foram dados como frios pelo tato, mas a expectativa do estudante em questão era que o plástico fosse quente e a madeira morna. Segundo ele, esses materiais são maus condutores de energia. Não nos parece que ele tenha respondido sobre a origem do seu palpite, mas podemos inferir que, a partir da acusação do colega, disse que os objetos são frios por serem maus condutores de energia. E por serem frios segundo o tato, ele provavelmente relacionaria, na situação oposta, a sensação térmica de

quente à capacidade de conduzir energia, e, então, que corpos frios são incapazes de fazê-lo. Todavia, não podemos afirmar que seja manifestação de obstáculo substancialista ou da *experiência primeira*, ainda que demonstra o antagonismo entre a sensação de frio e a de quente, que o sentir frio seria um fenômeno diferente do sentir quente; assim, então, é indicativo desses obstáculos, mas ainda não é uma manifestação clara dos mesmos. Em contrapartida, podemos relacionar a resposta ao obstáculo verbal, visto que a expressão “condução de energia” foi usada de forma a encerrar a explicação, pois não comentou sobre o tato ou sensação térmica em si.

Olhando para as AEs, voltamos para a segunda resposta, em que o estudante afirmou que certo objeto era frio, mas a temperatura do objeto foi “mudada” pela temperatura da mão do colega. Desta forma, essa atividade experimental permitiu a manifestação de obstáculos, cumprindo a sua característica (proposta no planejamento) de *sondagem* das representações dos estudantes. Ao mesmo tempo, podemos notar como ela permitiu instaurar uma situação de conflito cognitivo neste estudante, e a resposta (de que o objeto é frio, mas isso também depende do tato) mostra-se inconsistente, identificando que optou pela manutenção da sua representação (CHINN; BREWER, 1993), ajustando-a à nova informação.

Quando o estudante vendado encostou o objeto no rosto, essa atividade experimental inicialmente planejada para ser de *sondagem* começou a proporcionar o *compartilhamento* de significados entre os estudantes. Caio¹⁷ disse: “é que a minha mão tá muito quente”. Isso nos indica que ele reconheceu que a mão influenciava na sensação térmica. Depois justifica novamente “se a minha mão tá quente eu encosto na testa, eu só vou sentir que ela está quente se tiver com a temperatura mais elevada que a minha mão, bem mais, daí eu sinto que ela tá bem quente. Mas se ela não estiver na temperatura mais elevada, vai estar quentinho, vai tá normal”. Em outros termos, permitiu criar um ambiente em que o fenômeno (sensação térmica) passasse a ser observado de uma mesma maneira (depende da temperatura da mão e do objeto tocado), assumindo características de atividade experimental de compartilhamento.

Após a realização da atividade experimental, o professor não trouxe à tona as explicações dos estudantes (anotadas nas folhas de resposta) sobre a origem de seus palpites. Pelas três respostas selecionadas anteriormente, notamos que o professor acabou perdendo

¹⁷ Todos os nomes utilizados ao longo desta dissertação são fictícios.

bons elementos de discussão que permitiriam a tomada de consciência por parte dos estudantes das diversas representações na turma. Desta forma, a atividade experimental permitiu estabelecer a etapa de Identificação – necessária para a superação de obstáculos –, mas a discussão não foi conduzida da melhor maneira para efetivá-la.

4.2.2 Água quente, morna e fria

Nesta atividade experimental três copos foram preenchidos com água líquida a diferentes temperaturas, cuja diferença fosse o suficiente para o tato acusá-la. Enquanto os copos eram preenchidos, foi entregue um roteiro de acompanhamento da atividade (Atividade Experimental II-P - Apêndice B) para cada grupo. Depois de marcarem em qual copo haveria água quente, morna ou fria, deveriam responder até a terceira questão. Primeiro mergulhar os dedos na água do copo A e depois mergulhá-los na água do copo B e, por fim, repetir o processo, mas agora mergulhando em C e depois em B. Devemos salientar que essa atividade foi realizada e justificada porque os estudantes apontaram a necessidade de comparar os corpos, por meio do tato, para dizer se a água estava quente ou fria.

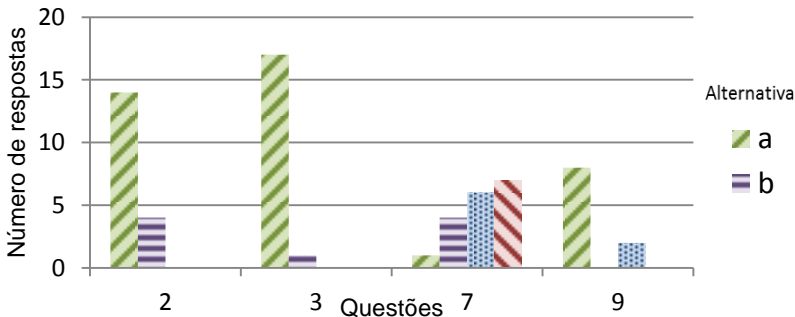
A primeira questão do roteiro da Atividade Experimental II-P tinha a finalidade de orientar os estudantes para as próximas questões e para as discussões, a segunda e a terceira questões foram pensadas para identificar as representações dos estudantes e eventuais mudanças nelas, tendo como principal finalidade manifestar os obstáculos de aprendizagem. Na questão 2, todos apontaram que consideravam a mão como um mecanismo indicador de temperatura dos objetos; um grupo com 4 integrantes por algum motivo, aparentemente confusão, havia acusado a água no copo A como fria, mas que a temperatura dela era maior que a do copo C. Das respostas à terceira questão podemos extrair manifestações do obstáculo do *pensamento substancialista*, visto que apontaram a água no copo C como maior detentora de calor que a água do copo em B. Uma dupla acusou que tanto a água no copo C tem mais calor que a do copo B quanto a água do copo A tem mais frio que calor, ou seja, manifestou o *pensamento substancialista* e consideravam a existência de duas características internas, as substâncias calor e frio. Esses resultados, presentes nos registros das fichas, não foram expostos à turma.

Os resultados da questão 5 mostram que para dois grupos a água no copo B foi dita morna quando tiraram a mão do copo C e colocaram em B, enquanto os demais disseram que a água no copo B estava fria.

No entanto, isso não parece ter afetado o diálogo em sala de aula, pois boa parte da turma apontou que a sensação térmica sobre a água no copo B havia mudado. De forma semelhante, a maior parte da turma acusou que ao retirar os dedos da água em A e mergulhá-los imediatamente em B, a água em B continuava morna. É importante apontar que, no roteiro de cada grupo, pelo menos em uma situação a água em B acusou outra sensação além de morno. Notamos nesta questão certa falha na aplicação do instrumento, visto que nem todos registraram suas respostas individuais. Por exemplo, membros de um grupo assinalaram uma única resposta, mas muito tempo depois voltaram a discutir porque para alguns a sensação foi de quente e, para outros, de morno.

Na questão 6 do roteiro de atividade foi solicitado o uso de um termômetro para medir a temperatura da água em cada copo. Chamamos atenção que o professor chegou a questionar os estudantes se sabiam fazer uso do termômetro, mas não houve uma explicação adequada de como tirar medidas com ele; e muitos reclamam de não entender como proceder. Apesar disso, foram frequentes os pedidos do professor por agilidade, mostrando que precisava que extraíssem dados antes do término da aula. O professor ofuscou a problematização que havia durante a aula e simplesmente pediu que anotassem os dados no roteiro de atividade quando o marcador do termômetro estabilizasse. Em outras palavras, omitiu-se o processo de preparação daquilo que se quer mensurar e fazer no experimento (a *fenomenotécnica*). Fazendo uma vigilância epistemológica, podemos dizer que o professor, ao suprimir a reflexão sobre o que será observado e o como fazê-lo (operar os instrumentos, por exemplo), reforçou o obstáculo da *experiência primeira*.

Figura 4.2 – Respostas a questões do roteiro Atividade Experimental II-P



Na Figura 4.2 trazemos a distribuição de respostas dos estudantes para as questões 2, 3, 7 e 9. Selecionamos estas porque: a segunda e a terceira questões juntas permitem apontar se os estudantes vinculavam temperatura e calor e, ao mesmo tempo, se manifestavam o *pensamento substancialista*; a sétima e a nona questões mostram se houve alguma mudança no pensamento dos estudantes referente à relação entre sensação térmica e temperatura após a realização das AEs destas aulas.

Podemos encontrar o *pensamento substancialista* manifestado nas respostas à questão 3 (Figura 4.2). Nela, 17 estudantes apontaram que a água no copo C possui mais calor que a água do copo A. Podemos inferir, destes resultados contrastados à questão 2, de que temperatura e calor estão fortemente vinculados para os estudantes, visto que 14 deles haviam assinalado na questão 2 que o copo C possui maior temperatura.

Na questão 7 (Figura 4.2), conforme os estudantes o tato acusa: 1 (um) disse que (a) a temperatura da água; quatro afirmaram que (b) o calor que está armazenado na água; seis concordaram com (c) a troca de calor entre minha mão e a água; os sete restantes concordaram com (d) a diferença de temperatura entre minha mão e a água. O estudante que afirmou a alternativa a demonstra a forte presença do obstáculo da *experiência primeira*, assim como os 4 estudantes, que também manifestaram o obstáculo substancialista, ao selecionarem a alternativa b.

As duas últimas alternativas (c e d) aproximam-se de uma explicação mais adequada do fenômeno físico da sensação térmica. Porém, deixamos as duas alternativas para identificar se as representações dos estudantes têm vínculo com o *pensamento substancialista*, o que é notado na resposta dos seis estudantes, que negaram o tato como medidor de temperatura, mas ainda consideraram que um objeto com certa temperatura cede calor para outro. Sendo assim, evidenciamos como a atividade experimental dos copos permitiu a mudança na representação de 13 estudantes sobre o tato, aproximando-se de uma concepção menos ingênua sobre o mesmo. Essa atividade permitiu a configuração de um conflito cognitivo ao mesmo tempo em que permitiu a emergência de outra explicação para o fenômeno, para a sensação térmica.

Após medirem a temperatura dos três objetos, os estudantes responderam a questão 9, novamente sobre o tato, feita para contrastar com as anteriores; infelizmente só 3 grupos responderam-na. Um grupo mediu pelo termômetro que as temperaturas eram diferentes (metal: 25,0 °C; madeira: 28,5 °C; e pano: 29,0 °C), e como consequência direta respondeu que (a) o tato mede temperaturas diferentes. Outro grupo

respondeu que o metal tem temperatura mais baixa que a da madeira, entretanto, havia encontrado valores idênticos de temperatura para os materiais. Esses estudantes, durante a aula, haviam dito que o metal e a madeira têm temperaturas diferentes porque “são objetos diferentes”. O último grupo respondeu que o (c) “pano esquenta a minha mão”, mostrando que a atitude empírica da *experiência primeira* mantém algumas imagens no pensamento dos estudantes, mas ao menos desvincularam tato e temperatura depois das AEs realizadas.

Mesmo após toda a turma ter feito a segunda atividade experimental, em que o tato fora dito como falho para acusar temperatura, a tomada de medida de temperatura com o termômetro acusando os materiais com a mesma temperatura (para alguns grupos) surpreendeu os estudantes. Em outras palavras, apesar terem resolvido que o tato não mede a temperatura na atividade dos copos, eles mantiveram a representação de que o metal deveria ter menor temperatura que o pano. Essa resistência do modo de pensar reafirma a existência do obstáculo da *experiência primeira*. Se o objetivo da tomada de medida com o termômetro era causar um conflito sociocognitivo para fissurar esse obstáculo, isso não ocorreu nesta aula.

A atividade experimental dos copos contendo água a diferentes estados térmicos proporcionou o compartilhamento de significados para boa parte da turma, culminando em: a sensação térmica não mede a temperatura do objeto, pois depende da temperatura da nossa mão. Devemos salientar que ela também fora pensada para gerar um conflito sociocognitivo. Na primeira parte da atividade, os estudantes mantinham forte vínculo entre temperatura e tato, mas, na segunda parte da atividade, quando pelo tato a água no copo B foi dada como quente, morna e fria, podemos perceber que muitos mudaram de opinião. Todavia, o diálogo estabelecido não pode ser caracterizado como conflito sociocognitivo, uma vez que não houve a discussão entre todas as representações diferentes para chegar a uma convergência. Após o professor questionar a turma se seria coerente que a água no copo B fosse quente, fria e morna, as respostas que apareceram no final já eram convergentes entre si.

Também planejada para ser uma atividade experimental conflitiva, a mensuração da temperatura teria potencial para criar um conflito sociocognitivo, no entanto, o diálogo didático não permitiu que isso ocorresse de forma satisfatória. Nesse caso, o conflito sociocognitivo teria como meta fissurar o obstáculo da *experiência primeira*. Resumindo, podemos dizer que as AEs realizadas neste primeiro dia permitiram a Identificação de obstáculos e o início da

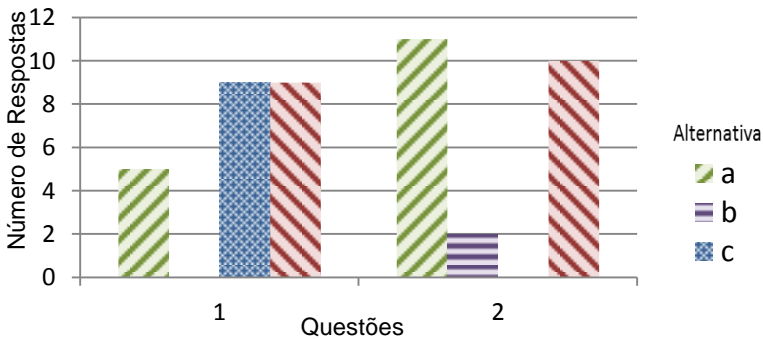
construção de um novo modelo explicativo, contudo, a Fissuração dos obstáculos não ocorreu de forma esperada.

4.3 ENCONTRO 2 – AULAS III E IV

4.3.1 Revisão e discussão da atividade dos copos

No planejamento (Apêndice C), o propósito da terceira aula era fissurar o obstáculo substancialista e, na quarta aula, construir um novo modelo representacional tal que promovesse a etapa de superação dos obstáculos de aprendizagem. No entanto, neste encontro, havia a presença de 26 estudantes, 9 a mais que no primeiro. Foi necessário revisar a atividade dos copos e discuti-la ao longo da terceira hora-aula. Trazemos na Figura 4.3 os resultados das duas primeiras questões do roteiro Atividade Experimental III-P (Apêndice B), que servem para identificar se essa discussão da AE dos três copos provocou alguma mudança no modo dos estudantes pensarem. O número total de respostas varia porque alguns estudantes não assinalaram algumas alternativas.

Figura 4.3 – Respostas às questões do roteiro Atividade Experimental III-P



Podemos evidenciar um número expressivo de estudantes que ainda mantinha forte vínculo com representações emergentes do obstáculo da *experiência primeira*. Na questão 1, 5 estudantes (alguns estavam presentes na aula anterior) mantiveram a ideia de que o tato mede a temperatura da água, mas devemos ressaltar que 18 optaram por uma afirmação mais reflexiva, o tato sente: (c) a troca de calor entre a mão e a água ou (d) a diferença de temperatura entre a mão e a água. Contudo, 9 deles optaram pela alternativa (c) que manifesta o obstáculo substancialista, pois o calor seria um ente material a ser transferido. Esse obstáculo também é manifestado por 2 estudantes que marcaram a

alternativa “b” da questão 2, pois afirmaram que há mais frio que calor no metal. Metade da turma afirmou que o tato indicava que o metal tem temperatura mais baixa que a madeira, mas os demais 10 estudantes apontam uma resposta mais coerente com o construído em sala de aula a partir das AEs: o metal deve transmitir mais calor que a madeira. Desse último resultado, juntamente com o da alternativa “d” da questão 1, podemos inferir que as AEs dos copos e a do estudante vendado, que tocava nos objetos, permitiram identificar causa e efeito e o batismo de conceitos durante o diálogo. Os estudantes apontaram que: a sensação térmica depende da diferença de temperatura entre o objeto e a mão; se o tato não mede a temperatura real do objeto, a sensação térmica ao tocar no metal indica que houve transmissão de calor entre ele e a mão.

Além dos 9 estudantes que não realizaram as primeiras atividades, pois estavam ausentes, muitos dos que estavam presentes no primeiro encontro também se mostravam “resistentes”. Podemos interpretar que é preciso um tempo relativamente grande para que haja a apreensão do ocorrido na atividade experimental, cujo principal aspecto era criar uma situação que se contrapusesse às representações dos estudantes. Como o próprio Astolfi (1993) salienta, o obstáculo se mostrará resistente, caso contrário não seria um. Essa aparente demora (por parte dos estudantes) em usar os resultados da atividade experimental como instrumento para analisar fenômenos térmicos, se olharmos a partir de Vigotski (2008), é dependente do processo de internalização. Devemos salientar que a discussão em grupo é um ponto importante nesse processo, ainda mais para aqueles estudantes que não se fizeram presentes na aula anterior.

Quando discutido sobre a sensação térmica evidenciamos como o *pensamento substancialista* está presente em alguns estudantes, em que calor seria um ente de corpos quentes e um indicativo do quão quente é um corpo, cuja quantidade reflete na temperatura. Por exemplo, Caio havia dito que: “Se a mão tá a 33 graus e você toca nisso aqui [apontando um objeto em sua mesa] [...] aqui você sente um calor.”. Em outro discussão, André gerou a pergunta: “a temperatura mede a presença de calor? Tipo, se for -50 graus? [...] teria calor ou menos calor?”. Em ambos os casos o professor não ressaltou o modo de pensar dos estudantes, era preciso discutir se o calor seria ou não algo presente nos objetos. Deveria ter sido trazido para a turma inteira e feito vínculo entre essas duas falas. Ambas as situações foram mal conduzidas pelo professor, e seriam importantes para o processo de Identificação por parte dos estudantes do *pensamento substancialista* e, potencialmente, gerar um conflito sociocognitivo. Deveria ter sido feita alguma

preparação para o próximo experimento (aquecimento da água), seja para elaborar perguntas ou pelo processo metacognitivo.

Devemos ressaltar que a Identificação dos obstáculos ficou sob domínio do professor-pesquisador, não havendo explicitação para os estudantes sobre os obstáculos presentes. Portanto, não foi realizada uma etapa de Identificação dos obstáculos em sua plenitude tal como proposto por Astolfi e Peterfalve (1997) e explicado na seção 1.3. Certamente, a falta de experiência do professor-pesquisador afetou esse processo, pois não soube conduzir os diálogos. Ficou evidente que, para aplicar a pesquisa final, vários aspectos didáticos precisam ser corrigidos além de melhor ajustar o uso das AEs. Isso reforça a necessidade deste Ensaio Piloto como etapa da Pesquisa-Ação, buscando a melhoria da prática do docente para empregar as AEs e suas discussões na superação de obstáculos de aprendizagem.

4.3.2 Aquecimento de água líquida.

Neste momento, o foco era na atividade experimental de aquecimento da água. Foi entregue o roteiro de atividade (Atividade Experimental III-P – Apêndice B) e dadas instruções sobre o seu preenchimento (analisamos as duas primeiras questões na seção anterior). De forma a preparar os estudantes sobre o que se deve observar nesta atividade, foi questionado como provocar e acompanhar o aumento de temperatura. À luz de Bachelard (1996), poderíamos dizer que a *fenomenotécnica* estava sendo preparada e a atividade se afastando da *experiência primeira*, embora esses aspectos não tenham sido explicitados aos estudantes. Quando indagados como poderia mudar a temperatura de uma quantidade de água, Caio respondeu: “esquentando (...) ou botando ela no freezer”. No diálogo, foi buscada novamente a expressão “troca de calor” e sua relação com o aumento de temperatura, de modo que isso fosse usado para analisar a atividade experimental que seria feita. Quando questionado o que significaria “esquentar”, os estudantes comentaram em “transferir calor para a água”, manifestando novamente o obstáculo do *pensamento substancialista*.

Sobre o processo de aquecimento da água, perguntou-se o que aconteceria com a água enquanto houvesse contato com o fogo. Vários estudantes enfatizaram a "evaporação da água. Tentou-se direcionar o diálogo para o que ocorre antes disso, e Tales falou em aumento de temperatura. Porém, a resposta de André causou um desconforto para o professor (essa explicação não era esperada), pois disse que aumentaria a agitação das moléculas. A atitude do professor foi pedir para

“guardarem” essa informação para ser discutida depois e focou na mudança de temperatura. Ao invés de se esquivar, poderia ter trabalhado sobre a impossibilidade de “acessar” as moléculas naquele momento ou discutido sobre como isso poderia ser explorado depois ou ajudar a entender os fenômenos.

Enquanto isso, Marcos – com o termômetro em mãos – falou novamente em “temperatura normal” da água quando iria medir a temperatura dela antes de aquecê-la. Assim, manifestou o obstáculo da *experiência primeira* mesmo após a realização da atividade experimental dos copos, em que teria havido conflito para diferenciar sensação térmica de temperatura.

O experimento de aquecimento da água demorou cerca de 20 minutos até todos terminarem. Quando chegava perto de 100 °C os estudantes chamavam o professor ou ele questionava-os sobre o que estava ocorrendo. Quando indagados sobre o que estava acontecendo com a água naquele momento, afirmaram que a água estava evaporando. Pediu-se que explicassem melhor o significado disso e Caio falou que “em vez de ser líquido ficava gasoso”.

Ao ser comentado sobre a troca de calor, apontaram que esse processo esquentava a água e quando estava a cerca de 100 °C havia ebulição, que a água líquida estava virando vapor. O professor enfatizou, então, que o calor estava aumentando a temperatura e depois só provocava a evaporação. Imediatamente, indagou os estudantes sobre o que diferenciava a água líquida da água em forma de vapor. Alguns tentaram explicar em termos de expansão do material, separação e agrupamento de moléculas e agitação delas. Neste momento, foi chamada atenção da turma, pois até agora as moléculas não estavam sendo usadas para explicar os fenômenos: “dá para explicar em termos de moléculas isso?”. Houve confirmação.

Essa atividade experimental do aquecimento da água mostrou sua capacidade de gerar conflitos com as expectativas dos estudantes e de abrir caminho para discutir a visão submicroscópica em fenômenos térmicos. Sobre esse aspecto, grupos registraram no quadro do roteiro o que estava ocorrendo com a água: [i] “temperatura máxima 98 graus, a água estava indo de líquido para o gasoso”; [ii] “Depois de atingir 100 °C a água começa a ebullir e a começa a evaporar”. Nessas respostas, os estudantes estavam conscientes da manutenção da temperatura da água, apesar da chama, e de que a evaporação da água havia sido acelerada.

4.4 ENCONTRO 3 – AULAS V E VI

4.4.1 Discussão sobre “troca de calor”

Para discutir mais sobre sensação térmica, o professor borrifou água na pele de Marcos, e questionou por que a sensação da presença de água na pele cessa após certo tempo. Marcos respondeu: “a água tá ficando na mesma temperatura do corpo”. O professor continuou: “e vai havendo o quê entre a água e a tua pele?”. “Transferência de calor”, disse Caio. Após, questionou-se se o calor seria trocado do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura, e André rapidamente afirmou que no sentido inverso também. Isso foi transmitido aos colegas, que discordaram e reafirmaram que o calor seria transmitido do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. Porém, André comentou que se um cubo de gelo estivesse encostado em outro objeto, o calor seria trocado do objeto para o gelo e deste para o objeto para “manter uma temperatura média entre os dois”.

Neste momento, Caio comentou que ao misturar água quente e água fria, a temperatura final de ambas as partes seria a mesma, mas com valor inferior ao da temperatura a que estava a água quente. Completado pelo professor: “se tivesse calor nos dois, teria que aumentar [a temperatura], mas não, fica a média”. Caio concordou e continuou: “teve que distribuir a temperatura. Então, na transmissão de calor [da água quente para a água morna], a temperatura [da água quente] tem que diminuir”. O professor reforçou e disse que o calor das duas partes de água não estava somando, assim como não se poderia dizer que dois corpos em contato somam calor. Diante dessa afirmação, André contestou “não falei que o calor somava”, mas que o calor era trocado entre os materiais. O diálogo se manteve nesse “duplo sentido” de troca de calor e ele comentou sobre a qualidade de frio, e imediatamente foi questionado se frio e calor existiriam. André replicou que o frio era ausência de calor. Nota-se como nos diálogos acima há várias manifestações do *pensamento substancialista*.

Após ser feita uma síntese do ocorrido na atividade experimental do aquecimento de água, os estudantes concordaram que a chama cedia calor que, por sua vez, aumentava de temperatura da água. Mas, notaram que a água não mudava mais de temperatura por volta de 100 °C. Caio e Tales esperavam que a temperatura da água deveria mudar e Caio indagou: “só se a água tá na mesma temperatura que a... que o fogo”. Retificado logo pelo professor, pois a chama estaria a mais de 600 °C.

Quando questionados sobre o que estava acontecendo com a água naquele momento, os estudantes afirmaram que a água estava evaporando. Ao explicarem melhor o significado disso, Tales falou que a água estava “sumindo, morrendo” e, depois, Caio falou que “em vez de ser líquido ficava gasoso”. A última fala de Tales apresenta o obstáculo *animista*, visto que atribuiu características de seres vivos, como agir e morrer, a algo inanimado como a água líquida.

Fazendo uso desse resultado da atividade experimental, o professor tentou mostrar a inviabilidade da ideia de que calor seria como uma substância armazenada nos corpos e a origem da temperatura. Esse aspecto não foi bem explorado pelo professor, que apenas alegou, e de forma confusa, que não daria para entender o fenômeno da manutenção da temperatura pensando calor como substância armazenável. Era esperado que essa atividade fosse crucial para diferenciar temperatura de calor, assumindo característica de *crítica*, mas não ocorreu. Mas a atividade permitiu que relacionassem a ebulição com a manutenção da temperatura. Quando questionado sobre o que significaria esse processo de ebulição, André comenta que “a água tá se expandindo, as moléculas estão se afastando” e, Marcos concorda “as moléculas estão se afastando”. Foram questionados se seria possível entender esses fenômenos térmicos por meio de moléculas e vários estudantes responderam que sim. Desse modo, a atividade legitimou a discussão sobre a visão submicroscópica do fenômeno.

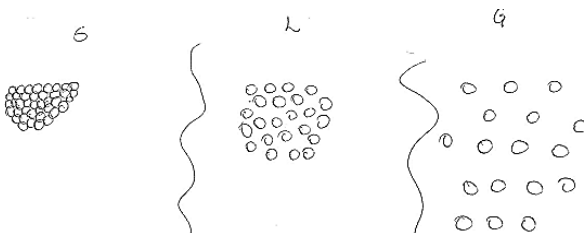
É interessante apontarmos que os estudantes e o professor fizeram uso do “sentido de transmissão” de calor (do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura) para explicar o aquecimento da água sobre a pele segundo o modelo submicroscópico da matéria. Assim, foi importante que houvesse antes essa relação entre calor e temperatura, mesmo que os conceitos tenham sido usados sem precisão. Resumindo, a atividade experimental permitiu um diálogo rico, a emergência de ideias diferentes, o confronto entre elas e a convergência para entenderem o fenômeno físico, buscando diminuir a imprecisão nos termos para compreendê-lo. Ela assumiu características de atividade conflitiva e de compartilhamento. E, com o professor atuando como mediador nesse diálogo didático, a atividade consolidou a Identificação de obstáculo (substancialista) e bases para um conflito sociocognitivo. Assim, a atividade estabeleceu uma situação de Fissuração do obstáculo da *experiência primeira*, visto que há uma reflexão mais profunda dos estudantes sobre o fenômeno, promovida pela intenção de se entender melhor o que seria a sensação térmica.

Na discussão sobre a atividade experimental de aquecimento da água (até ferver), podemos dizer que as expectativas eram maiores. Era previsto que essa atividade criasse um conflito sociocognitivo com finalidade de diferenciar os conceitos de calor e temperatura, já que durante o aquecimento da água haveria o aumento de temperatura até certo valor, mesmo com a chama acesa. Não seria possível ocorrer isso se a temperatura medisse a quantidade de calor armazenada, que seria a qualidade interna e profunda do corpo quente. No entanto, como não houve explicitação na aula de como os estudantes relacionavam calor e temperatura, essa discussão focou mais em descrever o ocorrido. O importante foi os estudantes apontarem que a temperatura não mudava, mas a água evaporava, e que entender o comportamento das moléculas possa ser a chave. Salientamos que, ao menos, a atividade criou uma situação que gerou uma necessidade nos estudantes sobre o que deve ser estudado para entender o próprio fenômeno, ou seja, entender como as moléculas de água se comportam em diferentes estados. Podemos dizer que essa atividade gerou como produto uma problematização. Mas, no momento, a discussão dessa atividade não foi além disso.

4.4.2 Modelização

Buscando como todos pensam o comportamento das moléculas nos materiais – André e Marcos já se manifestaram verbalmente –, foi solicitado que desenhassem como seria o comportamento das moléculas quando o material estivesse nos estados sólido, líquido e gasoso. Para representá-las, estudantes sugeriram usar bolinhas. Nos desenhos, todos apontaram que a diferença entre os três estados seria a distância entre as moléculas (Figura 4.4), e, para alguns, as moléculas dos gases estariam ligeiramente menos ordenadas.

Figura 4.4 – Exemplar de desenho de moléculas em diferentes estados físicos



Questionou-se a possibilidade de explicar com esses desenhos, como na Figura 4.4, o que ocorreu na atividade experimental anterior em que a água não chegou a 100 °C, mas estava evaporando. Tal como expresso nos desenhos, os estudantes reforçaram que somente mudava o afastamento entre as moléculas. Diante disso, foram questionados como se explicaria o processo de aquecimento da água pensando nas moléculas, dos 20 °C aos 80 °C, Marcos afirmou que elas se afastariam. Ao serem indagados sobre o que provocaria o afastamento, Caio falou novamente em vibração das moléculas e Marcos (com aparente dúvida): “pressão do calor”. André contrapôs Marcos, dizendo que se fosse pressão não poderia ocorrer “algo”, que infelizmente não foi possível identificar no áudio, mas mostrou ser crucial na discussão e no convencimento de Marcos. O professor estava apenas sondando as representações dos estudantes, em busca de manifestações de obstáculos; não houve qualquer discussão sobre a validade delas. Nota-se que poderia gerar um conflito, pois afirmaram que o aumento de temperatura estava relacionado ao maior afastamento ou agitação das moléculas, mas já haviam afirmado que as moléculas de água estavam se afastando na ebulição, enquanto a temperatura não se alterava. Outro ponto relevante é que Marcos e André deram início a um *conflito sociocognitivo*, mais um momento negligenciado pelo professor que auxiliaria na Fissuração do *pensamento substancialista*.

Já que os estudantes estavam falando em agitação das moléculas, foi utilizado de um *modelo representacional* de gases. Nele bolinhas de isopor eram submetidas a movimento dentro de um recipiente. Para iniciar a discussão, colocou-se apenas uma bolinha. Em um breve diálogo com os estudantes, enfatizou que a bolinha tinha movimento e, havendo velocidade, poder-se-ia descrevê-la em termos de energia cinética. Depois, várias bolinhas de isopor foram adicionadas no recipiente em alusão a diversas moléculas. Ao refazer o experimento foi exposto que as moléculas de um gás se comportavam desta forma, estavam agitadas e poderia ser falado em energia cinética das moléculas. Ao término, questionou como seria possível entender um gás a diferentes temperaturas em função das moléculas. Caio comentou que o “que se mexe mais, mais quente, e o que se mexe menos, mais frio”.

Depois, foi questionado sobre como estariam dispostas as moléculas de um sólido, Marcos disse que elas estão juntas, e o professor introduziu o termo coesão. Para esclarecer esse termo, imediatamente promoveu uma situação para discutir diferenças entre um sólido e um gás, e que pode ser vista como uma atividade experimental. Empurrou uma mesa em direção do corpo de Marcos, questionando que,

se empurrava na ponta oposta da mesa, todas as partes dela deslocavam-se juntas e o estudante disse ter sentido a pressão sobre si. Em comparação, empurrou com a mão aberta o ar em frente ao estudante, que disse não sentir nada. Foi concluído que as moléculas do sólido são bem mais coesas, ou seja, estão bastante unidas entre si. Nesse momento, para discutir o comportamento das moléculas de um sólido, foi utilizado outro *modelo representacional* (quadro com bolas de isopor presas por molas).

Ao apontar e indagar o que as molas estariam representando, Tales falou em “ligação entre elas (bolinhas/moléculas)”. E Juliana reforçou, justificando que “quando uma mexer, vai mexer as outras”. O professor complementou dizendo que as molas também permitiria mostrar que as bolinhas se agitam e afirmou que as moléculas estarão vibrando a velocidades diferentes. Enquanto batia em uma das bolas de isopor perguntou como poderia ser descrito o comportamento das moléculas de um sólido a temperaturas diferentes. Nesse momento, os estudantes começam a fazer uso da agitação molecular para falar sobre temperatura e responderam que “quanto maior a temperatura, maior agitação das moléculas”. No quadro negro, o professor relacionou temperatura e energia cinética, conceituando temperatura como a média da energia cinética das moléculas da substância, o que todos concordaram.

Fazendo uso dos *modelos representacionais*, o diálogo foi novamente direcionado para a atividade experimental de aquecimento da água. Durante o aquecimento havia aumento da agitação das moléculas, disseram os estudantes, e o professor deu ênfase no termo energia cinética no lugar de agitação. Marcos indagou: “então o calor não influencia na molécula em si, mas na energia cinética dela”. Essa frase foi usada para questionar como calor participava desse processo na atividade de aquecimento da água. Quando Marcos afirmou que o calor aumentava a energia [cinética] das moléculas, o professor disse que isso não permitia dizer que o calor poderia ser armazenado, como se fosse uma substância. Ele discordou e disse que seria, sim, uma substância. Imediatamente, perguntou-se onde o calor estaria guardado e se fosse uma substância “tem que ter massa, volume”. Ele tentou exemplificar dizendo que uma vez aquecido, o material mantém o calor armazenado por um tempo. Foi apontado para o quadro com as molas e bolas questionando em que lugar estaria esse calor, caso seja uma substância. Caio afirmou que “calor é energia”, a princípio se afastando da ideia de calor como matéria, pois não manifestou o conceito “energia” como tal. Isso foi usado para dizer que durante o aquecimento da água houve

aumento da energia cinética das moléculas, ou seja, o calor estaria sendo transformado em energia cinética.

Nos momentos seguintes, o diálogo didático focou no uso desse modelo molecular para explicar em termos de temperatura e calor a permanência da temperatura da água quando próxima de 100 °C. Quando foi questionado sobre o quê o calor transmitido para a água estava provocando nesse momento, responderam que a água estava evaporando, transformando-se em um gás. Foram feitas provocações com os experimentos, de forma que os estudantes comentassem a diferença entre o estado líquido e gasoso. Mas responderam que a distância era que mudava. Diante disso, o professor expôs a diferença entre os estados físicos em termos da ligação intermolecular. Assim, os estudantes falaram que durante a mudança de fase o calor estaria provocando o rompimento das ligações. Tentou-se discutir o que seria preciso para romper a ligação (a mola). Comentou-se que poderia usar uma tesoura para romper a mola, e o professor falou que ao usar a tesoura haveria fornecimento de energia, ou seja, seria necessário fornecer energia para romper a ligação entre as moléculas. E Caio complementou: “por exemplo o gelo. O gelo se você botar uma energia, que eu acredito que calor seja uma energia, você bota, esquenta o gelo, e uma hora ele vai virar líquido e se continuar vira vapor. Ocorre a separação das moléculas”. Foi chamada atenção sobre como o calor estava fazendo duas coisas, “primeiro, aumentar a agitação e a segunda?”. Caio respondeu: “separar as moléculas”, foi prontamente questionado “é só afastar ou romper a ligação?” e ele apontou que era romper a ligação (das moléculas). Imediatamente sondou consequências: “então na [forma] gasosa as moléculas não tem ligação nenhuma?” O professor confirmou que praticamente nada.

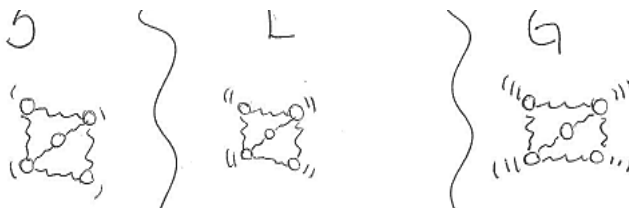
Foi escrito no quadro uma síntese dos conceitos de calor e temperatura da forma como trabalhados pela turma. Foi conceituada temperatura como a média da energia cinética das moléculas. Calor foi conceituado de duas maneiras: primeiro como a quantidade de energia transmitida que permite modificar a energia cinética das moléculas e o rompimento da ligação entre elas; e, segundo, como a quantidade de energia transmitida das moléculas de maior energia cinética (maior temperatura) para as de menor energia cinética (menor temperatura).

Quando foram usados os *modelos representativos* de gases e de sólidos, ficou evidente a construção do fenômeno com aspectos de modelização em busca de apreender os conceitos de temperatura e calor segundo a visão submicroscópica. Essa situação didática pode ser descrita como a elaboração de um novo modelo explicativo sobre o

fenômeno térmico e é parte crucial para a etapa de Superação de obstáculos de aprendizagem. Essas duas AEs potencializaram a participação conjunta entre o professor e os estudantes na construção desse modelo explicativo e, portanto, a internalização foi favorecida por elas. Lembramos que no momento da internalização, o estudante não necessariamente considerava o modelo suficiente e satisfatório, mas ao menos o considerava legítimo e compreensível. Podemos afirmar isso, pois os estudantes começam a fazer uso do modelo submicroscópico (cinético) para explicar a atividade experimental do aquecimento da água e a atividade que será apresentada a seguir.

Esse novo modelo esteve presente em uma discussão feita com desenhos no quadro negro: duas substâncias sólidas cada uma com 4 moléculas, cuja ligação foi representada por uma linha e a agitação das moléculas por aspas. As substâncias foram imaginadas a diferentes temperaturas e estariam em contato. Fazendo uso do desenho, o professor estabeleceu um diálogo em que os estudantes concordaram que a substância de maior temperatura aqueceria a outra até atingirem o equilíbrio térmico. Sendo assim, ao longo do processo, as moléculas de um material diminuiriam a sua energia cinética e a agitação representada pela diminuição no número de “J”, símbolo indicador de movimento e aumentariam a agitação das de – aumento na quantidade de indicadores. Reforçou-se a conservação de energia durante essa transmissão de calor. Para finalizar, pediu-se que desenhassem as moléculas de um sólido, de um líquido e de um gás após o que foi discutido em sala.

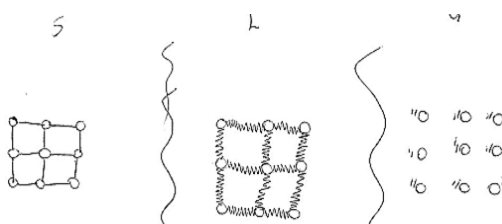
Figura 4.5 – Exemplar 1 de desenho de moléculas em diferentes estados.



Se compararmos os desenhos antes (Figura 4.3) e após as discussões (Figuras 4.5 e 4.6), notamos que os estudantes começaram a sinalizar a ligação entre as moléculas por meio de linhas. No entanto, podemos encontrar desenhos em que a ligação aparece igualmente em todos os estados (Figura 4.5) ou só nos sólidos e líquidos e, neste caso,

as ligações apareceram de duas formas: mais “rígidas” nos sólidos e maleáveis nos líquidos (Figura 4.6) ou o líquido representado por aglomerados de moléculas (grupos isolados de moléculas fortemente ligadas entre si). Muitos ainda mantiveram a ideia de afastamento entre as moléculas como sendo o diferencial e adicionaram linhas para representar a ligação. Quanto à agitação, vários apontaram as moléculas dos sólidos como imóveis e as de líquidos e gases em graus crescentes de agitação, dando a entender que o que diferencia os estados seria somente o grau de agitação das moléculas (Figura 4.5). Entendemos que o vínculo entre os estados físicos e os graus de agitação tenha origem na percepção diária de que para liquefazer ou evaporar algum material é necessário aumentar a sua temperatura. Nesse sentido, com essa sobreposição de imagens, ainda manifestaram a *experiência primeira*.

Figura 4.6 – Exemplar 2 de desenho de moléculas em diferentes estados.



Já ao término da aula, o professor tentou realizar outra atividade experimental: a “panela de papel”. Sem falar do que se tratava, demonstrou a queima de um pedaço de papel. Depois, uma caixinha de papel foi preenchida com água e posicionada no suporte. Questionou o que ocorreria quando a chama de uma vela fosse colocada no fundo da caixa cheia de água; muitos falaram que apagaria a chama. Após cerca de 30 segundos, com a chama acesa e sob o papel, perguntava quais os motivos para o papel não estar queimando. Juliana apontou que era por causa da água, mas não soube detalhar mais e Marcos indagou se a temperatura da água afetaria a do papel. O professor, então, buscou direcionar a discussão do fenômeno pensando nas moléculas. Os estudantes apontaram que durante o aquecimento do papel as moléculas dele estavam ficando mais agitadas. Foi exposto que na combustão o carbono estaria reagindo com o oxigênio, ou seja, rompendo suas ligações com as demais moléculas do papel (devemos salientar que nesse caso seria correto falar em ligações interatômicas). Ao serem questionados sobre o que a água estaria fazendo, disseram que ela não

estava deixando que as moléculas do papel se rompessem. Enquanto isso era reforçado, Marcos afirmou que “a água tava absorvendo a energia que o fogo estava passando”. A aula encerrou e o professor passou encaminhamentos para realizarem uma atividade na aula seguinte, sem maiores conclusões.

A atividade experimental da panela de papel serviu como maneira de aplicar o novo modelo representativo. Assim, a reflexão de estudantes, mediados pelo professor, evidencia que essa atividade tinha potencial para que o diálogo didático entrasse na etapa da Superação do obstáculo da *Experiência primeira*. Todavia, ficou centrado no professor, devido ao término da aula, e não houve preparação do que analisar antes de realizar o experimento. Podemos dizer, portanto, que a atividade assumiu um papel de comprovação da teoria antes apontada e, em parte, foi relevante para o fechamento do diálogo didático.

4.5 ENCONTRO 4 – AULAS VII E VIII

4.51 Fechamento

No início da aula, os estudantes lembraram-se do ocorrido com a atividade da panela de papel, de que o papel não entrava em combustão quando havia água acima do mesmo, mas queimava quando sozinho. André perguntou se a espessura do papel influenciava, mas o diálogo mudou de foco e isso não foi discutido.

Devido à questão sobre calor ser ou não como uma substância, realizou-se nesta aula a atividade experimental de esfregar as mãos. Ao fazer esse movimento e indicar que ambas esquentaram, questionou-se aos estudantes se houve troca de calor durante o aquecimento de ambas, Marcos respondeu que o atrito era o agente causador do aquecimento. A resposta foi reforçada, enfatizando que o atrito foi entre as mãos, e questionou-se o que havia nelas que estaria provocando o aumento de temperatura. Marcos falou em “calor da mão”. Imediatamente outra pergunta foi feita, mas de modo rápido e pouco claro: como que a troca de calor de uma mão para a outra explicaria o aquecimento de ambas? (o objetivo era apontar que não seria adequado explicar o aquecimento de ambas as mãos ao mesmo tempo, pois se uma cede calor para a outra, sua temperatura deveria ter diminuído, pois perderia calor nesse processo). E Marcos disse que o atrito estaria gerando o calor. O professor apontou que dizer que o atrito gera calor (que provoca o aquecimento) é contraditório com a expressão “calor da mão”. Assim, Marcos tentou esclarecer: “as duas mãos estão na mesma temperatura. Esfregando uma na outra, gera um atrito e o atrito causa o aumento de temperatura”. É interessante que forneceu uma explicação sem recorrer a calor como uma propriedade (um ente) das moléculas de suas mãos.

Partindo de que se estava esfregando pele contra pele, tentou-se, ao perguntar do que a pele é composta, tendo em vista que os estudantes apontassem as moléculas. Assim, é comentado que seriam átomos se chocando com outros átomos. Depois, voltou-se a esfregar as mãos e foi solicitado que discutissem o aumento de temperatura em termos de moléculas. André afirma que as moléculas aumentam a agitação e a energia cinética das outras moléculas. Reforçando o aumento de temperatura sem troca de calor, pois não havia diferença de temperatura entre as duas mãos, o professor diz que se deve entender calor como um evento; embora não tenha explicado isso satisfatoriamente.

Ao revisar a rediscutir o experimento da panela de papel, que queimava com ar acima e não quando a água preenchia a caixa

(desenhado no quadro), foi questionado o que diferenciava a água líquida do ar. Caio afirmou que a grande diferença entre esses dois materiais era “a ligação” entre as moléculas. Com isso, tentou explicar que a água líquida não permitia o papel queimar, pois as ligações intermoleculares permitiam a dissipação da energia cinética das moléculas do papel. Nesse momento, dois *modelos representacionais* (maquetes) da estrutura cúbica cristalina de sólidos foram utilizados. Com esses modelos, apontou-se que os sólidos se diferenciam em bons ou maus condutores em termos do número de ligações entre as moléculas / átomos. Para esclarecer, o professor realizou a última atividade experimental, dizendo que há um problema em aberto desde a primeira aula: “por que ao terem tocado no metal ele forneceu uma sensação maior de frio que a madeira?”.

Na atividade experimental foi solicitado que Bruna segurasse uma barra de metal junto a um pedaço de madeira e encostasse ambos em pedras de gelo. Pouco depois, ela comentou que havia a sensação de frio no metal, mas indiferença para a madeira. Caio comenta que “o metal é melhor condutor de energia”, que é retificado pelo professor em termos de energia térmica e elétrica e que isso dependeria do número de ligações entre as moléculas / átomos. Foi perguntado o que estava ocorrendo entre a mão e o metal para dar a sensação de frio e Marcos apontou que estava ocorrendo “transferência de calor”. Outros estudantes estavam comentando se haveria calor no metal sendo transferido para o gelo. Quando há o questionamento de onde, no objeto, ficaria esse calor, Marcos afirmou que estaria “dentro dele (objeto)” e foi contestado diretamente por Caio, que indagou se para ele o metal geraria calor sozinho. Caio falou que o aumento da temperatura deveria ser provocado por um agente externo.

Foi pedido que usassem do metal e a madeira agora na chama de uma vela, e acusaram que o metal estava esquentando antes. A discussão foi sintetizada em termos de condutividade térmica e das ligações entre moléculas, trazendo como isso influenciou na atividade de panela de papel. Frente a isso, os estudantes questionam se fosse metal no interior da panela de papel no lugar da água, e foi exposto que também não queimaria o papel, mas seria diferente porque o metal poderia atingir uma temperatura elevada de modo relativamente rápido. Isso gerou outro aspecto na discussão, sobre calor específico dos materiais. Mas não captamos nenhuma fala dos estudantes neste momento.

Foram realizadas duas AEs novas neste encontro, mas a discussão de ambas ficou aquém do adequado, tendo em vista a necessidade de aplicar uma atividade avaliativa na segunda metade do encontro. A

atividade de esfregar as mãos mostrou potencial para romper com o *pensamento substancialista*, visto que põe em xeque a relação entre aumento de temperatura e quantidade de calor armazenado. Devemos ressaltar que esse potencial foi percebido no diálogo com um estudante em especial, e não conseguimos maior participação da turma. Acreditamos que a improdutividade da atividade tenha ocorrido pela falta de clareza no momento de fazer as perguntas sobre esse fenômeno.

4.5.2 Atividades avaliativas

Nesta atividade, os estudantes deveriam trazer um material de consulta (“cola”). Esse material deveria ser um resumo, em uma página, do assunto tratado em sala e seria usado como instrumento de consulta, a fim de ajudá-los na resolução dos problemas propostos. Primeiramente, os estudantes responderiam sem auxílio e, depois, colegas iriam corrigir fazendo uso da “cola”. Como os estudantes deveriam devolver essa folha junto à de respostas, seria possível analisar se há associação correta dos conceitos assinalados com o fenômeno, mesmo que sejam expressos de outra forma. Na semana seguinte, foi realizada uma atividade de recuperação, também solicitada pelo professor titular. Esta está no Apêndice A (Teste 2) e a avaliação realizada neste encontro está no Apêndice B (Atividade Experimental IV-P).

A avaliação consistia em responder a algumas perguntas referentes a uma atividade experimental conhecida como “Cascata de Tachinhas”: tachinhas foram coladas com parafina ao longo de um fio de cobre desencapado, uma das pontas do fio foi submetida a uma chama, de modo que cada aglomerado de cera derretia um após o outro e as tachinhas caíam. A atividade foi realizada demonstrativamente. Ocorreram diversos problemas com essa atividade que prejudicaram a obtenção de resultados. Na atividade pretendíamos identificar se os estudantes faziam uso do modelo submicroscópico para explicar os fenômenos térmicos ou, por serem questões abertas, manifestavam obstáculos de aprendizagem ainda presentes nas suas atitudes para com esses fenômenos.

Na primeira questão, notamos que 11 estudantes (de 21) mantiveram a representação de que quanto mais quente o material, mais afastadas as moléculas. Somente 4 estudantes indicaram agitação, um estudante escreveu no lugar de desenhar e outros 5 usaram maneiras diferentes de representar as moléculas do fio de cobre nos três pontos: (a) moléculas livres, (b) moléculas presas por “molas” (ligação mais

flexível) e (c) moléculas presas por segmentos de reta (ligação rígida). Desenharam de modo semelhante ao da Figura 4.6 para representar sólidos (ligação rígida), líquidos (maleável) e gases (sem ligação), um em cada ponto do fio.

Alguns manifestaram que quanto mais longe da chama, mais afastadas as moléculas do fio estariam entre si. Um desses estudantes explicou que “conforme o calor as moléculas vão se separando”. Notamos que para vários deles a relação entre calor e temperatura como correspondentes ainda se manteve, alertando-nos sobre os cuidados na próxima etapa da pesquisa. Outros estudantes manifestaram o *pensamento substancialista* dizendo que a demora da última tachinha para cair devia-se ao fato de quanto mais longe (da chama), mais demoraria o calor para chegar à cera e derretê-la.

Da forma como foram expressas, as respostas da maioria projetam que não houve superação de obstáculos. Começaremos a analisar o obstáculo da *experiência primeira*, se manteve para os estudantes em que as respostas mostram superficialidade, evidenciando que se prenderam nas primeiras impressões sem fazer uso (ou tentar fazer) do modelo submicroscópico. Felizmente, embora raros, existiram casos em que os estudantes fizeram menção escrita a moléculas e à agitação para entender o fenômeno ocorrido na atividade experimental. Nas Figuras 4.7 e 4.8 temos alguns exemplares de como os estudantes começaram a usar a nova representação para explicar o fenômeno.

Figura 4.7 – Exemplar 1 de uso da visão submicroscópica do fenômeno

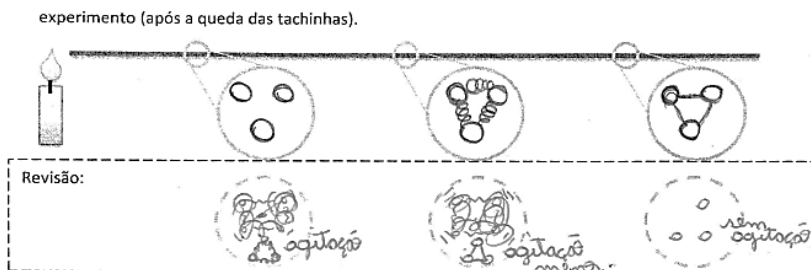
4. Se a quantidade de cera em cada tachinha fosse maior, demoraria mais ou menos tempo para ocorrer a queda de cada uma? Justifique:

<p style="text-align: center;">demoraria <u>menos</u> para cair, pois que em mais quantidade derreteria <u>mais rápido</u>.</p>
<p>Revisão:</p> <p>Demoraria mais, pois teria mais ligações entre as moléculas, e o tempo que teria até agitar e romper as ligações seria muito maior!</p>

Como podemos notar na Figura 4.7, a estudante que revisou (quadro tracejado) fez uso adequado e demonstrou bom domínio do modelo para entender o problema. Considerou que para a tachinha cair era necessário o derretimento da cera, ou seja, que as ligações entre suas moléculas fossem “rompidas”, mas para isso era necessário também

aumentar a agitação das moléculas. Essa mesma estudante assinalou no desenho as moléculas ligadas por meio de linhas e os graus de agitação por “ \cup ”. Mas nem todos estudantes usaram desses elementos gráficos e da mesma forma, evidenciando falhas na modelização e chamando-nos atenção para Vigotski (2008): o compartilhamento de significados e a internalização de símbolos.

Figura 4.8 – Exemplar 2 de uso da visão submicroscópica do fenômeno



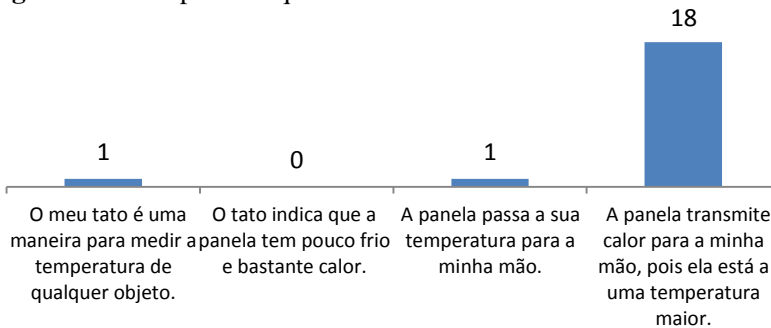
Encontramos casos de até oposição de significado para um mesmo elemento gráfico, como o exemplo na Figura 4.8. Primeiro vamos esclarecer o desenho nos círculos contínuos e depois contrastar com o da revisão (círculos tracejados). A origem dos primeiros desenhos pode ser uma interpretação do que o professor havia desenhado como as diferenças entre os estados físicos: as moléculas de gases não teriam ligação entre si, no sólido haveria forte ligação e no líquido seria relativamente fraca (já apontamos anteriormente). Uma vez isso colocado, podemos indicar que a estudante estava pensando que a ausência de ligação seria o indicativo da temperatura elevada, justificando a ordem dos desenhos. Em contrapartida, o estudante revisor escreveu e mostrou explicitamente que considerava a linha em forma de mola como sinal de moléculas com maior agitação e a ausência de linha como a sem agitação; apesar de ter riscado um desenho em que estava usando o símbolo “ \cup ”. Portanto, para alguns estudantes a linha representava a ligação e para outros a agitação em si. Com auxílio das ideias de Vigotski, podemos dizer que, para o mesmo símbolo, a internalização por diversos indivíduos atribuiu significados diferentes, salientando que a transição entre a atividade experimental de modelização e o registro (o compartilhamento de significados) precisa ser melhorada para a próxima etapa da pesquisa.

O último instrumento de análise aplicado foi o Teste 2 (Apêndice A), cujos resultados podem ser contrastados com os da atividade

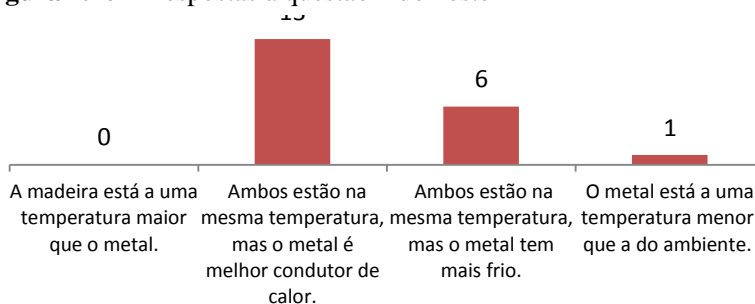
anterior. Esse teste sofreu pequenas correções na redação e foi aplicado uma semana após a atividade acima, mas sem usar material de referência (cola). Composto por questões de múltipla escolha, conseguimos identificar algumas mudanças no pensamento dos 20 estudantes respondentes. Apesar de várias respostas adequadas, vamos focar em respostas que manifestam a presença de obstáculos.

Temos nas Figuras 4.9, 4.10, 4.11 e 4.12, as respostas dos estudantes para as questões 1, 2, 4 e 5, cujos enunciados são: 1. Durante o momento em que você toca em uma panela aquecida recentemente no fogão, você tem a “sensação térmica” de “quente” (...); 2. Após um dia de aula, você volta para casa e encosta a mão na maçaneta metálica da porta e, depois, na madeira. Fica curioso ao perceber que, ao encostar sua mão na maçaneta, a sensação de “frio” é maior que quando você encosta a mão na madeira (...); 4. Ao aquecer certa quantidade de água em uma chaleira, de 20°C a 100°C, e manter a chama acesa depois de atingir os 100 °C, é correto afirmar que a chama (...); 5. Você chegou hoje ao colégio e cumprimentou dois colegas com um aperto de mão. Um deles, o Pernalonga, reclamou que a sua mão estava muito gelada e o outro, Patolino discordou e disse que a sua mão estava quente (...).

Figura 4.9 – Respostas à questão 1 do Teste 2

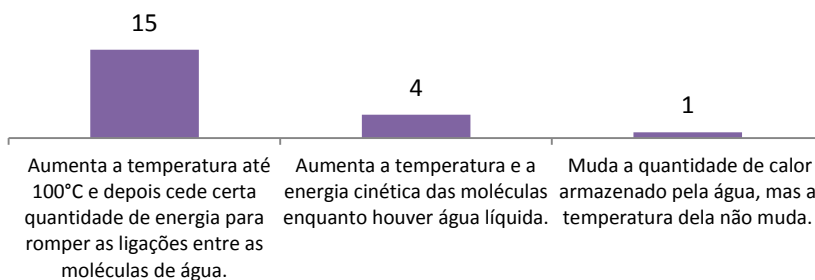


Na primeira questão (Figura 4.9) um único estudante apontou o tato como uma maneira de identificar a temperatura, todavia ele não havia participado das aulas. Também apontou na questão 2 (Figura 4.10) que o metal teria mais frio que a madeira (apesar da mesma temperatura). Isso é possível indicativo que as AEs, como as dos três copos, promoveram mudanças na forma de pensar dos estudantes. Na questão 1, uma estudante (presente nas aulas) considerou que a temperatura é um ente transmissível de um corpo para outro, manifestando o *pensamento substancialista*.

Figura 4.10 – Respostas à questão 2 do Teste 2

Ao todo, seis estudantes assinalaram na questão 2 (Figura 4.10) que o metal teria frio, justificando a sensação de frio ao tocá-lo. Dois deles haviam participado das primeiras AEs, focadas para diferenciar sensação térmica de temperatura, mas os outros quatro não estavam presentes. É interessante que pelo menos os estudantes consideraram que a temperatura fosse a mesma, contudo afirmaram que o motivo da sensação de frio seria algo interno ao corpo, o frio. Portanto, não podemos afirmar que as AEs realizadas foram cruciais para superar os obstáculos, registrados nas respostas da Figura 4.3. Entretanto, um desses estudantes participou bastante do diálogo na terceira aula justamente sobre a presença ou não de frio, mostrando-nos como é preciso criar um melhor cenário para constituir uma situação de conflito sociocognitivo e uso de AEs como contra-argumento.

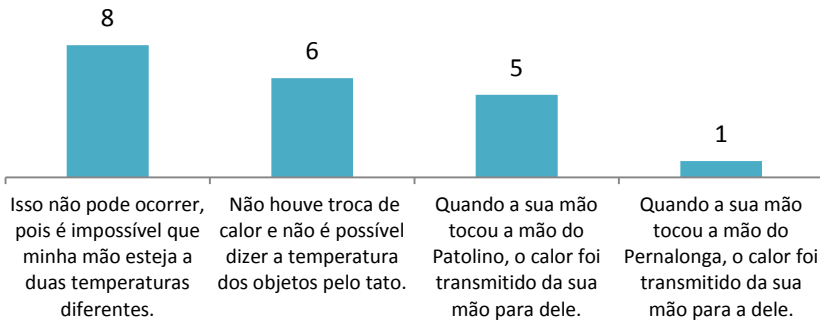
Na questão 4 (Figura 4.11), somente uma estudante assinalou o

Figura 4.11 – Respostas à questão 4 do Teste 2

item c. Ela estava presente em boa parte das atividades, exceto justamente quando houve discussão da atividade de aquecimento da

água e de construção do modelo explicativo submicroscópico; não quer dizer que isso seja causa única da sua opção. Notamos como quatro estudantes consideraram que a temperatura da água continua a aumentar após atingir 100 °C. Destes, uma é a mesma estudante que havia faltado as 4 primeiras aulas e apontado na questão 2 que o metal teria mais frio, outra apareceu somente no dia da atividade da cascata de tachinhas.

Figura 4.12 – Respostas à questão 5 do Teste 2



Na questão 5 (Figura 4.12), encontramos um número expressivo de estudantes (oito) que assinalaram como sendo impossível que duas pessoas diferentes apontem que a mão de um terceiro provoque a sensação de quente e de frio. Entendemos que isso seja manifestação do obstáculo da *Experiência primeira*, visto que houve uma sobreposição de imagens: o tato como medidor da temperatura, não como indicador de diferença de temperatura.

4.5 AJUSTES E PREPARAÇÃO PARA A PESQUISA

No Ensaio Piloto, alcançamos algumas melhorias. As fichas das AEs permitiram um melhor acompanhamento dos estudantes antes e depois da realização das atividades, facilitando a identificação de obstáculos. No entanto, algumas respostas individuais foram omitidas em algumas atividades em grupo.

Quase todas as AEs possibilitaram a Identificação de obstáculos, pois permitiram a instauração de debates de opiniões diferentes. Portanto, salientamos que essa característica das AEs realizadas, de gerar debates e emergir representações diferentes, cumpriu uma parte necessária do processo de superação dos obstáculos. Também encontramos AEs que permitiram a Fissuração de Obstáculos, por meio da instauração de conflitos sociocognitivos e situações em que as representações eram colocadas em xeque. Os aparatos em forma de representações da estrutura molecular de sólidos e da teoria cinética dos gases permitiram a modelização do fenômeno térmico.

Sobre falhas didáticas, identificamos momentos em que os obstáculos não ficaram evidentes para os estudantes ou que não foram devidamente trabalhados. Começando pela etapa de Identificação do Obstáculo, devemos ressaltar que o professor não criou situações muito claras para os estudantes tomarem consciência dos obstáculos. Na maioria dos momentos o professor conseguiu identificar obstáculos, mas não tornou isso explícito para os estudantes. Vários obstáculos foram *identificados* e até mesmo *fissurados*, mas a Superação ainda não foi objeto da análise neste Ensaio Piloto. A atividade experimental de “Esfregar as Mãos” precisa ser realizada em momento mais adequado e ser discutida com mais intensidade e profundidade, a fim de que o obstáculo *substancialista* seja fissurado e posteriormente superado. Notamos também, bastante confusão com os desenhos e a forma de representar moléculas, suas ligações e os seus graus de agitação.

Esses apontamentos foram levados em conta para a aplicação da pesquisa em quatro turmas de outro colégio público, que também foi realizada no primeiro semestre deste ano; cerca de 3 semanas após o Ensaio Piloto. Os instrumentos aplicados sofreram poucas alterações de redação e alguns elementos foram retirados por se mostrarem inadequados durante o Piloto, por exemplo: o último item do roteiro da Atividade Experimental I-P e os quadros de “Revisão” no roteiro da Atividade Experimental IV-P.

Como no Piloto houve o teste da SD, várias ações didáticas foram repensadas e consideradas no momento de planejar a etapa final da pesquisa. Neste replanejamento, preocupou-se com:

- i. maior tempo para a síntese das discussões das AEs, promovendo a clareza;
- ii. instrumentalizar melhor os estudantes para usarem dos instrumentos de coleta de dados. No caso dos desenhos, é necessário trabalhar exemplares.
- iii. explicitação dos *problemas* envolvidos e da busca pela solução;
- iv. clareza nas perguntas que coordenam a realização das AEs, afastando de uma ação empirista.

Quanto às AEs, a análise do Ensaio Piloto apontou a necessidade de ajustes. Tendo isso em vista, propomos alterações abaixo:

- i. ao término das duas primeiras AEs e da mensuração de temperatura da madeira e do metal, é necessário explicitar o seguinte problema: Se o tato não mede temperatura e as temperaturas acusadas para o metal e para a madeira foram praticamente iguais, o que há diferente entre os materiais para fornecerem uma sensação térmica tão diferente? Essa pergunta será trabalhada com a modelização e as atividades de condutividade térmica. Dessa forma, pretendemos manter essa pergunta em pauta até a elaboração do novo modelo explicativo, uma vez que ela também permite gerar engajamento na busca da visão submicroscópica da matéria.
- ii. a atividade de “Aquecimento da Água” também deve ter a meta de explicitar um problema que justifique o estudo da visão submicroscópica da matéria. Neste caso, a questão é identificar o que há de diferença entre a água líquida e a água em forma de vapor, visto que a ebulição se mostra como responsável pela manutenção da temperatura da água a cerca de 100 °C.
- iii. para fissurar e superar o pensamento substancialista, conjecturamos como necessário que a atividade experimental de “Esfregar as Mãos” seja realizada após a de “Aquecimento da Água”. Nesta tenta-se diferenciar calor e temperatura, devido à manutenção da temperatura durante a ebulição. Para melhor fundamentar essa discussão, é preciso confrontar a

concepção de calor como substância. Assim, pressupomos que a discussão do ato de “Esfregar as Mãos” permita consolidar a Fissuração desse obstáculo e abra caminho para um novo modelo explicativo.

- iv. as atividades que envolvem condutividade térmica, como a Panela de Papel e a comparação entre madeira e metal (quando encostadas no gelo ou no fogo), devem ser pensadas como a síntese e aplicação do novo modelo explicativo e, portanto, assumindo papel de reforço e fechamento das aulas. A discussão precisa ser mais extensa, fomentando a internalização do novo modelo explicativo, tendo em vista concluir a etapa de Superação dos obstáculos.

CAPÍTULO V – ANALISANDO OS DADOS DA PESQUISA

Realizamos esta etapa da pesquisa em quatro turmas (A, B, C e D) de um mesmo colégio público, nas aulas de Física, semanas após a realização do Piloto. Eram turmas dos segundo ano do Ensino Médio, totalizando 93 alunos. Nelas, desenvolvemos a SD e, assim, coletamos diversos tipos de dados: áudio, questionários abertos e fechados e imagens estáticas (desenhos) produzidas pelos estudantes.

Para sondar a presença de obstáculos de aprendizagem, conforme as categorias levantadas teoricamente, aplicamos o primeiro questionário: 29 questões com escala de Likert com 4 pontos, medindo graus de concordância. Os dados (analisados na seção 5.1) foram plotados em gráficos de barras para facilitar a “identificação de categorias de destaque” (PEREIRA, 2004, p. 79), apresentando o grau de concordância ou discordância em relação às afirmações, além de indicar a tendência das respostas. Tratamos os dados em valores absolutos, não em porcentagens, por facilitar a leitura e lidarmos com um número inferior a cem sujeitos (MOREIRA; CALEFFE, 2008), que omitiria o número real de respondentes.

Quando há respostas discursivas registradas nas fichas de atividade, orientamos a análise pela metodologia de “análise de conteúdo”, conforme Bauer (2008). Baseamo-nos em categorias teóricas em um primeiro olhar às respostas, levantamos elementos comuns em busca de novas categorias e finalizamos a análise. Enfocaremos casos mais ricos em detalhes ao mesmo tempo em que daremos um panorama geral. Cabe ressaltar que as categorias teóricas não são as únicas existentes e, quando aplicada essa metodologia de análise, verificamos o surgimento de novas.

Obtivemos uma imensa quantidade de falas registradas em áudio, totalizando cerca de 18 horas, transcritas em mais de 30 mil palavras. Não é importante analisarmos a recorrência de certas palavras, mas sim identificar manifestações de obstáculos de aprendizagem e, também, quando e como os argumentos e as explicações dos estudantes são afetados pela realização das AEs e suas discussões. Seguimos a *amostragem intencional* para a análise do material do áudio, ou seja, selecionando casos mais ricos em informação com base nas nossas categorias de análise (MOREIRA; CALEFFE, 2008); para relembrar nossas categorias, ver a Seção 2.3. Optamos, portanto, por focar a análise em alguns trechos de diálogos. Esses trechos foram marcados à medida que o áudio era transcrito e eram identificadas as manifestações de obstáculos ou as características das AEs. Depois de devidamente

assinalados, os que se mostraram mais claros e os mais ricos foram selecionados para compor análise. Cada representação individual possui seu papel nas discussões nas turmas, ao mesmo tempo em que as ideias em comum são elementos que direcionam fortemente as discussões. Nas aulas foram expressas diferentes representações, que são objetos de análise, mas também devemos salientar aquilo que é compartilhado entre todos. Desse modo, a técnica que optamos (dentro da estratégia da *amostragem intencional*) é conhecida por *amostragem de variação máxima*, cujo objetivo é “capturar as diversas variações na amostra e identificar padrões comuns” (MOREIRA; CALEFFE, 2008, p.176).

Para analisar os desenhos dos estudantes sobre como estariam configuradas as moléculas dos materiais, orientamo-nos pela metodologia trazida por Gemma Penn (2008) no capítulo intitulado “Análise semiótica de imagens paradas”. Partindo desta metodologia de análise, que será melhor descrita na seção 5.7, levantamos elementos gráficos utilizados e a distribuição espacial dos elementos dos desenhos para depois buscar o que os desenhos conotavam e, portanto, pudemos levantar a representação que possuem sobre a estrutura da matéria e alguns obstáculos de aprendizagem.

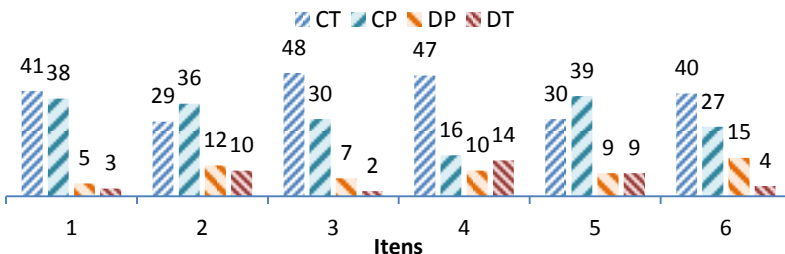
5.1 – RESULTADOS DO QUESTIONÁRIO

Analisamos a distribuição da concordância de 87 estudantes (6 não estavam presentes no dia) com os itens do Questionário (Apêndice D). Destes, 86 responderam às questões 6, 13, 15, 16, 23, 24, 26 e 29; 84 à questão 9; 85 à questão 11; e 83 à questão 17. É caracterizado como de escala Likert e contém os pontos: concordo totalmente (CT), concordo parcialmente (CP), discordo parcialmente (DP) e discordo totalmente (DT). Na análise, a ordem dos itens não é a mesma da folha entregue aos estudantes (Apêndice D). Agrupamos os itens que dizem respeito aos mesmos obstáculos de aprendizagem nos quadros 5.11, 5.12, 5.13 e 5.14, todos compostos por três colunas: na esquerda, número do item para a análise; no centro, o número do item no respectivo Questionário (Apêndice D); na direita, o enunciado do item.

Quadro 5.11 –Enunciados dos itens 1 ao 6 do questionário

Item	nº no Q	Enunciado do item
1	6	Ao encostar a mão em um objeto eu posso sentir o calor que ele tem.
2	27	Um metal tem temperatura alta quando eu encosto nele e sinto minha mão aquecer.
3	7	O metal da maçaneta é sempre mais frio que a madeira da porta.
4	13	Uso roupa quente para aquecer meu corpo.
5	25	Para manter a temperatura do meu corpo, devo vestir peças de roupa.
6	20	O calor do meu corpo é mantido quando estou agasalhado.

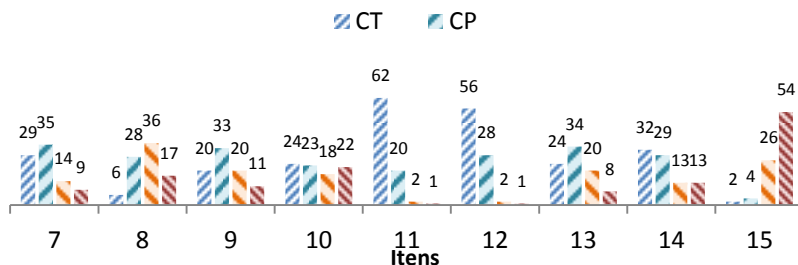
Figura 5.13 – Distribuição das respostas dos estudantes dos itens 1 ao 6



Todos os itens (1 a 6) presentes no Quadro 5.11 acusam a presença do obstáculo da *experiência primeira*. Por meio da Figura 5.13 é possível apontar uma elevada concordância com esses itens e, portanto, a manifestação desse obstáculo. No primeiro item, 38 estudantes afirmaram a capacidade de sentir o calor dos objetos e, no segundo, 29 concordaram totalmente que a temperatura pode ser acusada pelo tato. Também de forma expressiva, 48 concordaram seguramente que há uma naturalidade do metal (de uma maçaneta de uma porta) ser mais frio que outros materiais, como a madeira (de uma porta). Desta maneira, as respostas indicam que associaram a *sensação térmica* diretamente com a *medida de temperatura* ou de *calor*. Resumindo, a origem dessas representações é uma atitude experimental marcada pela falta de reflexão prévia que acarreta na ‘sobreposição de imagens’. A representação de que o metal da maçaneta é **sempre** mais frio que a madeira da porta é fruto de inúmeras *experiências primeiras* dos estudantes, manifestado também o *obstáculo realista*, de que o sentido é um mecanismo de acesso direto à realidade.

Por meio da elevada concordância de 41 estudantes sobre o item 1 (Figura 5.13), notamos a manifestação de dois obstáculos ao mesmo tempo: o da *experiência primeira* e o do *pensamento substancialista*. A presença de dois obstáculos sustentando uma mesma representação foi apontado por Bachelard (1996). Astolfi (1993) fez ainda o alerta para educadores, destacando que é frequente a necessidade de trabalhar a superação de dois obstáculos ao mesmo tempo.

Os itens 4, 5 e 6 dizem respeito à utilização de vestuário (ao material tecido), sendo que o quarto e o quinto são afirmações contrárias. Há uma elevada concordância (47 estudantes) de que a roupa é uma fonte térmica para o corpo humano e, em contrapartida, 30 estudantes asseguraram convictos que a roupa somente mantém a temperatura do corpo. Devemos salientar que entre os itens 4 e 5, há uma diminuição no número de concordâncias totais (de 47 para 30) e aumento no número de concordâncias parciais (de 16 para 39), indicando que perceberam que são afirmações contrárias, mas muitos ainda mantiveram algum grau de concordância com as duas afirmações simultaneamente. Essa contradição, a existência de duas representações opostas, pode ser interpretada como fruto da atitude experimental das primeiras impressões, que Bachelard (1996) chama de *obstáculo da experiência primeira*. Reforçando a contradição, 40 foram convictos ao afirmarem, no item 6, que a roupa permite *manter* o calor do corpo, ou seja, não é a *roupa quente* que aquece, é o próprio calor do corpo o responsável.

Figura 5.14 – Distribuição das respostas dos estudantes dos itens 7 ao 15

Quando 40 estudantes concordaram, no item 6, que o corpo humano é fonte / reservatório de calor, há a manifestação do *obstáculo substancialista*. Isso é reforçado no item 7 (Quadro 5.12), pois 29 estudantes concordaram totalmente (Figura 5.14) com a afirmação de que o gelo *possui* menos calor que o vapor de água. A diferença entre a água no estado gasoso e sólido seria uma **qualidade intrínseca** que é a quantidade de calor sob seu domínio. No item 10, 22 estudantes negaram que o gelo seja detentor de frio e o vapor de água detentor de calor, enquanto 24 foram totalmente adeptos dessa interpretação. O aumento da rejeição desta afirmação, em comparação à anterior (item 7), indica que, para alguns, só o ente calor é responsável pelas características térmicas dos materiais. Contudo, 24 estudantes consideraram como válida a interpretação de duas qualidades intrínsecas diferentes; para materiais sólidos, o frio, e, para os gasosos, o calor. A concordância com os itens 7 e 10 (Figura 5.14) também manifesta o *obstáculo da experiência primeira*, uma vez que a **imagem** de vapor como fonte de calor foi gerada provavelmente a partir da *ebulição* da água (água fervente), que é uma experiência sensorial marcante; no entanto, lembramos, que também ocorre *evaporação* de poças de água mesmo a temperaturas inferiores à do corpo humano.

Quadro 5.12 – Enunciados dos itens 7 ao 15 do questionário

Item	nº no Q	Enunciado do item
7	15	O gelo tem pouco calor, enquanto o vapor de água tem bastante.

Item	nº no Q	Enunciado do item
8	28	Durante a troca de calor entre duas substâncias ¹⁸ , ambas aquecem, e não há o resfriamento de qualquer uma delas.
9	5	O calor é como um fluido que pode ser armazenado pelas substâncias.
10	19	O gelo tem frio enquanto o vapor de água tem calor.
11	4	Maior é a temperatura de uma panela quanto mais quente ela estiver.
12	16	Sempre que fornecemos calor para a água, a temperatura dela muda.
13	17	Uma panela de metal esquenta mais que a água em seu interior porque o calor não consegue atravessar o metal de forma rápida.
14	3	Só há troca de calor quando a minha mão está a uma temperatura diferente da do objeto em que encosto.
15	22	Não há troca de calor ao esfregar as minhas mãos.

Podemos identificar no item 9 (Figura 5.14) que 53 estudantes discordam da ideia de calor assemelhando-se a um fluido que pode ser armazenado no material, sendo que 17 foram totalmente contrários; indicando, pelo menos de forma explícita, que não compartilham da representação de calor como *calórico*, importante modelo na história da Física e Química (PEDUZZI, 2008).

No item 11 (Figura 5.14), fica claro que os estudantes (62) associam temperatura ao estado de quente. Contudo, no item seguinte (item 12), um número elevado concorda que há uma relação direta entre calor e temperatura, pois 56 estudantes afirmaram que sempre que há fornecimento de calor a certa quantidade de água, ela aquecerá; devemos salientar que esta representação não conseguiria explicar o processo de mudança de fase, em que há manutenção da temperatura. Essa relação entre calor e temperatura também está presente nas respostas ao item 13 (Figura 5.14), pois 24 estudantes admitem seguramente que a temperatura de uma panela é maior que a da água em

¹⁸ Conceitualmente seria mais adequado fazer uso de “material” no lugar de “substância” nas questões 8, 17 e 18. Mas os questionários já haviam sido aplicados antes de a banca de qualificação realizar este alerta.

seu interior por causa da quantidade de calor mantida / presa no metal, sendo contrários à alta condutividade térmica dos metais. Desta forma, estabeleceram uma relação na qual a temperatura seria uma característica superficial do calor interno do material, manifestando o *pensamento substancialista*.

Contrastando os resultados das questões 14 e 15 (Figura 5.14), identificamos novamente a manifestação desse obstáculo pelo forte vínculo entre aquecimento e troca de calor em uma visão substancialista: 32 estudantes afirmaram que há troca de calor somente quando há diferença de temperatura; contudo, 54 foram convictos ao discordarem do item 15 e, desse modo, concordam que há troca de calor quando se esfrega as mãos. Todavia devemos salientar que elas estão praticamente na mesma temperatura. Esta resposta dos 54 estudantes evidencia a intensa relação do processo de aquecimento com troca de calor, ainda mais por contestarem os 32 estudantes que confirmaram o item 14.

Sobre as diferenças entre materiais metálicos e a água no item 16 (Quadro 5.13), 23 estudantes (Figura 5.15) reforçaram a ideia de que um material receber mais calor que o outro é suficiente para afirmar que aquele estará mais quente.

As respostas, de forma geral, indicaram que encontraram dúvida no item 17 (Figura 5.15), que aborda se o calor pode ser explicado em termos da estrutura microscópica da substância, mas isso ainda não pode ser considerado um obstáculo *ontológico*, sobretudo devido aos resultados do item seguinte. No item 18 (Figura 5.15), grande parte dos estudantes (79) considera, ao menos como plausível, que temperatura seja explicada em termos de moléculas; destes, 46 estavam convictos. Portanto, para os estudantes, é concebível utilizar de entes não observáveis diretamente para explicar fenômenos do mundo macroscópico.

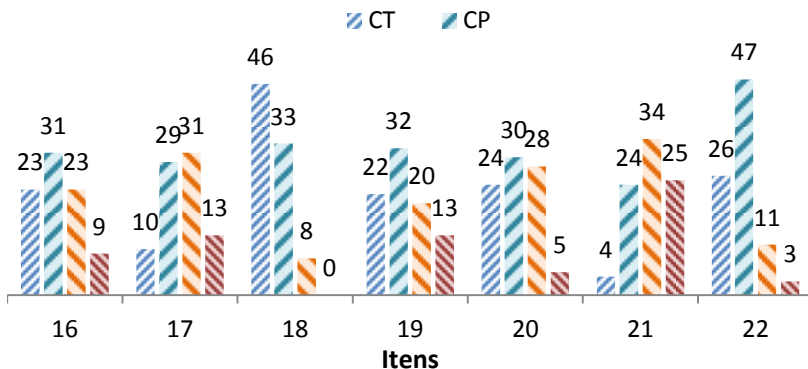
Quadro 5.13 – Enunciados dos itens 16 ao 22 do questionário

Item	nº no Q	Enunciado do item
16	18	Se a água receber mais calor que um objeto metálico, ela ficará mais quente.
17	8	Calor é um conceito que pode ser explicado a partir da estrutura microscópica da substância.
18	10	Temperatura é um conceito que pode ser explicado por meio da agitação das moléculas da substância.
19	11	Para haver transmissão de calor é preciso contato

Item	nº no Q	Enunciado do item
		físico entre os objetos.
20	21	A condução de calor só depende do tipo de material em que o processo ocorre.
21	23	Só matéria transmite calor.
22	24	Calor pode ser entendido como a energia transmitida entre moléculas.

Respostas aos itens 19 e 21 (Figura 5.15) quando contrastadas, assinalam inconsistência. No item 19, 22 estudantes asseguraram que é preciso contato físico entre objetos para haver transmissão de calor; mas, no item 21, 25 discordaram totalmente que somente matéria conduz calor. Ainda sobre a forma como concebem a transmissão de calor, destacamos o item 22. Neste item, 26 estudantes concordaram totalmente que é possível explicar calor em termos de moléculas e mais 47 foram favoráveis à ideia, mesmo que parcialmente. Contudo, a rejeição como um todo havia sido bem maior no item 17.

Figura 5.15 – Distribuição das respostas dos estudantes aos itens 16 ao 22



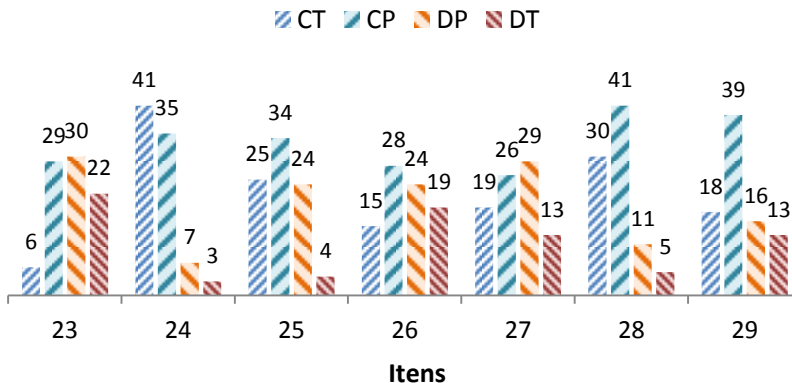
As respostas dos itens 23 e 24 (Figura 5.16) são bastante coerentes entre si, pois ambas apontam que os estudantes evitam associar calor a um ente físico (Quando 5.14), como ocorreu historicamente com o *calórico*, e não possuem resistências para pensá-lo como um conceito abstrato. Nos itens 22 e 25 (Figura 5.16), verificamos que boa parte dos estudantes concorda que calor pode ser explicado em termos de energia. No entanto, 19 rejeitaram de forma contundente, no item 26 (Figura 5.16), a ideia de energia como algo abstrato. Há uma contradição, pois no item 23, um total de 22 estudantes posicionou-se totalmente contrário à ideia de calor como algo concreto. Também é

importante ressaltar que, pelo menos, existiram 15 estudantes totalmente favoráveis em conceber energia como algo abstrato.

Quadro 5.14 – Enunciados dos itens 23 ao 29 do questionário

Item	n° no Q	Enunciado do item
23	26	Calor é um conceito sobre algo concreto, como uma substância.
24	2	Calor é um conceito que diz respeito a um processo físico, um evento que ocorre ao longo do tempo, não é um objeto ou uma substância.
25	12	Calor é a quantidade de energia que é trocada entre dois corpos.
26	29	Energia é um conceito relacionado a algo abstrato, como um número.
27	14	Dizer que “está quente” é o mesmo que dizer “calor”.
28	9	“Quente” significa “temperatura alta”.
29	1	“Frio” tem o mesmo significado que temperatura baixa.

Figura 5.16 – Distribuição das respostas dos itens 23 a 29



Os três últimos itens (Quadro 5.14) foram elaborados com a finalidade de identificar se há obstáculos verbais, mas a contradição salientada acima já pode ser interpretada como uma manifestação de *obstáculo verbal*. O termo energia, carecendo de clareza no seu significado por parte dos estudantes, pode ter sido usado de forma dúbia

para explicar o termo calor. Devemos lembrar que no item 17 (Figura 5.15), somente 39 concordaram (parcial ou totalmente) com a afirmação de que calor pode ser entendido por meio da estrutura microscópica. Este número saltou para 73 no item 22 (Figura 5.15) quando o termo energia apareceu como diferença nas afirmações. Desta forma, energia pode estar sendo usado como uma palavra suficiente por si só para explicar um fenômeno.

Sobre a manifestação de obstáculos verbais, ressaltamos as respostas aos itens 27 e 28 (Figura 5.16), pois um número razoável de estudantes entende a palavra 'quente' com duplo significado: como calor (item 27 – Quadro 5.14) e como temperatura alta (item 28 – Quadro 5.14). Neste último, há um elevado índice de concordância. Em contrapartida, no item 29, a concordância total de que 'frio' seria sinônimo de temperatura baixa é bem menor e a discordância é superior ao do item anterior. Um motivo para essa diferença estaria, talvez, expresso no item 10, em que foi afirmado que o gelo possui frio, sendo que apenas 24 estudantes concordaram totalmente com essa interpretação.

5.2 – ATIVIDADE EXPERIMENTAL I – O OBJETO É QUENTE OU FRIO?

Antes de realizar a primeira atividade experimental, foi solicitado aos estudantes que respondessem no que se baseiam para aceitar a sensação de frio. Após isso, uma discussão sobre a possibilidade do tato ser um indicador adequado do que é frio ou quente levou à realização da atividade experimental. Nesta, um estudante tocou em vários objetos para indicar sua condição térmica; ele estava vendado para não identificá-los visualmente, evitando inclinar a sensação térmica para concordar com suas representações. Mas antes de dar o parecer ao tocar nos objetos, os colegas deveriam registrar suas expectativas sobre qual seria a sensação do estudante vendado. Desta maneira, poderíamos contrastar eventuais discordâncias e gerar um debate sobre a sensação térmica. Após ser dado o parecer do estudante vendado, solicitamos aos colegas que justificassem por escrito os possíveis motivos pelos quais os palpites foram corretos ou incorretos. Todos os dados foram registrados no roteiro de Atividade Experimental I (Apêndice D).

Esta primeira atividade experimental teve como um de seus objetivos gerar uma situação de manifestação de obstáculos de aprendizagem. De posse destes dados, o professor-pesquisador ajustaria o andamento das aulas seguintes. De modo que pudéssemos identificar possíveis obstáculos de aprendizagem, orientamos a análise das respostas à ficha de atividade pela metodologia de “análise de conteúdo”, conforme Bauer (2008).

Para a construção de nosso referencial, seguimos as orientações trazidas pelo autor que lembra que o processo de categorização envolve “a natureza das categorias, os tipos de variáveis de códigos, os princípios organizadores do referencial de codificação, o processo de codificação e o treinamento para codificação” (BAUER, 2008, p. 200). Primeiramente, fizemos uma leitura de sondagem do material, mapeamos os conjuntos de respostas semelhantes (tipos de variáveis) e avaliamos as características das respostas (natureza das categorias). Na sequência, definimos categorias prévias de manifestações de obstáculos, ao contrastarmos estas categorias com aquelas levantadas teoricamente (princípios organizadores e processo de codificação). Por fim, levantamos a quantidade¹⁹ de respostas enquadradas por categoria.

¹⁹ Nem todas as respostas foram catalogadas, isto porque algumas são incompreensíveis ou carecem de informações mínimas.

Casos especiais, cujas respostas possuem um conteúdo mais rico, serão analisados mais enfaticamente e servirão para exemplificação.

Para iniciar a atividade, os estudantes eram questionados sobre como poderiam determinar se um objeto era quente ou frio, cuja resposta mais frequente era ‘tocar’ nos objetos. Neste momento foi solicitado que registrassem suas opiniões no quadro 1 do roteiro de Atividade Experimental I (Apêndice D), cuja pergunta era: *Ao interagir com certo objeto, você percebe que ele é frio. No que você se baseia para aceitar esta percepção?* Após a realização da atividade, e diante das afirmações do colega que tocou nos objetos, foram respondidas as questões dos quadros 3 e 4 que solicitavam, respectivamente: 3. *Escolha um material cujas respostas foram divergentes e explique por que você deu esse palpite.* 4. *Explique também o motivo de seu palpite no caso de materiais em que as respostas foram iguais.* As representações trazidas nestas três questões serão analisadas a seguir.

Na coluna do meio na Tabela 5.6, estão discriminadas as categorias identificadas no tratamento dos dados. Elas também correspondem a manifestações de obstáculos. Agrupamos as categorias semelhantes em conjuntos de obstáculos epistemológicos (indicados na primeira coluna do quadro), tal como levantamos no corpo teórico desta dissertação. No último grupo, temos representações que não se enquadraram nas outras categorias como manifestações de obstáculos, mas as mantivemos no quadro por serem relevantes à elaboração das aulas. A coluna ‘n’ indica a quantidade de tipos de representações diferentes encontrados e que manifestam um mesmo obstáculo. As últimas duas colunas à esquerda apontam o somatório – correspondendo às quatro turmas A, B, C e D – da frequência das categorias. A coluna Σ apresenta quantas vezes cada representação foi expressa nas três questões e, por último, a coluna Σ_{Grupo} é a soma para cada obstáculo.

Tabela 5.6 – Distribuição em categorias das respostas ao roteiro de Atividade Experimental I

Grupo	n Categorias das respostas / manifestações de obstáculos	Σ	Σ_{Grupo}
Obstáculo da Experiência Primeira	1ª confiança na sensação gerada pelo tato	60	159
	2ª tato como identificador de temperatura	30	
	3ª generalização de experiências comuns ou rotineiras	21	
	4ª atribuição de uma qualidade natural ao	16	

Grupo	n	Categorias das respostas / manifestações de obstáculos	Σ	Σ_{Grupo}
		material		
	5 ^a	sobreposição de imagens	6	
	6 ^a	roupa é quente porque esquentada	26	
Obstáculo do Pensamento Substancialista	1 ^a	calor da mão (corpo humano)	6	47
	2 ^a	calor (ou frio) do objeto	9	
	3 ^a	rigidez do sólido não transmite calor	3	
	4 ^a	material transmite (ou não) calor para a mão	11	
	5 ^a	origem e fabricação do material	6	
	6 ^a	absorção ou armazenamento de calor	12	
Obstáculo Animista	1 ^a	material vivo / orgânico ou inorgânico	2	2
Obstáculo Verbal	1 ^a	uso do termo 'gelado' como explicação final	24	25
	2 ^a	uso de termos relacionados a características físicas como explicação final	1	
Representações diversas (não consideradas como manifestações de obstáculos)	1 ^a	diferença de temperatura entre a mão e o objeto	27	70
	2 ^a	se a mão ou o objeto está mais quente que o outro	11	
	3 ^a	a sensação é provocada pela variação na temperatura da mão	4	
	4 ^a	isopor é um isolante, pois mantém a temperatura do seu conteúdo	2	
	5 ^a	calor como transmissão de energia entre os corpos	1	
	6 ^a	depende do ambiente ou da temperatura do ambiente	16	
	7 ^a	a sensação é gerada pelo sistema nervoso	6	
	8 ^a	depende da agitação das moléculas	3	

Fonte: Dados da pesquisa

No total são 23 categorias, agrupadas em 5 conjuntos distintos. Como são três questões e 87 estudantes responderam-nas, há o total de 261 respostas. Em um panorama geral, o obstáculo da *experiência primeira* foi manifestado em 159 respostas, correspondendo a 60,9% do total; o *pensamento substancialista* mostrou-se 47 vezes (18%); o *obstáculo animista* esteve presente em 2 respostas; o obstáculo verbal foi manifestado 25 vezes (9,6%); e *representações diversas* apareceram em 70 respostas (27%).

Ao somarmos a frequência com que as categorias foram identificadas, notamos o total de 303, excedendo o número de respostas: 261. Isso se deve a algumas respostas manifestarem mais de um obstáculo ao mesmo tempo e outras que apresentaram duas ou mais representações, incluindo tanto manifestação de obstáculo quanto representações diversas. Cinco respostas não foram categorizadas devido à ilegitimidade ou texto incompreensível.

Na última coluna da Tabela 5.6 (frequência dos grupos de categoria) verificamos que 159 respostas manifestaram o obstáculo da *experiência primeira*. Podemos dizer que a cada 3 respostas, aproximadamente, 2 correspondem a este obstáculo. Destas, 60 demonstram que o ato de tocar em algum material é uma maneira confiável para determinar se ele é frio ou quente. Em 30 respostas, houve associação entre a percepção e a temperatura, sendo esta detectável pelo toque, em que a sensação de frio/quente indica temperatura baixa / alta. Várias respostas, 21, justificaram que um objeto seria frio ou quente por causa do convívio ou pela repetição de determinada sensação ao tocá-lo. Este resultado indica que os estudantes fazem generalizações a partir de experiências comuns, em um pensamento legitimamente empirista.

Com menor frequência, encontramos 16 afirmações que relacionavam as palavras natural ou comum à qualificação de um objeto como frio ou quente, apresentando a ideia de que esta seria uma das características que define o objeto. Como no caso de Tina: “porque eu considero que a madeira é um material naturalmente quente, em comparação à temperatura ambiente”. Quando se assume que é o “natural” e utiliza-se deste termo como explicação definitiva, o sujeito exibe um pensamento baseado nas primeiras impressões. Com esta mesma forma de pensar, surgiram 26 justificativas na questão 3 de que o tecido é quente porque aquece. Salientamos que esta questão tinha como finalidade que os estudantes justificassem porque deram um palpite que não se confirmou pelo colega. Eles haviam afirmado que o tecido era quente, mas o colega disse frio. Sendo assim, esta representação (tecido

é quente porque esquentar) veio à tona por decorrência da atividade experimental. Portanto, evidenciamos que houve influência da atividade experimental no processo de Identificação dos obstáculos.

Somente 6 respostas explicitam o que chamamos de “sobreposição de imagens”; expressão que já utilizamos na seção 1.1. Como “sobreposição de imagens” consideramos aquelas em que duas experiências comuns são utilizadas juntas para justificar um comportamento, uma reforçando a outra, como no exemplo do estudante Murilo: “como eu encosto no objeto e percebo que ele está frio ou quando vejo um vaporzinho (como em um cubo de gelo)”. Ele associou a sensação de frio (pelo toque) ao “vaporzinho” – que provavelmente é água em estado líquido ou sólido em suspensão no ar – que é uma “característica” do gelo. No entanto, este estudante já havia assumido que o gelo fosse frio e muito provavelmente devido ao toque. Outra manifestação semelhante, de mesma categoria, ocorreu quando a estudante Nina tenta justificar porque achava que vidro fosse frio: “Vidro. Para mim é frio porque é um líquido congelado e não transmite calor”. Fica evidente que houve associação entre a água em estado líquido que congela – devido a um processo de resfriamento – com o vidro líquido que se solidifica; voltaremos a analisar esta justificativa nos parágrafos seguintes.

Não foram muitas as justificativas que manifestaram algum tipo de qualidade interior dos objetos para explicar os fenômenos. Contabilizamos 47 que apresentaram o *pensamento substancialista*. Frente a uma resposta diferente da colega que tocou nos objetos, Celso teve de responder por que havia pensado que o tecido fosse quente: “Tecido, eu achei quente porque no meu tecido se encontrava o meu calor e no tecido que ela tocou não tinha absorvido um calor parecido com o meu”. Notamos como há a manifestação de duas das nossas categorias do pensamento substancialista, a primeira e a sexta, pois indica que o corpo humano possui calor (1ª) e que o tecido deve absorver/armazenar calor para ficar quente (6ª). Contabilizamos 6 afirmações de que o corpo humano possui calor e 12 explicações indicando que calor é algo absorvível e armazenável.

No escrito pela estudante Nina há várias manifestações de obstáculos. Sua resposta foi: “Vidro. Para mim é frio porque é um líquido congelado e não transmite calor”. Além de apresentar a sobreposição de imagens, associamos esta frase à categoria “origem e fabricação do material” (5ª do pensamento substancialista) e a “material transmite ou não calor” (4ª). O vidro não emitiria calor, segundo ela, porque o líquido congelado é frio. Imaginamos que a expressão “líquido

congelado” da estudante tenha origem na informação de que durante seu processo de fabricação o vidro é resfriado (por meio de água) transformando-se de um líquido, quente e rubro, em um material rígido, frio e transparente²⁰. Em contraponto, a estudante Dora selecionou o vidro como quente por causa desse mesmo processo: “vidro → porque o vidro é aquecido para ser feito”. Assim, o vidro guarda uma “qualidade interna” ao ser aquecido. Ambas as respostas, mesmo contrárias, evidenciam fortemente o *pensamento substancialista*.

Sobre características internas que explicam as “superficiais”, temos exemplos de respostas da estudante Helena às questões 3 e 4. Para ela, isopor, metal, e madeira são frios (de acordo com o seu registro em sua tabela no roteiro de atividade) devido a sua característica de dureza. Na questão 3: “Isopor [frio]→ material mais duro.” Na questão 4: “Madeira→ por ser um material duro. Metal → por ser um material duro e pesado”. Assim, há uma qualidade interna destes materiais que os manteriam frios. Qualificamos esta resposta como “a rigidez não transmite calor”, pois se assemelha a outras, como as seguintes respostas da estudante Joana. Na questão 3: “acho que o isopor seja quente pois não é um material resistente, ou seja, pode haver liberação de calor”. Na questão 4: “acho que o vidro é frio pois é algo rígido, encontrado sempre em forma sólida e dura, não havendo liberação de energia vinda dele”. Nestas representações, consideram que a rigidez do material (3ª categoria do pensamento substancialista) seja o fator principal na emissão ou absorção de calor pelo material, apresentando um *pensamento substancialista*. Estas formas de manifestação de obstáculos não foram explicitadas por meio do questionário e isto reforça o potencial desta atividade experimental para promover o processo de Identificação de obstáculos.

Em relação ao obstáculo animista, duas representações chamaram nossa atenção. O estudante Saulo justificou porque o plástico era frio: “porque o plástico é inorgânico”. De forma semelhante, mas falando da madeira ser quente, a estudante Larissa justificou: “Eu acreditei que a madeira era quente porque a madeira era algo vivo, que tinha calor, e por isso é quente internamente”. Notamos que a característica quente, para ambos, depende de o material ser orgânico, ou seja, se teria relação com seres vivos. De forma mais explícita, a estudante Lara explicou que

²⁰ Existe a possibilidade, ainda, de a estudante ter entrado em contato com informações sobre as particularidades do vidro durante a transição entre os estados líquido e sólido.

o ser vivo possui calor interno e, por essa razão, tudo aquilo originário dos seres vivos manterá essa qualidade interna.

Encontramos um grande número de respostas em que era feito uso das palavras *gelado* ou *gelar* para se referir à sensação de frio. Sendo assim, o termo *gelado* seria um sinônimo para frio. Contudo, identificamos que a utilização deste termo em 24 respostas era feita para legitimar a sensação térmica e, assim, a expressão passou a ser explicação – suficiente por si só – do fenômeno. Podemos ainda inferir que *gelado* está associado aos objetos cuja sensação térmica acusada é “frio”; já para a palavra “ambiente”, associaram as expressões “frio” ou “temperatura baixa”. Se levarmos em conta que *gelado* está ligado a gelo (água congelada é a referência mais comum), muito provavelmente o sentido daquele termo é: aquilo que é *gelado* possui propriedades do gelo. Desta forma, consideramos a utilização de *gelado* e *gelar* como uma manifestação de obstáculos verbais, uma vez que foram muitas vezes utilizadas como justificativa final e a “característica de gelo” tornou-se a explicação. Identificamos somente um caso em que um termo diferente foi utilizado com explicação final, que foi na resposta da estudante Alice: “com o isopor, metal e vidro deu respostas iguais, pois o isopor retém calor, o metal por ser laminado é frio e o vidro também. Pq Deus quis assim e assim é”. Desperta nossa atenção a explicação da sensação de frio para o metal e para o vidro, que ambos seriam *laminados* e isso implica em serem frios. Por mais que seja difícil interpretar o que a estudante pretendia explicar, a palavra foi usada de forma conclusiva sobre a sensação.

Ressaltamos que muitas das representações categorizadas na Tabela 5.6 também foram trabalhadas em outras pesquisas (AMARAL; MORTIMER, 2001; MATTOS; DRUMOND, 2004; OLIVEIRA *et al.*, 2012; RIBEIRO, 2004; SILVA; PACCA, 2012). Desta forma, esta dissertação conta com uma abrangência relativamente ampla – para além das turmas aplicadas –, pois um grande número de professores deparar-se-á com muitos dos obstáculos aqui identificados e que devem ser trabalhados didaticamente.

O número considerável de 70 *representações diversas* (Tabela 5.6) mostra que vários estudantes já fazem uso de explicações mais sofisticadas. Encontramos 27 respostas indicando que a sensação térmica depende da diferença de temperatura entre a mão e o objeto, bem como 16 afirmando que depende do ambiente e sua temperatura. Essas 43 respostas expõem representações que surgem de um distanciamento das primeiras impressões, isto é, da experiência comum. Ao mesmo tempo, todas as 70 representações apontam que alguns

estudantes tiveram contato anterior com conhecimento científico sobre fenômenos térmicos.

No registro que temos do áudio das aulas, durante a discussão desta atividade, encontramos manifestações de obstáculos iguais às registradas nas fichas e analisadas acima. No entanto, pelo áudio, é possível notar aspectos didáticos relevantes da atividade experimental para a superação dos obstáculos levantados. A seguir trazemos um diálogo desenvolvido na turma A:

Professor (P): - *A tua mão, você diz que influencia. A temperatura da tua mão influencia na sensação. Então, a sensação é a temperatura do objeto?*

Lívia: - *Não.*

Clara: - *Também. Acho que sim.*

P: - *O isopor deu quente e o metal era frio. A temperatura dos dois era diferente?*

Estudantes - *Sim*

P: - *Então tá. [risos dos estudantes]. Tá todo mundo dizendo que o tato mede a temperatura. Primeiro disseram que não, depois disseram que sim. Tem gente confusa. Tem muita confusão.*

Edson: - *O tato é a sensação térmica. Não dá para saber a temperatura.*

Esta pequena parte da aula demonstra como a atividade experimental gerou uma discussão sobre a sensação térmica. Os estudantes estavam buscando uma solução para explicar as diferenças entre as suas expectativas e as sensações que o colega revelou ao tocar nos objetos. Com a necessidade – gerada pela AE – de se explicarem, muitas representações diferentes vieram à tona. Diante do que o professor questionou, surgiu um impasse. Assim, podemos dizer que houve o processo de Identificação do obstáculo da *experiência primeira*, pela explicitação de representações diferentes por parte dos estudantes. Um diálogo semelhante ocorreu na Turma D:

Professor: – *O nosso tato mede a temperatura dos objetos?*

Eloá: – *Mede*

Lais: – *Não.*

Marta: – *Depende de acordo com a sua temperatura. Se a mão tá mais quente, o pano tende a ser*

mais frio ou mais quente que o metal, depende da mão.

Olavo: – *Se eu tô com frio e encosto na parede, a parede tá quente. Se eu tô com calor e encosto na parede, ela tá fria.*

Nos dois diálogos acima é possível identificar manifestações tal como categorizamos e detalhamos na Tabela 5.6. Chamamos atenção como o obstáculo da *experiência primeira* é manifestado quando afirmam que o tato informa a temperatura do objeto, e,

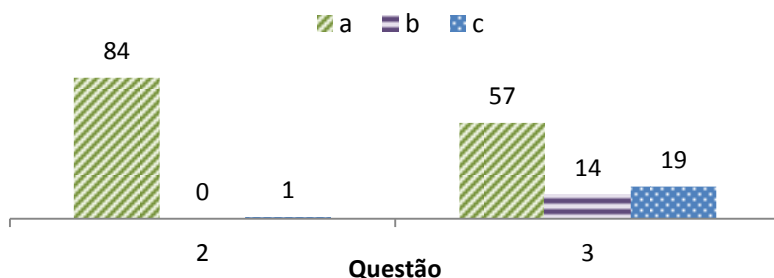
concomitantemente, colegas tentam argumentar que não, estabelecendo uma situação de conflito entre representações.

5.3 – ATIVIDADE EXPERIMENTAL II – OS TRÊS COPOS COM ÁGUA

É uma adaptação da conhecida “experiência de Locke” das três bacias, pois utilizamos três copos entregues a grupos de estudantes. Cada copo foi preenchido com água em diferentes temperaturas, de modo que a diferença de temperatura entre elas fosse facilmente detectável ao encostarem a mão. No copo marcado com “A”, havia água a uma temperatura bastante inferior à da pele; no copo “B”, havia água à temperatura ambiente, pouco abaixo à da pele; e, por último, no copo “C”, a água estava a uma temperatura bem mais elevada que a da pele. Para iniciar, questionou-se como determinar se os copos continham água quente ou fria.

Começaremos a análise pelos registros no roteiro de atividade experimental II (Apêndice D). Enfocaremos a distribuição de respostas por alternativas das questões 2, 3, 4, 5, 7 e 9. Salientamos que as questões 2, 3, 4 e 5 possuem alternativas “a”, “b” e “c”, enquanto a sétima também tem alternativa “d” e, na nona, temos ainda a alternativa “e”. As demais questões do roteiro não serão analisadas por servirem apenas como registros da atividade, não explicitam representações. O número total de respostas por questão varia devido à omissão de alguns grupos – seja por não quererem responder ou por impossibilidade devido ao tempo – ou pela seleção de duas alternativas (como na questão 3). O número total de respondentes foi 85.

Figura 5.17 – Número de concordância às alternativas das questões 2 e 3 do roteiro de AE I

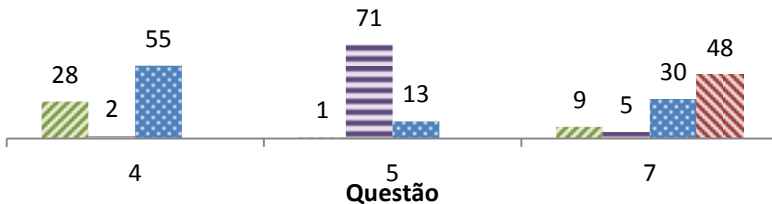


Lembramos que foi proposital a ordem para mergulhar as mãos presente no roteiro de atividade, na sequência “fria” (copo A) → “morna” (copo B) e → “quente” (copo C), para evitar diferenças entre resultados de estudantes neste momento. Quase todos os 85 estudantes

afirmaram (Figura 5.17) que a água no copo C estava a uma temperatura maior que a do copo A, enquanto somente 1 (um) afirmou que não é possível comparar as temperaturas fazendo uso da mão. Provavelmente esta última resposta decorre da discussão da atividade anterior, na qual se contestou o emprego do tato para medir temperatura. Os outros 84 respondentes não estão equivocados, já que foi usado um mesmo tipo de material (água em estado líquido) e é praticamente nula a diferença na condutividade térmica da água dentro do intervalo de temperatura usado nesta atividade. De qualquer modo, houve uma convergência muito grande nas respostas, que depois seria importante para gerar uma situação de conflito quando fosse checada a correspondência empírica das representações dos estudantes. E essa convergência deixou de existir na questão 3.

Ao serem questionados sobre como isso poderia ser explicado em termos de calor (Figura 5.17), a maioria (57) afirmou que a água no copo C possui mais calor que a do copo B; manifestando novamente o *obstáculo substancialista*. Outros (14) optaram em dizer que a água no copo A possuía mais frio que calor; indicando que haveria duas qualidades internas distintas: o frio e o calor. Por fim, 19 afirmaram que a água em C estar mais quente estaria relacionado somente à temperatura dela (não ao calor). Se, na Tabela 5.6, computamos poucas manifestações do *pensamento substancialista*; nesta questão 3 do roteiro de atividade experimental II (Apêndice D), ele apareceu 71 vezes. Assim que os estudantes respondiam a esta questão, o professor comentava que testariam a ideia de alguns colegas, que o estado da mão influenciaria na “medida” e, para isso, alternariam rapidamente a mão entre os copos, mergulhando-a em cada água.

Figura 5.18 – Número de concordância às alternativas das questões 4, 5 e 7.



Notamos pelas questões 4 e 5 (Figura 5.18) que a água no copo B foi apresentada como se estivesse em três estados diferentes. Na questão 4, ao retirar a mão da água no copo A (água fria) e coloca-la na água em

B, 28 acusaram-na como quente e, para 55, estaria morna. Ao repetir o processo, mas agora do copo C (água quente) para o B, 71 afirmaram que a água em B estava fria. Sendo assim, a atividade fornece um elemento bastante rico para discutir os limites das representações em jogo. Para reforçar o problema da água em três estados, foi solicitado que medissem a temperatura das águas com um termômetro.

Diante dos resultados, foi questionado, na questão 7 (Figura 5.18), o que poderiam afirmar sobre o que sentiram ao mergulharem a mão na água. Esta questão possui dados bastante valiosos para identificarmos o impacto desta atividade experimental dos três copos. Um número pequeno (9) de estudantes confirmou que o tato mede temperatura, evidenciando uma mudança de representações se compararmos com as respostas à questão 2 do Questionário (Figura 5.13), em que 29 haviam concordado totalmente e 36 parcialmente. Desta forma, esta atividade parece contribuir para a Fissuração do obstáculo da *experiência primeira*, ao mostrar as limitações de se confiar nas primeiras impressões.

Já que a ideia de o tato medir a temperatura estava sendo rejeitada, precisamos identificar quais foram as representações alternativas. Temos o registro (Figura 5.18) de 5 estudantes que concordaram com a alternativa b, de que a sensação era o calor armazenado na água. Porém, esta alternativa, além de manifestar o *pensamento substancialista*, também exibe o obstáculo da *experiência primeira*. Assumir que o calor da água em B fosse sentido, não seria adequado e suficiente para responder como a água estava quente, fria e morna. Atentos a isso, 30 respondentes assumiram que a sensação térmica é a troca de calor devido à diferença de calor entre a mão e a água, o que seria bem mais adequado para explicar os “três estados” da água no copo B. No entanto, devemos lembrar que a origem desta afirmação segue ainda o *pensamento substancialista*, pois atribui ao calor a qualidade de ente absorvível.

Na questão 7 (Figura 5.18), temos 48 estudantes que optaram pela “d”, de que o tato indicaria a existência de diferença de temperatura entre o objeto e a mão. Apesar de não ser uma explicação suficiente para entender o fenômeno como um todo, aceitar esta ideia exige um afastamento das primeiras impressões (das experiências comuns). Neste sentido, o número relativamente elevado de concordância com esta alternativa reforça que esta atividade experimental provocou um conflito, contestando a representação dos estudantes e promovendo o processo de Fissuração do obstáculo da *experiência primeira*.

Durante a realização desta atividade, conseguimos captar, por meio do áudio, alguns diálogos relevantes para os processos de superação de obstáculos de aprendizagem. Um dos casos diz respeito à tomada de consciência pelos estudantes das limitações de suas representações. Também há elementos sobre o papel da *problematização* na atividade.

Pouco após identificarem o estado das águas nos copos A, B e C, foram lembrados de uma afirmação que haviam trazido na aula anterior: a influência da temperatura da pele na sensação térmica. Deste modo, houve uma *preparação* sobre o que fazer na atividade experimental. Segue abaixo o diálogo:

Professor (P): – *Na aula passada, alguns falaram que a sensação dependia de algo.*

Heitor: – *Depende da temperatura interna no corpo.*

P: – *Temperatura do corpo, que corpo?*

Heitor: – *Nosso. Se a gente for medir com o tato depende da temperatura do nosso corpo.*

P: – *Tem gente falando que a temperatura da mão influencia. Mas como vamos fazer para identificar se a temperatura da mão influencia? Vamos fazer o*

seguinte. Isso tá na página de trás da ficha. Vamos mergulhar a mão na água do copo A. É água fria no copo A?

Estudantes: – *É*

P: – *Então vai mudar a temperatura da mão, então?*

Estudantes: – *Vai*

P: – *Então vai diminuir a temperatura da mão. E se a gente colocar em B, vai mudar a sensação? É isso que vocês vão ver [repete a instrução para o copo C e solicita que os estudantes façam a atividade]*

Este diálogo, embora pareça simples, é bastante relevante em relação à superação de obstáculos. Partindo de algumas representações explicitadas na discussão da atividade da aula anterior, o professor devolve-as na forma de perguntas e propõe uma maneira de realizar uma atividade experimental para testar o problema em aberto. Assim, estabelece uma situação de problematização, já que há uma preparação prévia do experimento em torno daquilo que se quer observar. Esta preparação do experimento demonstra uma atitude experimental diferente à da *experiência primeira*, que é baseada nas primeiras impressões. Essa tentativa de mudança de atitude experimental enquadra-se, portanto, na etapa da Superação deste obstáculo. Podemos dizer que esta maneira de conduzir a atividade estimulou o pensamento metacognitivo dos estudantes, o planejamento e o controle sobre o pensar e qual ação tomar.

Após a realização desta atividade, já há tomada de consciência pelos estudantes dos limites de suas representações. Sendo mais específico, vários entendiam que a sensação térmica é um reflexo da temperatura do objeto. Por exemplo, se a sensação térmica é de frio, ele está a uma temperatura baixa, e a sensação de quente é decorrente de temperatura alta. Isso está presente no diálogo abaixo:

P: [conversando com um grupo]
– *Concordam com isso? Que a água em B, era morna no início, depois ficou quente e para alguns ficou fria. O tato acusou a temperatura da água no copo B nas três situações?*

Theo: – *Ele mudou, né?*

P: – *O tato mede temperatura, então?*

Lara: – *Não.*

P: – *Antes, a água em B era morna. Depois, para alguns, ela ficou fria e quente. Pode ser as três coisas ao mesmo tempo?*

Lara: – *Depende da temperatura da mão de cada pessoa [reforçada por uma colega].*

P: – *O que seria a sensação de frio, então? Fazendo uso de que a temperatura da mão e a temperatura do objeto.*

Lara: – *Que a mão tá mais quente que o objeto.*

P: – *Então quer dizer que a temperatura da mão tá maior que a do objeto?*

Lara: – *Tá maior.*

Neste diálogo, evidenciamos a influência desta atividade experimental para gerar um conflito com as representações, mostrando as limitações e a necessidade de alterar o modo de pensar. Portanto, a atividade promoveu a Fissuração do obstáculo da *experiência primeira*. No entanto, não podemos dizer que houve o mesmo impacto em todos os estudantes, pois alguns ainda mantiveram as suas representações fortalecidas (ver análise da Figura 5.18), tampouco podemos afirmar que se completou o processo de superação do obstáculo com esta atividade unicamente.

Quando “diferença de temperatura” passa a ser utilizada como explicação do que é a sensação térmica no lugar de sentir a temperatura do material diretamente, inferimos que esta atividade provocou um novo significado para sensação térmica, o de comparação. Esta conclusão pode ser extraída deste diálogo, bem como dos pouquíssimos estudantes que mantiveram a ideia de sensação térmica como medição de temperatura (ver Figura 5.18, questão 7). Portanto, esta atividade demonstrou um potencial enorme do que na seção 1.4 chamamos de *atividade experimental de compartilhamento*.

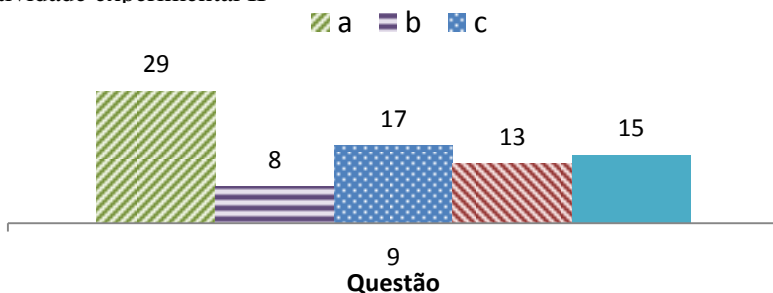
Na aula seguinte, antes de realizar a atividade, foi solicitado aos estudantes que respondessem às questões 1 e 2 do roteiro de Atividade Experimental III (Apêndice D). A primeira era idêntica à questão 7 do roteiro de atividade experimental II (Apêndice D) e a segunda era semelhante à questão 9 (com pequenas adaptações). Infelizmente, muitos estudantes não responderam às questões 1 e 2 do roteiro de Atividade Experimental III (Apêndice D): tivemos 30 respostas na primeira e 19 na segunda. Ou seja, o número de respostas reduziu em aproximadamente 65%. Esse valor baixo impede que seja feita uma comparação adequada entre os resultados de ambos os roteiros.

Dos dados obtidos na questão 1, é interessante que 17 assinalaram que o tato indica se há “diferença de temperatura entre a mão e a água tocada” e somente 2 indicaram que “mede a temperatura”. Dos restantes, 7 optaram pelo tato sentir “o calor que estava armazenado na água” e 4 assumiram como “troca de calor entre a mão e a água”. Na questão 2, de um total de 19 respondentes, 3 optaram por “um objeto metálico tem temperatura mais baixa que um pedaço de madeira”, 4 selecionaram “há mais frio do que calor no metal”, 1 marcou “o pano, com o seu calor, esquenta minha mão” e 11 optaram por “a transmissão de calor da minha mão para o metal é maior do que para a madeira”.

5.4 – ATIVIDADE EXPERIMENTAL III – TEMPERATURA DOS OBJETOS

Após realizar a atividade dos três copos, os estudantes fizeram a medida de temperatura de objetos por meio de um termômetro. Como isso ocorreu ao término da aula, alguns grupos não tiveram tempo de registrar suas respostas à questão 9 (Figura 5.19) do roteiro de Atividade Experimental II (Apêndice D) e vários outros responderam mais de uma alternativa. Muitas medidas de temperatura acusaram valores diferentes para os três materiais, mesmo sendo diferenças menores que 1 °C. Por isso, 29 estudantes optaram diretamente pela afirmação de que o metal tem temperatura mais baixa que os demais. No entanto, é interessante que os 17 estudantes que adotaram a alternativa “c” como correta (metal como melhor condutor de calor) mediram que a temperatura de cada objeto era semelhante. Os 15 respondentes, que acusaram que o pano possuía mais calor que o metal, mediram que a temperatura do pano estava ligeiramente acima dos demais.

Figura 5.19 – Número de concordâncias à questão 9 do roteiro de atividade experimental II



Em um grupo, a estudante Nara demonstra surpresa que o termômetro encostado na barra de metal estava acusando 27°C e que a temperatura do pano era um pouco menor. Diante disso, Nara encostou o termômetro em todos os objetos novamente:

Nara: – *Tá muito estranho isso, né?... Agora ficou em 27.*

Fernando: – *Quer dizer que é normal a temperatura em 27.*

Nara: – *Deu totalmente diferente do que a gente pensava.*

Carla: – *Professor, era para fazer daquele jeito com o pano?* [aponta

para um grupo que havia ‘embrulhado’ o termômetro com o pano]

Professor: – *Pode ser, tanto faz.*

Carla: – *Mas daquele jeito não aquece?*

Em outra aula, nas quatro turmas, o professor refez junto aos estudantes a medição da temperatura dos objetos, fazendo algumas alterações nos aparatos, por sugestão dos próprios, como o questionamento de Carla no diálogo anterior, que estava planejando como realizar a tomada de medida. De forma geral, haviam reclamado que estavam encostando só parte do bulbo de mercúrio do termômetro nos materiais e era preciso que o material englobasse o bulbo. Toda esta situação em que o professor refaz a atividade devido às sugestões e dúvidas evidencia a preparação do experimento, que é um importante passo na superação do obstáculo da *experiência primeira* além de estimular o pensamento metacognitivo.

Assim, com os mesmos tipos de materiais só que mais adequados frente ao solicitado, as medidas de temperatura ainda indicaram diferenças entre materiais; mas, quando houve, foram variações inferiores de menos de 1°C. Diante disso, foi questionado se essa pequena diferença de temperatura justificaria as sensações térmicas tão diferentes entre os materiais. Os diálogos nas turmas foram bastante semelhantes:

Diálogo na turma C

P: [Solicita auxílio de Nara e refaz a medição da temperatura dos objetos. Enfatiza que a diferença dos valores é pequena]

– *Encosta no metal. Como é a sensação de frio?*

Nara: – *Pequena.*

P: – *E comparada ao pano [entrega o pano à estudante]?*

Nara: – [o metal] *É bem mais frio.*

P: – *Mas a diferença de temperatura medida agora de 0,2 graus [Celsius] é quase nada, não é?*

Nara: – *Aham.*

Diálogo na turma A

P: – *Depois de medir a temperatura do copo d'água, a gente não foi medir a temperatura dos materiais. E aí algumas pessoas reclamaram que deu erro, alguns grupos disseram que deu a mesma temperatura, outros que deram uma pequena diferença entre os objetos. Era esperado ou não era para ti?*

Aldo: – *Não era esperado.*

[professor solicita auxílio de uma estudante para refazer a medição]

Alana: – *Ar 25 [°C], madeira 26 [°C], metal 26 [°C] e pano 26 [°C].*

P: – *Algumas diferenças podem ocorrer, porque a gente tá manuseando, esfregando o material, que pode estar alterando um pouco a temperatura do material. Mas aqui a temperatura tá igual, e agora?*

P: – *Você [fala com Joel] encostou no metal, deu sensação de frio. E na madeira? ...*

Joel: – *normal [morna].*

P: – *Se os dois estão na mesma temperatura, o que está diferenciando o metal da madeira?*

Estudantes: – *A sensação.*

P: – *A sensação térmica está sendo diferente. Mas o que está causando essa diferença?*

Stela: – *o material.*

Ao mesmo tempo em que esta tomada de medida potencialmente gerou conflito cognitivo ao surpreender a expectativa de Aldo, também está marcada pelo uso da expressão sensação térmica como algo diferente de temperatura. Nesse sentido, uma nova representação passou a ser usada no lugar de “ao tocar um objeto sinto a temperatura” – baseada na *experiência primeira* –, indicando que se deu início à etapa de Superação deste obstáculo.

Apesar dos resultados das medidas não fornecerem valores iguais de temperatura para todos os materiais, o professor soube colocar o problema de forma adequada, de que a sensação térmica era muito diferente daquilo que os termômetros estavam acusando. Lembrando que os estudantes apontaram em sua maior parte que o metal é mais frio que o tecido, esta atividade gerou um conflito cognitivo, registrado nas falas de Aldo e Nara. Diante do ocorrido, os estudantes, em todas as turmas, identificaram que a origem dessa diferença entre a sensação térmica e a medida do termômetro estaria no material, ou seja, em sua composição. Assim, gerou-se um novo problema: como o material influencia na sensação térmica?

Esta atividade mostra aos estudantes que é preciso diferenciar sensação térmica de temperatura. Isso ocorreu quando a expectativa de o tato medir a temperatura se mostrou equivocada. Devemos ressaltar que a atividade dos copos também favoreceu este processo, pois mostrou a limitação desse pensamento ao compartilharem que tato indica a existência de diferença de temperatura. Entretanto, a atividade de mensuração da temperatura evidencia que a sensação térmica depende de alguma característica do objeto tocado, além da diferença de temperatura. Nesse sentido, esta atividade se aproxima das características de *crítica*, conforme trouxemos na seção 1.4. Por esses motivos, esta atividade provocou a Fissuração e deu início ao processo de Superação do obstáculo da *experiência primeira*.

5.5 – ATIVIDADE EXPERIMENTAL IV – AQUECIMENTO DA ÁGUA

Nesta atividade provoca-se o aquecimento de certa quantidade de água até atingir o ponto de ebulição. Como os obstáculos da *experiência primeira* e o do *pensamento substancialista* sustentam representações como “quanto maior a temperatura maior a quantidade de calor”, esta atividade pretende mostrar suas limitações, pois não haveria aumento de temperatura da água enquanto a água estivesse em ebulição e a chama acesa. Mas para estabelecer a Fissuração destes obstáculos seria preciso gerar uma problematização, a fim de preparar o experimento. O que nos surpreendeu nesta atividade é como sua discussão permitiu levantar várias manifestações do *pensamento substancialista* quando explicações sobre o fenômeno foram apresentadas.

No primeiro momento, vamos apresentar os diálogos precedentes à atividade em três turmas (o áudio de uma das turmas não contemplou este momento). Selecionamos os trechos com maior informação e que apresentam o problema norteador da atividade. No diálogo a seguir, explicita-se o calor como agente do aumento de temperatura.

Diálogo na turma A

Professor (P): – *Para aumentar a temperatura dos 30 mL de água que tem aí no béquer, o que precisa fazer?*

Joel: – *Esquentar.*

P: – *Vamos pensar passo a passo. Tem o foguinho...*

Joel: – *Troca de calor.*

[professor passa informações sobre o experimento, como acompanhar

o aumento de temperatura (devido à troca de calor) e anotar os resultados na ficha]

P: – *O limite do termômetro é 110 [°C]. O que vai acontecer com o termômetro quando chegar a 110 [°C]?*

César: – *Vai explodir!*

Nesse trecho, não houve uma manifestação por parte dos estudantes do que poderiam observar e como observar, talvez pelas perguntas feitas pelo professor – mais limitadoras – e o direcionamento que este deu à aula. No entanto, é gerada uma hipótese, de que enquanto houver a chama em contato com a água, haverá troca de calor (afirmação do Joel) e o aumento da temperatura. Quando César afirmou que o termômetro iria explodir, estava criando a expectativa de que quanto mais tempo a chama ficasse acesa, mais calor seria absorvido e maior seria a temperatura da água. Esta é uma generalização que tem como origem os obstáculos do *pensamento substancialista* e o da

experiência primeira. De forma semelhante, temos no diálogo a seguir uma tentativa de mudança de atitude experimental:

Diálogo na turma C

Carlos: – Não. Vai estabilizar [a temperatura].

P: – Mas para [estabilizar] o que precisa haver de interação?

Manuel: – Uma perder e a outra ganhar.

P: – Perder o que?

Manuel: – Calor.

P: – Alguém discorda? [ninguém se pronuncia].

– *É isso que vamos tentar provocar aqui.*

– *Nós vamos aquecer a água. O limite do termômetro é 110°C. Se vamos aquecer com a chama, vai aumentar, aumentar e aumentar [a temperatura]. Quando chegar a 110 [°C] vocês me avisem, porque se eu tô fornecendo calor, vai aumentar [a temperatura] sem parar.*

Ao mesmo tempo em que o professor busca trabalhar atividades experimentais com um olhar bachelardiano, notamos manifestações de obstáculos epistemológicos. Também é interessante como essa discussão anterior à atividade permitiu identificar pensamentos comuns em turmas diferentes por meio da explicitação das representações, ou seja, levantar as ideias compartilhadas. Uma delas é que a variação de temperatura necessita troca de calor. Ainda não estava claro o que era calor ou temperatura, mas ninguém foi contrário ao utilizar de um termômetro para acompanhar a variação da temperatura da água. Podemos dizer que o problema do aquecimento da água firmou-se como problematização quando houve maior clareza de como cada um pensava a respeito do fenômeno. Os estudantes passaram a projetar o que poderia ocorrer e como operar a atividade. Assim, ocorreu uma espécie de tomada de consciência e princípios de planejamento da atividade, ou seja, estimulou o pensamento metacognitivo. Devemos deixar claro que não estamos considerando que a atividade alcançou um elevado estímulo metacognitivo, tal como vemos em Rosa (2011). Acreditamos que o potencial seria mais bem explorado caso as discussões prévias da atividade experimental, seus instrumentos e a sua operação fossem mais abertas.

Antes de realizar a atividade na turma D, estava havendo uma discussão sobre como seria a troca de calor entre objetos a diferentes temperaturas. Alguns afirmavam que haveria troca de calor no sentido do corpo com maior temperatura para o de menor temperatura. Após uma discussão breve usada pelo professor para saber se estavam considerando que calor seria algo armazenável, foi proposta a atividade:

Diálogo na turma D**Professor (P):**

– *Vamos fazer uma atividade, para ver como que calor e temperatura se relacionam.*

– *Nós temos uma chama para mudar a temperatura da água do béquer. O fogo, com uma temperatura maior que a água, vai*

aquecer a água. Pode ser que tenha alguém em dúvida se calor é uma substância ou não.

– *E se temperatura mede a quantidade de calor, vai aumentar e aumentar a temperatura [da água]. Será que vai aumentar para sempre?*

Esses questionamentos do professor não demonstrariam seu caráter de problema se os estudantes não tivessem explicitado a ideia de calor é como algo armazenável e provocador do aumento de temperatura e, ao mesmo tempo, que outros tenham discordado. De modo geral, os três trechos trazidos anteriormente apontam como esta atividade possui um potencial de promover a Identificação do *pensamento substancialista* pela discussão prévia à atividade. À medida que os estudantes notassem que as expectativas fossem se mostrando equivocadas – frente à manutenção da temperatura – seria promovida a Fissuração desse obstáculo. Nos diálogos a seguir abordaremos se a atividade e a sua discussão promoveram esse momento de abalo ao modo de pensar.

Nas repostas extraídas do áudio fica evidente a facilidade com que identificaram a manutenção da temperatura durante a ebulição da água. Outro aspecto relevante é como alguns estudantes realmente aguardavam que a temperatura da água se elevasse até os 110 °C, como a estudante Juliane:

Diálogo na turma A

Juliane: – *Não deu 110 [°C] ainda, e agora?*

P: – *Mas era esperado que desse, 110 [°C]? O fornecimento de calor não aumentou a temperatura. Mas aconteceu algo com a água?*

Juliane: – *Começou a borbulhar.*

Édson: – *Aumentou a ebulição.*

P: – *Mas mudou a temperatura?*

Juliane: – *Não.*

Édson: – *Depois de cem [°C], não.*

No diálogo a seguir, na mesma turma, outro grupo avança em possíveis explicações relacionando calor e temperatura. Este diálogo, por esse motivo, fortalece a importância da problematização:

Diálogo na turma A

P: – *Chegou a cem?*

Cristiana: – *Agora vai demorar 10 minutos.*

P: – *Por que vai demorar 10 minutos? Então não tá mudando. O que tá acontecendo com a água então?*

Bruno: – *Tá evaporando.*

Danilo: – *Fica estável em uma temperatura.*

P: – *Mas não tem chama, não tem calor ali?*

Danilo: – *Vai ficar 100 graus [Celsius] até ...*

Cristiana: – *Mas o calor vai ficar até um certo nível.*

Manuela: – *É quando começa a evaporar.*

P: – *O que tá acontecendo de diferente com a água, então, tá evaporando ou tá estável?*

Danilo: – *Tá evaporando, a 100 graus [Celsius] a água evapora.*

P: – *Mas não tá fornecendo calor, não devia mudar a temperatura?*

Cristiana: – *Tá fornecendo calor desde ...*

P: – *Pois é, mas não tá mudando a temperatura.*

Cristiana: – *Tá demorando pra aumentar por causa que o calor é ... [afirma em dúvida] igual.*

Certamente a problematização inicial favoreceu os pronunciamentos de Cristiana, que buscava explicar a manutenção da temperatura por meio de calor. Estava refletindo sobre os dados, suas expectativas e fazendo uso de suas representações para tentar explicar o fenômeno. Nesse momento, ela manifesta o *pensamento substancialista*, já que calor pode ser armazenável na água líquida até certa quantidade. Ao fazer essa afirmação, Cristiana considerava que calor estava relacionado somente à temperatura, pois quando a temperatura não mudava mais, indicava que era o máximo possível de calor suportado pela água em estado líquido.

Quando Cristiana tenta explicar de diversos modos o fenômeno e demonstra dúvidas em suas afirmações, podemos perceber que esta atividade experimental provoca um conflito cognitivo, pois suas representações não têm a correspondência empírica esperada. Os colegas não pronunciaram se estavam de acordo ou não. Seria importante caso aparecessem outras formas de interpretar, pois fortaleceriam esse conflito com que ela se deparou. Enquanto Cristiana buscava respostas na quantidade máxima de calor absorvida pela água líquida, Marcio, um estudante de outra turma acusou que o problema estaria na chama:

Diálogo na turma D

Marcio: – *Professor, não vai passar de cem.*

P: – *Por quê? O que tá acontecendo de diferente agora em comparação a antes?*

Marcio: – *A temperatura tava indo rápido, porque a temperatura tava subindo. Agora a temperatura não tá [subindo] por causa do coisa, do calor.*

Gisele: – *Mas por que a temperatura parou de subir?*

Marcio: – *Por causa da força, do tanto de força que tem a...*

P: – *A chama?*

Marcio: – *Isso.*

P: – *A chama está a 800/700 °C. Aqui [aponta para a água] tá a 100 °C. E tá constante a chama.*

Marcio: – *Alguma coisa tá.*

P: – *O que diferencia a água antes e agora? Tem diferença?*

Gisele: – *Tá fervendo.*

P: – *Tá transmitindo calor. Tava aumentando a temperatura. Agora não tá aumentando, mas a transmissão de calor continua. O que tá acontecendo?*

Gisele: – *Tá evaporando. Tava a 30 mL, agora tá diminuindo.*

Marcio questionou que a chama perdeu “força”, que talvez possamos interpretar como a intensidade de calor e, por isso, não há aumento na temperatura da água em estado líquido. Nota-se ainda o forte vínculo entre temperatura e calor em suas respostas, pois o único motivo para não haver mudança na temperatura era se não houvesse mais a troca de calor. Mas quando o professor afirma que a temperatura da chama é bem maior que a da água, Marcio percebe que a sua representação já não é suficiente para explicar o ocorrido. Ainda sobre este diálogo ressaltamos que a estudante Gisele questiona Marcio imediatamente. Ela demonstra insatisfação com a resposta dele, revelando que há diferentes explicações, “níveis” de satisfação (com as respostas) e modos de agir perante o fenômeno. Assim, podemos inferir que esta atividade experimental estabeleceu um *conflito sociocognitivo*, que é bastante importante para o processo de Fissuração do obstáculo do *pensamento substancialista*.

Todo esse processo de Fissuração está girando em torno do modo como estudantes concebem a relação entre temperatura e calor. Já apontamos várias vezes a manifestação do *pensamento substancialista* e a representação mais forte que possuem é: se há temperatura é porque há calor no corpo, como se fossem equivalentes. Esta atividade tem como potencial justamente mostrar que temperatura e calor não são a mesma coisa. Isso ocorreu de forma explícita no diálogo a seguir:

Diálogo na turma C

P: – *Calor e temperatura são coisas iguais?*

Estudantes: – *Não.*

P: – *Isso foi a primeira coisa que o experimento permitiu notar.*

Carla: – *Mas estão relacionados.*

P: – *Como estão relacionados?*

Carla: – *Variar o calor serve para aumentar a temperatura.*

Andréia: – *Calor depende da temperatura.*

Carla e Bruno: – *Não, temperatura depende do calor.*

P: – *Se um corpo tiver a temperatura de 50 °C ele tem mais calor, é isso?*

Andréia: – *Calor tem que ter um ponto de referência.*

O resultado experimental indicou que calor e temperatura não são equivalentes, afinal, a temperatura da água não se alterava após cerca de 100 °C ainda que o calor continuasse sendo fornecido. Mas Carla faz questão de lembrar que, mesmo assim, há algum tipo de vínculo entre eles, pois calor permite variar a temperatura. Em contraponto, Andréia, Carla e Bruno manifestaram o *pensamento substancialista* ao discutirem sobre a dependência entre calor e temperatura. Carla reafirma que variar a quantidade de calor vai aumentar a temperatura e Andréia possivelmente pensou que, para um material (como a chama) ceder calor, ele precisa estar a uma temperatura elevada. A própria discussão reforçou a confusão que pode ser gerada ao considerar que calor e temperatura são equivalentes, já que todos estariam corretos. Porém, infelizmente, o diálogo se mostra truncado, devido ao encerramento da aula naquele instante.

Nas turmas A e D, em discussão na aula posterior à realização da atividade experimental, encontramos no áudio trechos em que os estudantes afirmam que calor e temperatura devem ser vistos como coisas distintas. Nos trechos seguintes, estavam discutindo um gráfico produzido com os dados obtidos pelos estudantes e reforçando que não houve mais mudança de temperatura, mas ainda havia transmissão de calor:

Diálogo na turma A

P: – *Mas, o que acontece, chegou aqui no cem [°C], noventa e nove, cem, estabilizou. [...] então, temperatura e calor são a mesma coisa?*

Alunos: – *Não*

P: – *São coisas diferentes, ok.*

Agora faço a afirmação de novo: temperatura mede a quantidade de calor do corpo?

Iara: – *Mede.*

Iara: – *Não*

Joel: – *Acho que não.*

Jussara: – *Não*

Joel: – *Porque a temperatura pode ficar a cem graus [Celsius]. Ele pode ficar constante, só que o calor vai ser superior, ele não vai tá, não vai conseguir medir a temperatura.*

Diálogo na turma D

P: – *E quando chega perto do cem [°C], o que acontece?*

Theo: – *Ela ebule.*

P: – *E mudava a temperatura?*

Theo e Lara: – *Não.*

P: – *Mas havia transmissão de calor?*

Laís e Lara: – *Sim.*

P: – *Então havia transmissão de calor mas não mudava a temperatura. Então, calor e temperatura são a mesma coisa?*

Lara: – *Não.*

P: – *Se eu fizer essa afirmação: temperatura mede o quanto de calor tem no corpo, tem erro nessa afirmação?*

Olavo: – *Tem.*

Lara: – *Não [contradição] Tá certo. Ali aumentou a quantidade de calor enquanto aquecia.*

P: – *Ah, mas aqui [aponta para o gráfico no momento da ebulição] aumentou a quantidade de calor fornecida mas não mudou a temperatura.*

Theo: – *Não é a mesma coisa.*

Diálogo na turma C

P: – *Se eu fizesse uma afirmação: A temperatura mede o quanto de calor tem no corpo.*

Julia: – *Não.*

P: – *Por quê?*

Julia: – *Porque quando a temperatura ficou na mesma e ... [é interrompida e a discussão muda de assunto]*

Nos três diálogos acima é possível perceber que a atividade experimental permitiu que os estudantes diferenciassem calor de temperatura. No entanto, reforçando a existência *pensamento substancialista*, alguns estudantes ainda mantêm forte vínculo com a representação de que temperatura mede a quantidade de calor do objeto; Joel afirma, inclusive, que a temperatura atingiu um limite, mas o calor armazenado na água continuaria a aumentar. Mesmo que a mudança não tenha ocorrido para todos, a existência de diversas interpretações estabelece um *conflito sociocognitivo*. Sendo assim, esta atividade contribuiu para a Fissuração desse obstáculo. Devemos salientar que essas discussões e as representações explicitadas foram usadas para realizar outra atividade experimental, o ato de esfregar as mãos (seção 5.6).

Outra fonte de dado sobre esta atividade experimental, de aquecimento da água, era a questão 3 do roteiro de Atividade Experimental III (Apêndice D), em que era solicitado que escrevessem o ocorrido no fenômeno em termos de calor e temperatura; mas, infelizmente, poucos grupos respondem. O motivo principal para a ausência de respostas é pelo tempo de realização da atividade, que variou entre grupos, até que a água atingisse o ponto de ebulição e mantivesse a temperatura próxima a 100 °C. Do total de 16 grupos, somente 7 registraram algo no quadro 3 do roteiro. Destes, um relacionou calor e temperatura. Ao analisar esses registros à luz da análise de conteúdo de acordo com Bauer (2008), demarcamos características comuns e chegamos às seguintes categorias: a) a

temperatura diminui a taxa de crescimento a valores elevados (2 respostas); b) a temperatura parou de aumentar perto de 100 °C (2 respostas); c) a temperatura da água estabilizou perto de 100 °C e começou a evaporar/mudar de fase (3 respostas). As respostas dos grupos pertencentes à categoria “a” não fizeram menção à manutenção da temperatura a 100 °C ou à mudança de fase.

Pertencente à categoria “c”, encontra-se a única resposta que fez uso do termo calor: “A água foi esquentando cada vez mais devido a transmissão de calor do fogo para o líquido. Percebemos que passando de 90 °C para 100 °C o intervalo de tempo foi muito maior que os intervalos anteriores. Acreditamos que isso ocorre pois ai chegar a 100 °C a água começa a alterar seu estado físico – está passando para o estado gasoso”. Notamos como vincularam transmissão de calor a aumento de temperatura, mas não fizeram relação explícita entre calor e mudança de fase. Em geral, nas repostas, a ausência do termo calor para explicar como ocorre a ebulição, mas sua menção em relação à temperatura da chama, reforça o vínculo forte entre calor armazenado e temperatura elevada.

5.6 – ATIVIDADE EXPERIMENTAL V – ESFREGAR AS MÃOS

Vários trechos transcritos apresentados nas seções anteriores trouxeram manifestações do obstáculo do *pensamento substancialista*. Elas apareceram mais fortemente nas discussões envolvendo a atividade anterior, do aquecimento da água (seção 5.5). Diante disso, nas quatro turmas, o professor propôs que fossem esfregadas as mãos quando apareciam afirmações de que a água *absorve* o calor da chama ou um objeto a temperatura elevada *tem* mais calor que outro a menor temperatura. Os dois diálogos a seguir são exemplos:

Diálogo na turma C

P: – *Então quer dizer que o metal está a uma temperatura menor que a da sua mão. Mas agora vamos pensar em termos de calor, tua mão tem calor e o metal não?*

Antônio: – *Minha mão tem mais calor que o metal.*

P: – *E isso tem a ver com a tua mão estar a uma temperatura maior que a do metal?*

Antônio: – *É.*

Diálogo na turma D

P: – *Eu gostaria de chamar atenção para saber se vocês pensam ou não que calor é uma substância que está armazenada no corpo.*

Eloá: – *É*

Laís: – *Eu acho.*

Lara: – *Aham, é.*

Sobre o desenvolvimento da atividade experimental em si, que não está detalhado nos diálogos acima, encontramos mais informações no diálogo da Turma B. Neste, o estudante Ivan – que já havia estudado este assunto no ano anterior – demonstra em suas representações um forte vínculo com o *pensamento substancialista*. A resistência de suas representações diante de momentos de dúvida e contradição reforçam que este obstáculo sustenta o seu pensamento. Mas antes de analisá-lo, é relevante esclarecer o contexto.

Estava sendo revisada a atividade de aquecimento da água e alguns estudantes afirmaram que havia troca de calor entre a chama e a água. Posteriormente, o professor afirmou que temperatura não mede a quantidade de calor armazenada pela água, visto que havia transmissão de calor e a temperatura da água era mantida. Apesar dos esforços do professor, os estudantes não aparentavam compreendem com clareza o que estava sendo dito, pois não confirmavam nem negavam suas afirmações. Mesmo assim, partindo disso, o professor começou a

realizar a ação de esfregar as mãos e propôs que também o fizessem. Foi unânime para os estudantes que ambas as mãos haviam aquecido.

Na continuação, surgiu o diálogo a seguir:

Diálogo na turma B

P: – *Voltando agora para a mão. As duas esquentaram! Vamos olhar para a minha mão da esquerda. Se ela aumentou a temperatura ela tem que estar armazenando mais calor, é isso?*

Kevin: – *sim*

P: – *Mas se essa [levanta a mão esquerda] ganhou calor, qual é o outro objeto que estava fornecendo*

calor para ela?... A outra mão! Se essa [mão esquerda] ganhou calor, essa [mão direita] perdeu calor e diminuiu a temperatura, certo?

Ivan: – *Certo*

P: – *É isso mesmo?*

Estudantes: – *Não!*

P: – *As duas aqueceram? Ah, as duas aqueceram!*

No início deste trecho surge o problema norteador da atividade, e Kevin expressa suas representações, confirmando a pergunta baseada no *pensamento substancialista*. É interessante que ocorreu uma maior participação quando o professor assumiu a postura de fazer afirmações equivocadas. Isso ocorreu com Ivan: posicionou-se de modo coerente dentro da concepção de calor como se fosse uma substância, mas um grande número de colegas alertou que sua afirmação não ocorreu na atividade, pois não houve diminuição da temperatura da mão direita em função do aumento da temperatura da outra. Neste momento houve uma situação de conflito entre as representações e a correspondência empírica da atividade. Por isso, o professor questiona Ivan, que se contradiz e reforça nossa interpretação de que seu pensamento esteja baseado em um *pensamento substancialista*:

P: – *Ivan! Se eu medir com o termômetro a temperatura de um corpo. Eu posso afirmar que temperatura mede a quantidade de calor que há no corpo?*

Ivan: – *Não porque não seria uma forma exata de medir todo o calor que o corpo possui.*

P: – *Então o corpo possui calor.*

Ivan: – *De certa forma, sim.*

P: – *Então me esclareça, porque a gente falou agora que não.*

Ivan: – *Sei lá, quando o calor é absorvido, é a troca de calor.*

P: – *Mas o calor tá armazenado no corpo?*

Ivan: – *Não.*

P: – *É um pacotinho armazenado?*

Ivan: – *Não.*

P: – *[...] A gente já sabe que pelo menos calor não é uma substância.*

Percebemos como as respostas de Ivan são contraditórias, já que afirma que calor não é armazenado e, ao mesmo tempo, diz que um

corpo pode possuir ou absorver calor; ainda rejeita a representação de calor como um “pacotinho armazenado”, que seria algo muito próximo à ideia calórico, presente na história da Física. Emília também criticou quando o professor havia feito uso desta expressão (calor como um pacotinho), mas os outros colegas mostraram-se indiferentes.

Não podemos deixar de ressaltar a primeira fala de Ivan, de que um termômetro não seria capaz de medir o calor que o corpo possui. Esse comentário provavelmente tenha sido influenciado pela atividade de aquecimento da água – discutida pouco antes –, pelo fato de não alterar a temperatura da água em estado líquido mesmo com a chama acesa (fonte de calor). Em outras palavras, todo o “calor absorvido” pela água líquida não estava sendo “transformado” em temperatura e acusado pelo termômetro. Interpretamos que esta seja a origem de sua afirmação, na fala destacada. A maneira como Ivan internalizou os resultados da atividade anterior serve de alerta sobre a necessidade de estimular a explicitação das ideias por parte dos estudantes. Ele demonstrou que compreende temperatura e calor como coisas distintas. Entretanto, o *pensamento substancialista* estava tão presente, que gerou a explicação de que todo o calor que um corpo possui não é algo evidenciado totalmente pelo termômetro. Mais a frente, ele traz alguns conceitos para esclarecer e reforçam nossa interpretação de sua fala anterior.

Ivan: – *Mas a quantidade de calor num corpo também depende da temperatura dele. Depende do material, da temperatura e do calor específico*

P: – *Ah, então voltamos para isso aqui [esfrega as mãos]. Uma mão tem calor?*

Ivan: – *Aham*

P: – *A outra também?*

Ivan: – *Aham*

P: – *Se essa aqui [mão direita] tem calor e essa também [mão esquerda], porque essa aqui [mão direita] aqueceu?*

Ivan: – *Teve trabalho*

Emília: – *As moléculas se agitaram [professor não escutou]*

P: – *Então teve aquecimento sem calor?*

Ivan: – *Sim, [trecho com áudio incompreensível] agitação das moléculas.*

P: – *Mas teve aquecimento sem calor?*

Ivan: – *Não!*

P: – *Mas você acabou de falar!*

Ivan: – *Eu tava viajando.*

Como Ivan já havia estudado este assunto, pode ser que o conceito de *calor específico* tenha fortalecido suas representações. No Capítulo I, lembramos que este conceito tem, na sua origem histórica, influência no modelo do *calórico*. Neste caso, muito provavelmente pela ausência de vigilância epistemológica nos seus estudos anteriores, é uma

palavra que se tornou um obstáculo verbal, que gerou uma imagem que reforça o *pensamento substancialista*. Ribeiro (2004) demonstrou preocupação com aspectos didáticos ao se ensinar este conceito e sua origem, porque deixá-la implícita reforçaria o obstáculo. Não será trazido aqui, mas o professor, na aula seguinte, trabalhou a constante de calor específico no gráfico com os dados do aquecimento da água e alertou sobre sua origem, tentando evitar que a internalização deste conceito fosse equivocada.

Ainda sobre o diálogo anterior, podemos perceber que o estudante novamente se coloca em contradições e demonstra estar confuso. Quando Emília faz uso de agitação térmica, ele aderiu a esta ideia. Diante do questionamento se seria o mesmo que dizer que não houve a presença do calor, ele assumiu que estava equivocado.

Para finalizar o diálogo, prosseguimos com um trecho extenso. Entendemos que desta forma será mais fácil acompanhar o momento em que a discussão da atividade experimental demonstra as limitações das representações de Ivan e seu modo de pensar.

P: – *Se essa mão esquentou, houve troca de calor?*

Ivan: – *Se tava esquentando, houve troca de calor*

P: – *Se essa mão esquentou, o calor veio dessa (mão), da direita?*

Ivan: – *Não, veio pelo atrito que tu fez.*

P: – *Tá, então eu esfrego e sai calor do nada?*

Ivan: – *O atrito que tá causando o calor.*

P: – *Tá, então eu tô tirando calor da mão?*

Ivan: – *Isso*

P: – *Tô esmagando e tirando calor, isso?*

Ivan: – *É e tá fazendo atrito*

P: – *Então eu esmaguei e tirei calor dessa mão aqui [esquerda] e tô colocando nessa [direita]?*

Ivan: – *Sim*

P: – *Aumentou a temperatura?*

Ivan: – *Aumentou*

P: – *Mas então diminui a dessa [mão esquerda], por que perdeu calor?*

Ivan: – *Sim*

P: – *Então diminuiu a temperatura dessa mão [esquerda] também?*

Ivan: – *Sim, porque [interrompido]*

P: – *Claro!! Mas não foi o que aconteceu, né?! [risada dos estudantes] Você tá vendo o rolo em que você tá se metendo?*

Dá para explicar isso pensando calor como um pacotinho absorvido pelo corpo?

Ivan: – *Não, não dá.*

Breno: – *Não*

Kevin: – *No [negação]*

P: – *Não dá mesmo? Tem certeza, agora?*

Ivan: – *Tenho*

P: – *Então, se eu falar assim, temperatura mede a quantidade de calor do corpo.*

Ivan: – *Tá errado dizer isso*

P: – *Por que?*

Ivan: [demonstra confusão, e no áudio não está clara a sua resposta]
P: – *Primeiro, temperatura e calor são coisas diferentes. E calor não é*

como uma substância ou um pacotinho armazenado. Porque senão não consegue explicar isso aqui [esfrega as mãos]

No início desse trecho do diálogo, Ivan concordou que o aquecimento era gerado pela troca de calor. Essa linha de pensamento o conduziu a dizer que o calor para o aquecimento da mão direita era proveniente da mão esquerda e, não menos importante, extraído por meio do atrito. Coerente com seu modo de pensar, ele concordou ao ser questionado que a temperatura da mão esquerda deveria diminuir porque foi extraído calor dela. Esse é o momento em que o professor enfatiza a falta de correspondência empírica do que Ivan estava afirmando. Ele reconheceu que sua maneira de perceber o fenômeno não estava adequada o suficiente, quando se deparou com esta atividade experimental. O impacto desta discussão (o conflito cognitivo) foi grande porque até mesmo Kevin e Breno, que estavam quietos, livremente se pronunciaram como contrários à representação de calor como uma substância armazenável.

É bastante importante lembrarmos a importância do professor atuante como mediador ao longo de toda a discussão. Tentou se projetar na forma de pensar do estudante para conduzi-lo até o ponto frágil de suas representações. Foi por meio de sua assistência que o estudante conseguiu compreender as falhas de um pensamento substancialista.

Na aula seguinte Ivan e Emília corroboram nossa interpretação de que esta atividade gerou um conflito cognitivo e mostrou a limitação de um pensamento substancialista. Isso está presente do diálogo a seguir:

P: – *Ivan, lembra do que aconteceu na aula anterior?*

Ivan: – *Que calor não é a mesma coisa que temperatura.*

O papel das moléculas a gente não sabe ainda.

Emília: – *Calor não é pacotinho.*

Ivan: – *É, não é pacotinho.*

Diante dos diversos tipos de representações que foram levantados durante as discussões desta atividade experimental, podemos dizer que ela contribuiu para tomada de consciência dos estudantes sobre o que entendiam por calor. Portanto, favoreceu a Identificação do obstáculo do *pensamento substancialista*. Além disso, identificamos trechos em que os estudantes tomaram consciência da limitação dessas suas representações, estabelecendo a Fissuração do obstáculo.

O aparente “cansaço” do estudante Ivan ao final do diálogo extenso e sua dificuldade em responder ao professor sugere a

necessidade de um novo modelo explicativo para o fenômeno. Este novo modelo deve estar baseado em outra forma de pensar e mesmo assim fazer uso das representações (prévias e geradas) e das críticas a elas expostas ao longo das aulas. Portanto, nas atividades experimentais seguintes esperamos encontrar elementos para a Superação do *pensamento substancialista*.

Antes de finalizar a discussão desta atividade, ressaltamos ao leitor que o professor pouco explorou – conforme os diálogos acima – o que os estudantes entendem por substância. Certamente, a explicitação e o compartilhamento de significados otimizariam o andamento da SD em termos de superação do obstáculo do *pensamento substancialista*.

5.7 – ATIVIDADE EXPERIMENTAL VI – MODELOS DE GASES E SÓLIDOS

Estamos considerando como esta atividade experimental dois aparatos: o *modelo representacional*²¹ do gás ideal (aparato com bolinhas de isopor em um tubo de vidro movimentadas por um pistão) e o *modelo representacional* do sólido (quadro de madeira com bolas de isopor conectadas por molas). Pouco antes da atividade ocorreu o registro por meio de desenhos das representações dos estudantes sobre moléculas de gases, sólidos e líquidos. Temos os diálogos transcritos como a principal fonte de dados para avaliar o impacto desta atividade experimental. Da mesma forma que já o fizemos nas seções anteriores, selecionamos amostras de forma intencional para análise. Buscamos principalmente diálogos envolvendo esta atividade experimental e o processo de Superação de obstáculos.

Para que ocorra a etapa de Superação dos obstáculos manifestados, é preciso a construção de um novo modelo explicativo, cuja base epistemológica seja construtivista, alternativa à visão empirista e realista que têm norteado as representações dos estudantes. Caso o professor tivesse partido da afirmação, na primeira aula, de que temperatura é o grau médio de agitação das moléculas, estaria tratando a Física de forma dogmática e desatento às internalizações deste conceito. Vale ressaltar ainda que molécula está longe de ser um conceito observável diretamente, sendo uma impossibilidade em uma concepção empirista, podendo gerar a sensação no estudante de que a Física não diz respeito ao mundo como conhece. Sendo assim, era imprescindível que, de alguma forma, o professor partisse da representação “tato mede temperatura” até os estudantes refletirem, por meio das ações didáticas e discussões, que havia alguma característica no material para ser estudada de modo a explicar os fenômenos térmicos. Era preciso, portanto, problematizar a sensação térmica. Isso já ocorreu durante as discussões finais da terceira atividade experimental (seção 5.4), na comparação entre a temperatura dos objetos e a sensação térmica.

Outro momento relevante e que explicita a problematização sobre a estrutura da matéria – e sua relação com fenômenos térmicos – ocorreu em discussões da quarta atividade experimental (seção 5.5), quando a

²¹ Estamos seguindo a nomenclatura extraída da dissertação de Machado (2009). Esta expressão refere-se a representações físicas tridimensionais, tal como uma maquete. Mas, no nosso caso, não são estáticos.

água estava mudando de fase e não alterava a temperatura da água líquida mesmo com a ação da fonte térmica.

Primeiramente, analisaremos diálogos ocorridos assim que os estudantes concordaram que havia diferença entre temperatura e sensação térmica. Os três diálogos a seguir são semelhantes. Em todos, como consequência da discussão, o professor ressalta o problema que fica em aberto, ou seja, qual seria a relação entre moléculas / átomos e fenômenos térmicos.

Diálogo na turma A

P: – [...] *Se os dois estão na mesma temperatura, o que está diferenciando o metal e da madeira?*

Estudantes: – *A sensação.*

P: – *A sensação térmica está sendo diferente. Mas o que está causando essa diferença?*

Stela: – *material.*

Manuela: – *Densidade do material.*

Lia: – *Um absorve calor e o outro não.*

P: – *Um absorve calor e outro não?*

Lia: – *Acho que no outro [o calor] foge.*

P: – *O que significa isso, expulsa? Se não expulsa, ele retém...*

Lia: – *Repele.*

Aldo: – *Mas... depende do material.*

Lia: – *Depende das moléculas.*

P: – *As moléculas do metal são diferentes das moléculas da madeira?*

Estudantes: – *Sim.*

P: – *Como que moléculas se relacionam com sensação térmica? Tem mais alguma coisa que diferencia?* [escreve as perguntas no quadro]

Nesse diálogo na turma A, verificamos como duas etapas da superação de obstáculos ocorrem ao mesmo tempo. Enquanto na fala de Lia ocorre a manifestação do *pensamento substancialista*, começa a construção de um novo modelo explicativo. Em outras palavras, a Identificação e a Superação do obstáculo estavam ocorrendo juntas. Cabe ainda ressaltar que a atividade de esfregar as mãos, que provocou a Fissuração deste obstáculo, ocorreu pouco depois deste diálogo. Isto corrobora o que Astolfi e Peterfalvi (1997) haviam afirmado de que esses processos ocorrem paralelamente.

Antes de avançar, faz-se necessário alertar sobre um equívoco conceitual por parte do professor no diálogo anterior. Na sua penúltima fala, fez uso da expressão “moléculas do metal”. Metais não são sólidos moleculares, são compostos por uma rede de átomos ligados entre si. Neste caso, um obstáculo verbal surge na fala do professor, uma vez que o termo molécula estava sendo utilizado com pouca clareza. Conforme

já salientamos em outros momentos, a má Transposição Didática pode gerar obstáculos didáticos. O erro conceitual também está presente nos três diálogos posteriores, nas turmas B, D e C.

Se na turma A rapidamente propuseram que as moléculas seriam influentes; nas turmas B e D, o professor precisou orientar o diálogo de forma mais incisiva. Quando foram questionados sobre a diferença entre o metal e a madeira, a reposta que surgiu de forma imediata (madeira) demonstra como as imagens macroscópicas ainda prevalecem sobre as microscópicas. Acreditamos que seja pela não observação direta destas últimas.

Diálogo na turma B

P: – *O que será que tem de diferente entre o metal e a madeira para dar tanta diferença na sensação térmica, se não é temperatura?*

Ivan: – *Material*

P: – *O material é composto por?*

Letícia: – *Madeira*

P: – *A madeira é feita de que?*

Eduarda: – *Celulose*

P: – *E a celulose é feita de que? A celulose é composta de que?*

Eduarda: – *Moléculas*

P: – *Moléculas. No fundo, a celulose é uma molécula. Ela é composta por átomos, carbono, oxigênio, hidrogênio. Esse metal é composto por ferro, alumínio, não sei. ... alguma coisa no material tá afetando essa sensação.*

Diálogo na turma D

P: – *[...] Por que dá tanta diferença na sensação? O que tem de diferente entre o metal e a madeira?*

Heitor: – *Transferência de calor*

Eloá: – *Material*

P: – *E o que compõem cada material? Do que a madeira é composta?*

Heitor: – *Madeira*

P: – *Fibra de madeira. E do que a fibra é composta?*

Heitor: – *De carbono.*

[professor fala sobre os átomos da celulose]

P: – *Estamos falando de diversos átomos. E o metal, do que é composto?*

Heitor: – *Deve ser alumínio.*

P: – *Aparentemente, as moléculas podem ser indicativo do porque dá sensação diferente. E, talvez, talvez, tenha a ver com o que vocês estão falando de dissipação e transmissão de calor. [...]. Mas, a gente mediu. Se a temperatura é igual, o que difere um do outro tá na substância, alguma coisa da substância.*

Destaca-se, nas sínteses do professor, a concretização da problematização, que é fundamental para a produção de um novo modelo explicativo e da *fenomenotécnica* (BACHELARD, 1996) das próximas atividades. Uma fala de Ivan, na aula seguinte, corrobora

nossa interpretação, da existência de uma pergunta clara a ser respondida: *Que calor não é a mesma coisa que temperatura. O papel das moléculas [nos fenômenos térmicos] a gente não sabe ainda.*

Apesar de semelhante aos anteriores, o diálogo da turma C, a seguir, possui um diferencial. Neste caso, fazem uso de estudos em Química para responder e gerar o problema.

Diálogo na turma C

P: – *Qual é a diferença entre o metal e a madeira?*

Beatriz: – *O material.*

P: – *O que caracteriza o metal ser metal e a madeira ser madeira?*

Antônio: – *Orgânica e inorgânica*

P: – *E o que difere se a matéria é orgânica ou inorgânica? Elas são formadas pelo que?*

Carla: – *As moléculas.*

P: – *Como as moléculas da madeira ou do metal dão diferença na sensação térmica?*

Carla: – *Tem a ver com a ligação metálica?*

Como o assunto corrente na disciplina de Química era “Química Orgânica”, supomos que isso tenha originado a resposta de Antônio. Carla associou as diferentes formas de ligação eletrônica entre moléculas / átomos desses tipos de materiais como sendo uma provável justificativa para a diferença na sensação térmica. O fato de serem motivadas pela outra disciplina não é ruim, pelo contrário, mostra o engajamento dos estudantes em busca de explicações. Consequentemente, reforça nossa análise de como as AEs anteriores geraram conflitos cognitivos e “abriram espaço” para a procura de outros modelos explicativos.

Com o problema lançado, era preciso entender melhor as representações que os estudantes possuem acerca de moléculas e materiais a diferentes estados físicos e temperaturas. Para isso, foi solicitado que desenhassem como se comportariam tais moléculas em sólidos, líquidos e gases genéricos.

A análise dos desenhos foi orientada pela metodologia apresentada por Penn (2008): “semiótica de imagens estáticas”. A autora salienta que toda imagem é polissêmica ou ambígua e toda informação em texto agregada à imagem tem a finalidade de extinguir essa ambiguidade (*ancoragem*). Outro alerta da autora é que em imagens os signos não possuem uma relação sequencial como na linguagem escrita ou verbal, mas estão relacionados espacialmente. A significação para esses signos pode ocorrer em níveis literais (chamada de denotação) ou em níveis mais arbitrários (chamada de conotação), pautado por convenções culturais. Como exemplo de denotação, uma fotografia de uma raposa exibiria suas características de modo “fidedigno”. Como

exemplo de níveis arbitrários, a autora mostra que ao signo raposa pode ser atribuído o significado de arduo, algo compartilhado culturalmente; assim, o signo raposa passou por um processo de significação em que foi descaracterizado daquilo que denotava.

No nosso caso, buscaremos, nos desenhos, os significados que os estudantes atribuíram à configuração das moléculas. Diante de alguns elementos da metodologia indicada acima, buscaremos por textos juntos aos desenhos, tendo visto a importância do mesmo na *ancoragem*. Outro passo é levantar os diversos elementos nos desenhos; este é o estágio denotativo da análise. Após isso, devemos encontrar os ramos de cada elemento. O próximo passo é a busca por níveis arbitrários (com base nos elementos denotativos), tentando responder às seguintes perguntas:

o que tal elemento conota (que associações são trazidas à mente)? Como os elementos se relacionam uns com os outros (correspondências internas, contrastes, etc.)? Que conhecimentos culturais são exigidos a fim de ler material? (PENN, 2008, p. 328).

Esta autora recomenda que também seja considerado aquilo que está ausente, ou seja, o que não foi representado no desenho.

Partindo desses elementos teóricos, construímos um sistema de referência, baseado em elementos denotativos presentes nos desenhos. O levantamento destes elementos foi feito por meio de uma visualização geral dos desenhos, buscando elementos diferentes. Por convenção estabelecida entre professor e estudantes, as moléculas foram desenhadas em forma de bolinhas. Encontramos várias diferenças expressas no Quadro 5.15, que serviram de referência para a análise:

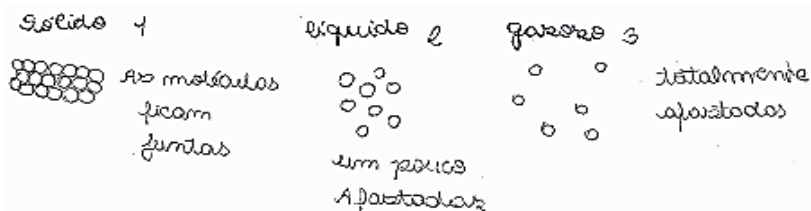
Quadro 5.15 – Elementos denotativos nos desenhos

Moléculas	Tamanho	Quantidade	Espaçamento	Distribuição	Ação	Conexão
“Bolas” / círculos	Grande	Muitas	Grande	Retangular	Linhas cinéticas	Linhas
	Médio	Mediana	Médio	Triangular	Setas	Traços
	Pequeno	Poucas	Pequeno	Aleatória	Estático	Ausente

Como se tratam de imagens, um trabalho estatístico sobre a frequência com que cada um dos itens no Quadro 5.15 não seria adequado. Haveria perda da conotação, pois um tratamento estatístico omitiria a distribuição espacial de todos esses elementos da mesma imagem. Entendemos, dessa forma, que seria contraditório metodologicamente preenchermos o Quadro 5.15 com a frequência dos

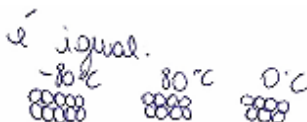
itens nos desenhos. Portanto, optamos por uma seleção intencional de desenhos, em busca de casos exemplares ou ricos em informação.

Figura 5.20 – Desenho com foco no espaçamento entre as moléculas



Na Figura 5.20, temos a representação de um sólido cujas moléculas estão encostadas umas nas outras e organizadas em uma forma retangular, tal como a grande maioria dos estudantes desenhou. Comparativamente, as moléculas do líquido estão ligeiramente afastadas entre si e as do gás bastante. Neste desenho, há as seguintes descrições para as moléculas de um sólido, um líquido e um gás, respectivamente: “as moléculas ficam juntas”, “um pouco afastadas” e “totalmente afastadas”. À medida que se afastam, verificamos também que as moléculas ficam menos ordenadas, mas não há nenhuma indicação explícita sobre a origem deste afastamento ou da desordem. A distribuição espacial dos círculos e o texto de ancoragem dão a conotação de que o sólido é uma versão compacta do gás. Também interpretamos que o sólido é considerado um material mais rígido que os de outros estados. Portanto, fizeram correlação entre a configuração de moléculas com conhecidas características macroscópicas dos materiais.

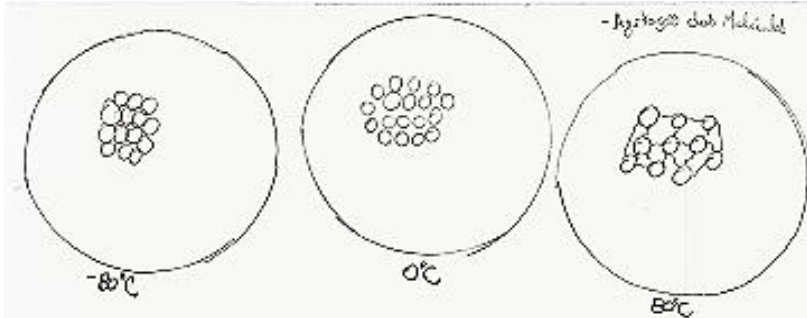
Figura 5.21 – Desenho de um sólido a diferentes temperaturas



Essa conotação de rigidez também está presente em outro desenho (Figura 5.21), que mostra um mesmo material sólido a diferentes temperaturas, cujas moléculas estão muito juntas e sob a distribuição retangular. O número de círculos utilizados foi diferente, mas neste caso o texto de ancoragem deixa claro que o material fica da mesma maneira, excluindo a possibilidade de denotar diferentes quantidades de moléculas do material. Devemos lembrar que rigidez foi

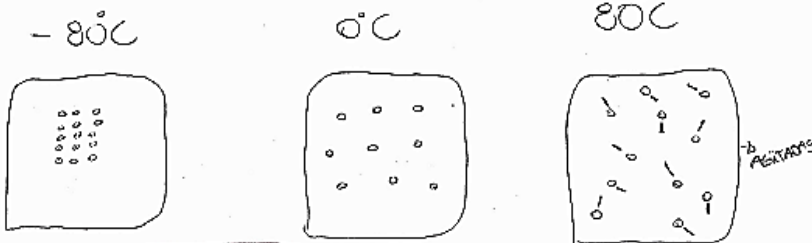
algo utilizado como justificativa para a sensação térmica (ver Tabela 5.6).

Figura 5.23 – Desenho de sólido a 80°C com sinalização de agitação.



Na Figura 5.22 encontramos um símbolo indicando uma ação para as moléculas a 80°C, onde está escrito: “- Agitação das Moléculas”. Essas linhas poderiam ter sido interpretadas como ligação, caso não houvesse a ancoragem associando a linha (-) com agitação. Vale registrar que as linhas não são retas, são bastante sinuosas, o que reforça a referência à agitação. Não há indicativo de movimento nos círculos do sólido a -80 °C ou 0 °C, cuja diferença entre estes dois casos é que as de 0 °C estão pouco mais afastadas. Devemos lembrar que termo zero é associado à nulidade ou como parâmetro de referência para situações opostas (exemplo: crescimento ou decréscimo). Assim, dá a conotação de que a agitação das moléculas é uma característica para temperaturas acima de 0 °C, como se fosse um ponto de transição entre com ou sem agitação.

Figura 5.22 – Desenho de um sólido a diferentes temperaturas

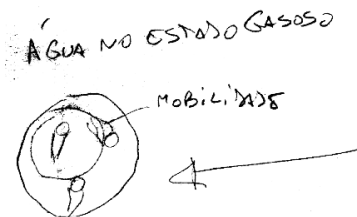


Grande parte dos estudantes não representou linhas ou setas, ou seja, não fez qualquer menção à movimentação, tal como na Figura

5.22. Mas encontramos outros desenhos com indicadores de movimento, como as linhas cinéticas. Felizmente também usaram de textos para ancoragem, aumentando a precisão na interpretação da imagem. Nas figuras 5.23 e 5.24 representaram agitação / movimentação por meio de linhas cinéticas.

Diferenciando-se da Figura 5.22, na Figura 5.23, há uma distribuição regular das moléculas do sólido a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ e, com o aumento da temperatura, aumenta a desordem espacial. Outra diferença: o sólido não é representado por moléculas sem espaço entre elas, estão pouco afastadas umas nas outras. Reforçando a conotação da figura anterior, somente as moléculas a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ estão agitadas. Em compensação, esta figura se diferencia das duas anteriores porque nela existe a conotação de que o sólido aumenta seu volume à medida que a temperatura se eleva. Talvez o autor deste desenho esteja utilizando o conhecimento de que os materiais dilatam ao aquecerem, mas não há como resolver essa dúvida só pelo desenho.

Figura 5.24 – Desenho de um gás com sinalização de mobilidade

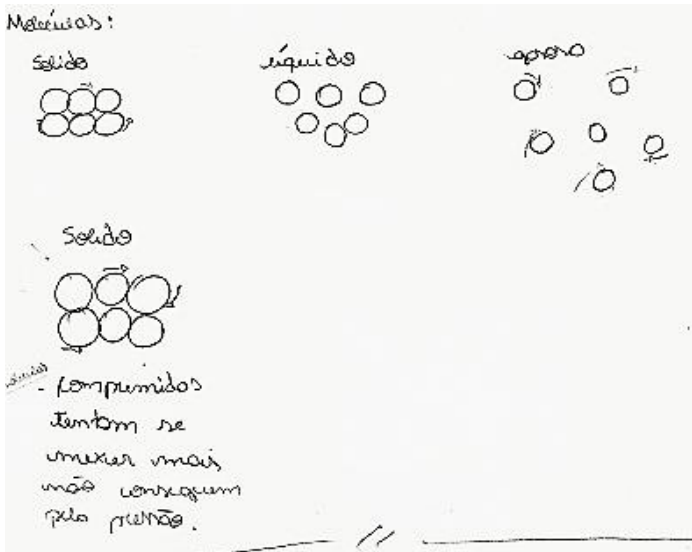


Também tendo referências à movimentação, no desenho na Figura 5.24, usam-se linhas cinéticas para representar a mobilidade das moléculas de água no estado gasoso. Para os estados líquido e sólido o estudante havia representado da mesma forma que na Figura 5.20. A conotação que extraímos é que (somente) as moléculas dos gases possuem liberdade de movimento entre elas.

Encontramos somente um desenho que sinaliza alguma ação dos círculos (moléculas) de um sólido, quando comparado a líquido ou gás. Felizmente, o desenho está acompanhado de um texto (ancoragem). Na Figura 5.25, alguns círculos do sólido estão sem espaçamento entre elas, agrupadas na forma retangular e sinalizadas com setas no seu entorno. Abaixo do sólido, está escrito que “*comprimidas tentam se mexer mais não conseguem pela pressão*”. Acreditamos que a palavra “mais” seja um erro de grafia da conjunção “mas”. Essas setas estão também

presentes nos círculos do material no estado gasoso, mas não há a explicação de que estão impedidas de se moverem. Portanto, a imagem como um todo denota que as moléculas do sólido estão impedidas de se agitarem tal como no estado gasoso, livres para se movimentarem. Não conseguimos interpretar porque, no estado líquido, não há a sinalização de setas e a única diferenciação em relação aos círculos que representam o estado sólido são os círculos estarem mais afastados e desorganizados.

Figura 5.25 – Desenho com sinalização de agitação no sólido

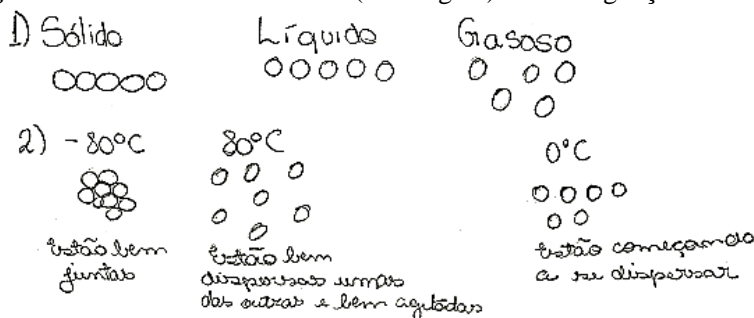


Talvez (admitimos que haja ambiguidade) a representação de sólidos sob a forma retangular tenha a conotação de que estejam fazendo uma sobreposição de imagens e atribuindo qualidades macroscópicas para um mundo micro. Isso reforça a nossa suspeita (ver Tabela 5.6) de que a qualidade *rigidez* pode ser manifestação de um obstáculo verbal. Quando se fala que a pressão impede o movimento das moléculas no sólido, é dada sustentação para nossa interpretação de que o sólido é entendido como uma versão compacta do gás.

Muitos dos desenhos, como salientamos na análise da Figura 5.20, denotam o afastamento entre os círculos (moléculas) como a principal diferença entre os estados sólido, líquido e gasoso. Torna-se inviável tentar saber se existe alguma conotação a movimento quando os elementos espaciais denotam somente afastamento entre as moléculas.

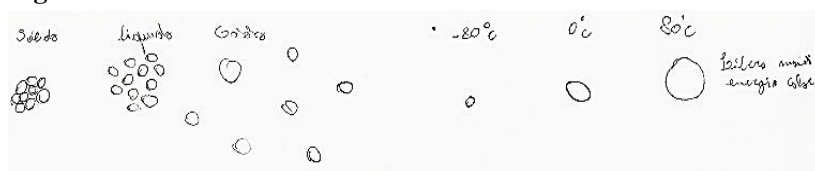
Como exemplo disso, observamos que na parte superior da Figura 5.26 (1), o material nos três estados físicos está apenas diferenciado pelo espaçamento entre os círculos (moléculas) e a desorganização deles, não há qualquer outro elemento como setas e linhas. No entanto, na parte inferior (2), há um elemento textual que sem o qual seríamos incapaz de acusar, pelo desenho, a característica que está escrita. Para $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$, “estão bem juntas”; para $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, “estão bem dispersas umas das outras e bem agitadas”; e, por fim, para $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, “estão começando a se dispersar”. Sem o texto de ancoragem, não saberíamos que a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ as moléculas estariam agitadas. Mas a agitação só é qualificada para esta temperatura, equivalente ao que encontramos nas Figuras 5.22 e 5.23.

Figura 5.26 – Desenho com texto (ancoragem) sobre a agitação



Na Figura 5.27, os materiais estão representados por círculos de tamanhos diferentes. No lado esquerdo, os círculos (moléculas) denotam um pouco de crescimento e maior afastamento no sentido do estado sólido para o gasoso. No lado direito, um sólido a diferentes temperaturas está representado com um único círculo, que nitidamente aumenta de tamanho com a temperatura. Próximo ao sólido a $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ está escrito “libera mais energia calor”.

Figura 5.27 – Desenho com bolinhas de tamanhos diferentes



Podemos afirmar que foi intencional a diferença de tamanho nas bolinhas na parte direita da Figura 5.27. Acreditamos que a diferença seja intencional também no lado esquerdo, apesar de menor. Entretanto, no caso da parte esquerda, devemos considerar a possibilidade de ser gerada por um traço mais rápido. Essa diferença, partindo que haja intencionalidade, conota a ideia de que as moléculas estão mais comprimidas quando no estado sólido do que no líquido ou no gasoso. Mesmo que na parte da direita haja um texto, a ambiguidade também está presente na sua interpretação, ou seja, o texto escrito não serviu como ancoragem.

Uma vez concluída a análise dos desenhos, devemos resumir as principais representações dos estudantes referentes a moléculas, estado físico e temperatura. 85 desenhos associam a diferença de estados ao distanciamento entre as moléculas. Em 53 desenhos, consta que as moléculas em um sólido estão muito próximas e organizadas sob a forma retangular (diferenciando-se do gás ou líquido), conotando que estão rígidas. Somente 14 desenhos apresentam que havia movimento das moléculas de algum dos materiais, pelo menos. Destes, 7 representaram que somente gases ou materiais a temperatura elevadas possuem agitação. Gases são associados à liberdade de movimento. Somente um caso²² explicitou, por meio de símbolos, que havia ligação entre as moléculas.

Partindo dos elementos comuns nos desenhos, o professor deu início à discussão dos modelos cinéticos de gases e sólidos. Quando questionados sobre qual seria a diferença entre sólido, líquido e gás, a distribuição espacial foi a resposta dominante. Ressaltamos que para discutir os desenhos o professor utilizou somente elementos de nível literal (denotados), como o afastamento entre as moléculas, que foi reproduzido no quadro-negro. Por meio deste diálogo, mediado pelo professor, várias ideias relacionadas à ligação entre moléculas foram expostas.

Na turma B o professor questionou se o espaçamento entre as moléculas explicaria a coesão de um material sólido. Antes do diálogo, empurrou a ponta de uma mesa e salientou que toda a mesa moveu, isto é, todas as moléculas se moveram. Também empurrou o ar com a palma

²² Não trouxemos a imagem deste porque a estudante modificou os desenhos ao longo das aulas, inserindo outros elementos e deixando a leitura confusa. Havia descrito também o movimento de moléculas de gás por meio de setas. Discutiremos seus desenhos em um diálogo da turma D, em que ela os justifica.

da mão e comentou que nem todas as moléculas no ar se deslocam juntas e na mesma direção.

Diálogo na turma B

P: – *E se eu empurrar essa ponta do material [aponta para uma molécula dos desenhos dos estudantes de um material sólido]?*

Ivan: – *Elas estão muito agrupadas*

P: – *Por que não solta (a molécula)?*

Alana: – *Tão juntas.*

P: – *E o que significa estar juntas? Tem alguma coisa que une elas?*

Roberta: – *Atração*

P: – *Tem que ter uma atração? E no gás não tem atração?*

Roberta: – *Tem menos*

P: – *[...] A gente saiu do fato de estar mais afastada para se está mais ou menos ligada.*

Empurrar um objeto e o ar, e contrastar o ocorrido com o desenho fez com que os estudantes acima sugerissem que deva existir alguma atração. Ela seria mais intensa no sólido que no gás. Isso também foi dito na turma C. Como essa informação não estava nos desenhos, o professor fez questão de reforçar, como neste trecho:

Diálogo na turma C

Manuel: – *Porque (o gás) não é organizado, é [faz barulhos sibilantes e agita a mão no ar]*

P: – *O que significa estar desorganizado?*

Manuel: – *Não tá igual ao sólido.*

Carla: – *Não tá aglomerado. Tá solto.*

Bianca: – *Disperso.*

Bruno: – *Ele não tá parado. Está se movendo.*

Carla: – *As partículas não estão igualmente espaçadas.*

P: – *Uma tá aqui e outra hora pode tá aqui? [faz trajetória com o dedo pelo ar]*

Carla e Manuel: – *É.*

P: – *E quando ela vem daqui para cá ela puxa a outra junto?*

Manuel: – *Ah, não sei.*

Carla: – *Elas se atraem mais no sólido.*

P: – *Vocês estão falando a mesma coisa?*

Carla: – *Sim.*

P: – *No desenho, olhando, eu não tenho todas essas informações. Só dá para saber que parece que estão mais afastadas.*

P: – *[desenha no quadro]. Tem quatro moléculas de um sólido. Vocês falaram que tem o que?*

Carla: – *Mais atraídas.*

P: – *Então tem uma força atraindo as duas.*

Carla: – *Não sei se atraindo, mas prendendo.*

P: – *Uma força de ligação.*

Carla: – *É.*

Além de comentarem sobre a baixa atração entre as moléculas do ar, afirmam que elas estão em movimento. Quando o professor criticou a ausência de sinalização nos desenhos sobre a atração, sobre a força de ligação entre as moléculas, tentou definir símbolos para demonstrá-la. Nesse momento, em que mostra uma maneira de registrar a ligação, os estudantes começaram novamente a fazer uso de conceitos de seus estudos

em química orgânica. Essa influência da disciplina de Química demonstra que estes estudantes não possuem resistências ontológicas para pensar o mundo micro. Isso abre caminho para o novo modelo explicativo.

Diálogo na turma C

P: – *Falaram que o gás está se mexendo aí eu fiz setinhas para indicar isso. Vocês falaram que o sólido tem ligação, como posso fazer no desenho a ligação?*

Manuel: – *Ligação? É coesão?*

P: – *Eu falei agora a pouco que para isso teria que haver uma força de ligação, um vínculo. Se eu quiser mostrar a ligação [no*

desenho], posso fazer um risco assim [liga duas moléculas], para indicar que é uma ligação. [...]

Carla: – *Eu não faria o sólido assim. Para mim eles estão mais juntinhos. Eu faria só um pontinho entre eles para indicar a ligação.*

P: – *Ah, bom. Mas é preciso enfatizar que há uma ligação.*

Notamos pela resposta de Carla que, embora concorde com a indicação de ligação, faz questão de a distribuição compacta do sólido ser evidenciada. Está relacionando as distâncias entre moléculas com o estado físico. Na turma D, explicam que a origem para este modo de pensar teria influência das aulas de Química.

Diálogo na turma D

P: – *[...] Gostaria de saber: o que motivou vocês a falarem que um está mais separado?*

Laís e Lara: – *Aulas de química.*

Lara: – *O gasoso é mais solto.*

P: – *Quer dizer que uma molécula tá livre da outra, é isso?*

Lara: – *É.*

P: – *Você concorda com isso? Ela falou um pouco diferente de ti.*

Theo: – *O gasoso tem mais distância*

Luana: – *Não, é que no sólido elas estão quase sem movimentação, no líquido já tem um pouco mais e no gasoso tem bem mais*

P: – *Tem a ver com movimentação?*

Lara: – *Ela fez a mesma coisa que a gente [aponta para o desenho da colega] [...]*

Luana: – *É que tem nos livros umas setas, uns risquinhos indicando que tem...*

Lara: – *No sólido? No sólido tá parado.*

[uma colega discorda, mas não é possível identificar no áudio]

Luana: – *... movimentação nas moléculas.*

P: – *Mas o que significa esse pontinho aqui entre as moléculas [aponta para o desenho de um sólido feito pela Luana]?*

Luana: – *É a união.*

P: – *[...] Então ela falou que o gasoso é separado e você que o sólido estão ligados, uma molécula presa à outra, não? Vocês estão falando sobre a mesma coisa.*

Lara: – *Eu não falei que o sólido está se movimentando.*

P: – *Você falou que nos gases as moléculas estão separadas, e ela*

falou que no sólido estão juntas.

Então tem uma força de ligação.

Theo: – *Atração.*

P: – [...] *Pelos desenhos eu não consegui perceber, mas todo mundo pensou em ligação?*

Lara: – *Não.*

Durante a discussão do desenho, configurou-se um *conflito sociocognitivo* sobre se as moléculas do sólido estariam ou não em movimento. Nota-se que Lara e Luana reconhecem que pensam de forma diferente quanto à agitação as moléculas. Entretanto, o diálogo também mostra uma convergência quanto à ligação. Sendo assim, a atividade de desenho gerou uma tomada de consciência nos estudantes sobre a forma como pensam e evidenciou como existem diversas representações sobre um mesmo objeto de conhecimento. É importante destacar que a imagem das moléculas dos sólidos como algo compacto tornou-se um obstáculo epistemológico, impedindo que a estudante Lara conceba moléculas do sólido em movimento.

Partindo desse levantamento sobre como compreendem o comportamento das moléculas de um gás, o professor utilizou o aparato experimental com bolinhas de isopor dentro de um tubo de vidro para simular o modelo cinético do gás. O diálogo a seguir deve auxiliar na compreensão do funcionamento da atividade.

Díálogo na turma A

P: – *Trouxe um modelo aqui. O que nós temos?*

Lia e Aldo: – *Bolinha de isopor.*

P: – [...] *Elas vão representar para a gente as moléculas de um gás, cada bolinha dessas. ... O que vamos fazer? Vamos colocar uma molécula lá dentro. Quando a gente ligar na pilha, o motorzinho vai movimentar o pistão. [...] Tem uma bolinha aqui no cantinho.*

[liga o motor] *Tão vendo a bolinha se mexer?*

Pessoal, o que a gente pode falar sobre aquela molécula de gás? O que tava fazendo?

Danilo: – *Tava bem agitada.*

P: – *Tinha movimento?! Se a gente quiser associar uma forma de energia a isso, o que a gente fala? Energia cinética. [...] Agora a*

Cristiana vai colocar todas as moléculas. Agora é um gás mais decente, porque uma molécula só não representa todo o gás. [...] O que está acontecendo com as moléculas?

Cristiana: – *Se mexendo.*

Lia: – *Tremem.*

P: – *As moléculas tinham energia cinética?*

Estudantes: – *Têm*

P: – *Todas estavam com a mesma velocidade?*

Estudantes: – *Não.*

Professor: – *Mas existe, pode achar uma velocidade média. Se a gente quisesse fazer um gás de maior temperatura, como poderia representar, ali?*

Danilo: – *Teria que ser mais espaçado, se mexer mais.*

Lia: – *Tremendo mais.*

P: – [...] *Danilo, ali a gente tá fazendo num recipiente fechado e não tem como se expandir. A Lia falou que tem que estar mais agitado, o que significa estar mais agitado? Maior velocidade, maior energia cinética?*

Lia: – *Maior calor.*

P: – *Maior calor?!*

Lia: – *Não, maior temperatura!*

P: – *Ah! Ah! Não é maior calor, então, é maior temperatura! Quanto maior a energia cinética, maior a temperatura?*

Cristiana: – *Sim*

Assim que os estudantes associaram movimento à bolinha (molécula), o professor solicita que várias bolinhas sejam colocadas no tubo, para simular o gás. Deste momento em diante, a “bolinha” tornou-se “molécula”. Em outros termos, a bolinha era uma idealização de um suposto “formato” da molécula, que é uma característica não acessível e a princípio não afetaria o comportamento das mesmas. Idealizar é um dos passos da modelização, mas infelizmente não houve ênfase no motivo da “bolinha” ser uma boa opção. Afinal, porque não poderia ser cúbico? Esta falha didática pode até ser um obstáculo didático se os estudantes atribuírem realidade ao formato esférico. Nas outras turmas, também não encontramos um diálogo sobre a escolha do formato das moléculas.

Mesmo diante desta falha, este *modelo representacional* permitiu que chegassem à conclusão de que quanto maior a temperatura de um gás, maior será a energia cinética de suas moléculas. Mal começaram a pensar na estrutura da matéria e o conceito de temperatura começa a ser reformulado. Ao mesmo tempo em que um novo modelo explicativo começa a surgir, já estava sendo feita a aplicação do mesmo. Por isso, esse momento proporcionado pela atividade experimental caracteriza-se como etapa da Superação dos obstáculos.

Outra ação, além da idealização, imprescindível à modelização é a abstração (MACHADO, 2009). Esta pode ser entendida como as conjecturas sobre o comportamento físico do objeto de conhecimento, neste caso, as moléculas. Nos diálogos em que discutiram sobre os desenhos e o comportamento das moléculas, os estudantes consideraram que havia movimentação e atração entre elas. Nos diálogos da turma B e C, a seguir, tentou-se comparar o conjecturado sobre o comportamento das moléculas do gás com o ocorrido no aparato.

Diálogo na turma B

P: – *Isso aqui a gente vai utilizar para simular os gases. Vocês falaram que as moléculas estão mais soltas. [coloca só uma bolinha de isopor no pistão e liga o*

motor] Qual é o comportamento físico dessa molécula?

Alana: – *Agitada*

Roberta: – *Tá se movendo*

P: – *Tá se movendo, tem uma certa velocidade. A gente pode falar que tem certa energia cinética. [coloca as outras bolinhas de isopor]*
P: – *Todas as moléculas tem a mesma velocidade? Tem algumas que estou vendo outras não. A gente pode falar que tem uma*

Diálogo na turma C

P: – *Eu trouxe um modelo aqui. [...] O que temos aqui dentro? Bolinhas de isopor, um motor e um pistão. Quando ligar o motor, vai mover o pistão e as bolinhas aqui dentro do tubo. Essas bolinhas vão representar as moléculas de um gás. [...]* [liga o aparelho]

P: – *Isso dá para simular o gás, né? Vocês viram as moléculas, estavam paradas?*

Estudantes: – *Não*

P: – *Então é coerente (com as conjecturas). Tinha ligação entre elas? Elas estavam andando em duplas, em trios?*

Estudantes: – *Não.*

P: – *Então é coerente (com as conjecturas).*

Felipe: – *Mas uma empurra a outra.*

velocidade média essas moléculas. [...]
As moléculas estavam juntas ou andando de forma livre? Sem ligação?

Renato: – *Livre.*

P: – *Vocês já comentaram que a ligação é diferente.*

P: – *Ah, mas elas podem uma colidir com a outra, mas não que andem vinculadas e tenham uma coesão. E quando elas se chocam uma transfere velocidade para a outra. Uma sai com uma velocidade e a outra, com outra velocidade. Então a velocidade de todas é igual ou diferente?*

Estudantes: – *Diferentes.*

P: – *Não dá para dizer que é igual, muito provavelmente não. Então tem uma velocidade média. Por existir velocidade, podemos dizer que possuem energia cinética. Lembram disso? Forma de energia mecânica associada ao movimento, àquilo que tem velocidade.*

Carla: – *Meio vezes a massa e a velocidade ao quadrado.*

P: – *... depende da massa também*

É perceptível que esta atividade experimental reforça as conjecturas dos estudantes, sendo aceita como legítima para conversar sobre as moléculas. Quando o estudante Felipe questiona sobre as colisões, está abstraindo outro comportamento para as moléculas do gás, colaborando com o que seria um modelo de gás. Quando Carla lembra-se da definição matemática de energia cinética, mais um elemento, a massa, surge como relevante para a abstração do que seria o gás no olhar submicroscópico. Sem dúvida, diante dos processos de modelização identificados acima, esta atividade experimental favoreceu a produção de um objeto-modelo pelos estudantes.

Outro reflexo de como este modelo, mesmo enquanto era arquitetado, já influenciava o modo de pensar, é a alteração do desenho sobre as moléculas de um gás, conforme no diálogo a seguir. São colocadas setas de vários tamanhos, representando as velocidades das moléculas. Se fizéssemos uma análise de desenhos com setas, elas poderiam, por exemplo, conotar: a direção de movimento ou vetor velocidade. Nos diálogos abaixo, houve uma espécie de ressignificação e compartilhamento do elemento gráfico seta como vetor velocidade.

Diálogo na turma D

P: – [...] *Vamos simular o gás de forma melhor, vamos colocar todas essas bolinhas. Vocês falaram que no gás as moléculas estão livres. Neste caso aqui (aponta para as bolas de isopor), tem algum vínculo, ligação entre as bolinhas?*

Marta: – Não.

Eloá: – *E se o espaço ficar maior?* [religa o aparato]

P: – *Fica mais fácil de ver, né?*

Todas as moléculas têm a mesma velocidade?

Estudantes: – Não.

P: – *Como que posso representar ali no desenho?*

Theo: – *Setas*

P: – *Representei cada molécula com setas com tamanhos diferentes. Então a gente pode dizer que cada molécula tem uma energia cinética diferente.*

Diálogo na turma C

P: – *Mais agitadas. Então, aqui a nossa representação é uma seta, uma seta maior ou...*

Bianca: – *Essa seta tem algo a ver com um vetor?*

P: – *No fundo sim, tá indicando a velocidade, mas a gente não tem as unidades certinho, o ângulo, é livre. Mas essa [aponta para uma seta desenhada] tá indicando uma direção diferente dessa e um*

ângulo diferente dessa outra aqui. Essa [aponta outra seta] tem uma intensidade maior que essa outra.

Bianca: – *Achei que fosse mal desenhado*

P: – *Alguém falou que era desorganizadas, e eu fiz assim.*

Bianca: – *Ah, tá. Então tem intensidades diferentes?*

P: – *Sim. Por isso falei que tem uma velocidade média.*

Para chegar ao modelo físico de gás ideal, deveriam ser levadas em conta outras abstrações, assim como, para chegar ao modelo teórico que é a Teoria Cinética dos Gases, seria preciso da Mecânica Estatística. Nas aulas, não alcançamos esse patamar, visto que atuamos no campo conceitual dessas teorias. Entretanto, o objeto-modelo de gás criado em sala de aula parece ser suficiente para o andamento das aulas e para promover a superação de obstáculos.

Se a discussão do *modelo representacional* do gás proporcionou a modelização, falta analisarmos se a atividade equivalente para o sólido

também foi satisfatória. Também tínhamos como meta que o *modelo representacional* do sólido – quadro com bolas de isopor e molas – permitisse aos estudantes repensarem suas representações sobre a organização das moléculas em um sólido, e soubessem diferenciá-la da de um gás. Como exemplo, no diálogo a seguir, Antônio rapidamente acusa que a ligação entre as moléculas é uma diferença entre gases e sólidos.

Diálogo na turma B

P: [mostra o quadro de madeira com molas e bolas de isopor. Comenta sobre a força de ligação no sólido, coesão das moléculas, e a energia potencial entre moléculas]

– *Se no gás estão agitadas. No sólido também podem estar*

agitadas [professor fica batendo nas bolinhas] *Se em ambos [as moléculas] podem se agitar, o que há de diferente?*

Antônio: – *No sólido estão ligadas e no gás estão soltas.*

No que diz respeito à movimentação das moléculas do sólido, encontramos novas representações associando a rigidez do material (característica macroscópica) ao comportamento das moléculas. Como no diálogo da turma A abaixo, Lia apresenta inconsistências em suas respostas e, mesmo assim, mantém sua linha de raciocínio, de que a rigidez do sólido impediria a movimentação das moléculas.

Diálogo na turma A

P: – *O que diferencia, então, um gás de um líquido e um gás de um sólido.*

Aldo: – *A agitação (?)*

Gabriela: – *A pressão.*

Lia: – *A agitação das moléculas?*

P: – *Mas se um tá mais agitado que o outro, ele tem que estar a uma temperatura maior que o outro. É isso?*

Lia: – *Não, mas quando ele tá no sólido ele não se agita não. Ele tá bem durinho.*

Danilo: – *Ou se agita bem pouco.*
[Lia repete esta frase]

P: – *O que significa um sólido tá 20°C e outro tá 80°C?*

Lia: – *É que num ele se agita mais que o outro.*

P: – *Então tem agitação no sólido!*

Esse diálogo precedeu o uso do *modelo representacional* do sólido (quadro com bolas presas por molas) e os estudantes acusaram a agitação (ou ausência dela) das moléculas como a diferença entre sólidos e gases. Evidenciamos que Lia estava construindo uma nova forma de pensar sobre o fenômeno, pois ora diz que as moléculas do sólido estão agitadas e ora não. É provável que a “pressão” (sofrida pelas moléculas), conforme falou Gabriela, aproxime-se do que Lia

disse sobre a estrutura do sólido ser “dura”. Dando continuidade à discussão, foi feito uso do *modelo representacional*.

Diálogo na turma A

P: – *Pessoal. Agora isso aqui [segurando um quadro de bolas de isopor acopladas por molas] é para representar um sólido. O sólido tem uma rede cristalina. O que que tem aqui: bolinhas de isopor e molas. E essas molas fazem o que?*

Lia: – *Tremer [não escutado pelo professor]*

Gabriela: – *Unem.*

P: – *Unem. Se eu puxar uma [bolinha] aqui a outra também é puxada. Existe uma força de ligação entre elas. [...] é o que mantém o material coeso. Ou seja, se eu empurrar essa mesa [na direção de uma aluna], ela [aluna] vai ser esmagada, mas se eu empurrar o ar aqui, não vai ser esmagada. Por quê? Existe uma coesão entre as moléculas do sólido que elas estão presas, unidas, enquanto no gás não. Lembra que lá [apontando para o modelo representacional utilizado antes] não tem nada que liga uma molécula na outra, e aqui? [bate de forma ritmada em uma das bolas de isopor do quadro] Esse é o material, sólido, com a ligação. [as bolinhas] Estão se agitando. Estão a uma certa*

temperatura, então. Tô fazendo uso do que você falou pra mim. Se eu quiser representar um sólido com maior temperatura?

Lia: – *Bate mais.*

Danilo: – *Teria que bater mais rápido.*

P: – *Teria que ter uma maior agitação, então. E com menor temperatura?*

Danilo: – *Bater com menos agitação.*

P: – *Digamos que seja a água, a 0 °C.*

Danilo: – *Teria, mas pouca.*

Lia: – *Acho que não.*

P: – *E o gelo a -20°C?*

Estudantes: – *Teria.*

P: – *E em comparação ao 0°C?*

Danilo: – *Teria, mas menos.*

Lia: – *Não teria.*

P: – *Por que você diz que não tem?*

Lia: – *Por que taria muito duro, para se mexer(?).*

P: – *As moléculas não podem se mexer porque tá duro o sólido?*

Lia: – *É.*

P: – *Você está dizendo que está tão compacto, tão compacto, que não pode se mexer?*

Joel: – *É possível.*

São identificadas a agitação e a ligação entre as moléculas quando feito uso deste *modelo representacional*, mas boa parte (importante) do diálogo ficou centralizada no professor. Ele tentou mostrar a correspondência empírica deste modelo comparando a coesão de materiais sólidos e gasosos, todavia, não conseguimos identificar como os estudantes internalizaram o papel da ligação intermolecular. De qualquer modo, este *modelo representacional* demonstra potencial

para esclarecer como a configuração molecular provoca diferenças no comportamento de um material em estados físicos diferentes.

Entendemos o modo de pensar de Lia – que novamente se contrariou – como uma manifestação do *pensamento substancialista*. Neste obstáculo, as qualidades superficiais são justificadas por uma “natureza profunda” (interna) do objeto. Prevalecendo-se de uma experiência externa evidente, como a rigidez de sólidos (de alguns), o pensamento de Lia provocou a representação de que as moléculas do sólido estão paradas e compactadas, justificando a diferença entre sólidos e gases. Lembramos ainda, dado o diálogo desenvolvido, que para explicar a própria coesão dos materiais, o pensamento em torno da rigidez superou o da presença ou não de ligação entre as moléculas. É o mesmo que afirmar: o sólido é rígido porque é de sua natureza interna sê-lo.

Se o processo de modelização no diálogo anterior estava focado no professor; nos diálogos na turma C, os estudantes participaram mais desse processo:

Diálogo na turma C

P: – *Vocês falaram para mim, que no gás não há ligações, mas no sólido sim. [...] Prevendo que isso fosse aparecer, fiz isso aqui [mostra o quadro de madeira com bolas de isopor e molas]. A força de ligação está sendo representada pelo que?*

Manuel: – *Pelas molas.*

P: – *Se eu faço uma força sobre essa molécula puxa a outra. Não puxa? Ó [mostra movendo as moléculas]*

Felipe: – *Puxa.*

P: – *Se eu mexo nesse e mexe a outra. Estamos falando da coesão.*

Sofia: – *E se fosse um lápis no lugar da mola?*

P: – *Ficaria mais rígida. Ó, pessoal [fala para a turma]. A Sofia perguntou o que muda se for uma caneta ou um palito de churrasco aqui entre as bolinhas. O que afetaria?*

Carla: – *O movimento.*

P: – [mostra uma maquete de bolinhas de isopor vinculadas por palitos de bambu]. *A bolinha aqui não consegue se mexer, e se agitar.*

Sofia: – *Mas se eu mexer uma daquelas, todas vão se mexer.*

P: – *Ah, mas eu digo vibrar assim [move uma bola de isopor para os lados no modelo com mola], movimento de vibração.*

Sofia: – *Ah, tá.*

Julia: – *Aquele do Carlos [modelo de bolinhas de isopor no interior de um tubo empurradas por um pistão] é o gasoso, aquele ali é líquido [modelo do quadro com bolas e molas] e o outro é sólido [maquete com palitos de bambu e bolas de isopor].*

P: – *Aquele [quadro com molas] é para ser sólido também [não explica direito o motivo],*

Notamos como o diálogo já começa diferente, pois o professor parte das abstrações anteriores (se há ou não ligação entre moléculas) para saber se o *modelo representacional* utilizado era adequado. Manuel e Felipe identificam que as molas no aparato mantêm as bolinhas (moléculas) unidas. Assim, a mola passa a significar “força de ligação”. Quando Sofia questiona os motivos de ser uma mola e não um palito, detectamos mais um forte movimento de modelização, que é discussão da adequação da mola para o que se quer representar. Ela permite que ocorra a agitação das bolinhas (moléculas) ao mesmo tempo em que é garantido o acoplamento (força de ligação).

Após terem chego à conclusão que a mola permite a movimentação e um palito não, Sofia avistou (na mesa do professor) uma maquete de uma estrutura cristalina, feita com palitos, e afirmou que ela era um sólido. Isso é mais um exemplo de que o sólido seria caracterizado pelas suas moléculas paradas. O diálogo continua a seguir, com ênfase na relação entre agitação das moléculas e temperatura.

Diálogo na turma C

P: – *Eu cheguei nisso por causa disso aqui* [aponta para os desenhos]. *Então, tem uma força de ligação que permite a coesão. Já temos um modelo sobre o gás e um do sólido.*

Julia: – *E o líquido?*

P: – *A gente já conversa sobre o líquido, vamos terminar o sólido agora [...].*

[bate continuamente em uma das bolas de isopor] *As moléculas estão paradas? Como que posso interpretar, então, um sólido qualquer, para explicar ...* [interrompe para escrever algo no quadro]

Se eu tiver moléculas se agitando.

Se eu quiser aumentar a temperatura da substância, o que devo fazer?

Carlos: – *Dá calor para ela.*

P: – *Dar calor e o que aconteceria com as moléculas?*

Carlos: – *Agitar mais.*

P: – *Agitar bem mais. Assim* [bate vagarosamente nas bolas] *elas estariam com uma temperatura menor,* [bate ligeiramente nas bolas] *uma maior e outra maior ainda* [bate muito rapidamente nas bolas]. *Como que eu posso representar isso?* [refazem o desenho para sólidos a três temperaturas diferentes -20, 0 e 20°C].

Carlos: – *A -20 [°C] tem agitação.* [professor coloca uma aspa nas bolinhas do desenho]

P: – *Como ficaria o de 0°C, a temperatura é maior que -20, não é? E como estaria a agitação delas?*

Estudantes: – *Maior.*

P: – *Aqui representei a agitação, como o Carlos colocou ‘aspas’ no desenho dele. Essas aspás indicam que tem agitação. Se essa tem maior agitação, vai precisar ter mais aspás ou menos aspás?*

Estudantes: – *Mais.*

P: – *E a de 20°C, mais ainda. [...]
Quanto mais aspas, maior a
agitação. Quanto maior a
agitação, maior a temperatura. Da
mesma forma, se eu voltar para o*

*gás. Se eu quiser fazer um gás
indicando maior temperatura, o
que eu poderia fazer?*

Manuel: – *Mais desorganizadas,
mas agitadas.*

Fazendo uso deste *modelo representacional*, os estudantes reformularam o conceito de temperatura em termos da agitação das moléculas. Usando do novo modelo explicativo há pouco tempo, já foi possível construir, ainda não explicitamente, um conceito de temperatura em um olhar microscópico da matéria. Esta atividade, apesar da resistência de alguns, serviu como parte do processo da Superação de obstáculos.

Foi dada continuidade à discussão sobre a diferença entre sólido e líquido posteriormente. Nela, o professor recorda que a gota de chuva possui um formato, indicando que há uma força de ligação entre as moléculas de água, mas poderíamos passar o dedo por entre a água líquida e no sólido não, evidenciando que a força de ligação é menor no líquido.

Partindo do modelo de gás, sólido e líquido, construídos em sala via *modelos representacionais*, o professor propõe o uso destes para entender o ocorrido na atividade experimental de aquecimento da água (Seção 5.5). Estabeleceu, deste modo, mais uma ação para o processo de Superação de obstáculos. Os diálogos a seguir evidenciam como o novo modelo explicativo passa a ser utilizado para tentar responder o problema em aberto: porque durante a ebulição a água não aumentou a sua temperatura? Ao mesmo tempo em que tentam respondê-lo ocorre uma ressignificação do conceito de calor.

Diálogo na Turma D

P: – *Como estariam as moléculas da água líquida aqui? Tem uma certa ligação. Estão se mexendo?*

Eloá: – *Sim.*

P: – *E aqui, a uma temperatura maior? Mais, menos ou igual?*

Eloá: – *Mais.*

P: – *Posso utilizar duas aspas [desenho] para representar uma agitação maior? Posso. Aqui, então, nos gases, tem ligação?*

Eloá: – *Não.*

P: – *Tem agitação?*

Lara: – *Tem.*

Marcelo: – *Bastante.*

P: – *O que aconteceu daqui para cá? O rompimento da ligação.*

Então, o calor transmitido para a água. Lembrando que não é

transmissão de 'pacote'. Se

estamos falando de rompimento da ligação, teve que superar a energia potencial que fazia as moléculas

ficarem presas. Então, de certa forma, o calor estava fornecendo

uma certa quantidade de energia

para superar a energia potencial. Mas enquanto não há rompimento da ligação, isto é, durante o aquecimento da água, o que o calor está provocando?

Laís: – *A agitação das moléculas.*
P: – *Então calor permite aumentar a energia cinética das moléculas e romper a energia de ligação.*

Para explicar a ebulição, os estudantes diferem água líquida da forma de vapor pela presença de ligação entre as moléculas da água líquida e pela ausência no vapor. Depois, o professor chama atenção para o momento de aquecimento da água e Laís afirmou que o calor estava provocando o aumento da agitação das moléculas. Isso também ocorreu na Turma C:

Diálogo na turma C

P: [refaz gráfico da atividade de aquecimento da água] – *Vamos agora entender o que ocorreu aqui à luz do comportamento das moléculas. Vocês me falaram que a água a 100 °C se transformava de água líquida para vapor. Se mudou de líquido para vapor, o que aconteceu com as moléculas? O que mudou de configuração e um para o outro?*

Carla e Roberta: – *A ligação*

P: – *Rompeu a ligação. Se existe uma ligação elétrica entre as moléculas que permite que elas mantenham coesas. Como vocês falaram, tem a ligação covalente, a iônica. [...].*

Eu preciso fornecer uma certa quantidade de energia para romper a ligação, essa energia de ligação das moléculas. As moléculas de água possuem a ligação de hidrogênio. Durante o

processo da transformação o calor cedeu certa quantidade de energia para romper a ligação.

E durante o aquecimento da água, enquanto havia o aumento de temperatura, aconteceu o que? O que a transmissão de calor estava provocando?

Carla: – *Muda a agitação das moléculas*

P: [no gráfico, professor questiona o comportamento das moléculas da água a temperaturas específicas] [...]. – *E se eu pegar à temperatura de 90 [°C], como estariam as moléculas?*

Ivan Dutra e Manuel: – *Mais agitadas.*

Fabiola: – *Estariam com mais aspas.*

P: – *E chegando aqui, como estaria o gás? O vapor de água?*

Carla: – *Sem ligação e bem agitadas.*

Durante o encerramento das aulas em que essas discussões ocorreram, o professor promoveu uma síntese. Nela, afirma que a temperatura estaria relacionada à média da energia cinética das moléculas; e calor, por sua vez, seria uma quantidade de energia que

provoca a variação da energia cinética das moléculas ou o rompimento da energia de ligação entre elas.

5.8 – ATIVIDADE EXPERIMENTAL VII – PANELA DE PAPEL

Analisamos, na seção anterior, como o problema da evaporação da água sem mudança de temperatura pode ser resolvido abordando a energia de ligação entre as moléculas. Restava, portanto, sanar o outro problema em aberto, que trata-se em entender de que modo a configuração das moléculas afeta a sensação térmica.

Foi recordando este problema que surgiu no seguinte diálogo na turma B. Neste momento, foi realizada uma atividade chamada “panela de papel”.

Diálogo na turma B

P: – *Ah...mas depende do que é composto. [...] Aparentemente a diferença está nas moléculas. Vamos pegar uma folha de papel, que é parecido com a madeira, por causa da celulose. É possível fazer uma panela de papel? [prepara a atividade experimental] O papel pega fogo se eu encostar a chama desta vela?*

Estudantes: – *Vai*

P: – *Queimou, era esperado isso? [resposta: sim] Para entrar em combustão foi preciso da chama. Quando as moléculas de papel estavam em contato com a chama, o que ocorreu com as moléculas de papel?*

Antônio: – *Agitaram*

P: – *Agitaram. Então aumentaram a energia cinética. Então tem que aumentar até um certo ponto para dar a combustão. Então tem que ter um mínimo de energia cinética para entrar em combustão.*

[explica a atividade, coloca água na caixa de papel e acende uma vela abaixo]

Antônio: – *A água não tá esquentando? Posso colocar o*

dedo? [mergulha o dedo na água] Não tá certo isso! É cartolina? Que papel é esse?

P: – *Mas ele queimou antes. O que houve diferença nas duas situações para que o papel queimasse em somente uma delas?*

Antônio: – *A água.*

P: – *E no outro tinha ar em volta, em cima. Neste caso, com a água, não queimou. Então, alguma coisa sobre a água e sobre o ar a gente precisa discutir.*

Antônio: – *A água absorve o calor?*

P: [indica que a cerca de 250°C o papel queima e, no momento, a água nem “começou” a evaporar] – *Mas se não queimou, a água não deixou que chegasse a essa temperatura! Então, o calor transmitido está sendo distribuído só no papel? Não, na água também. Não esquentou a água?*

Antônio: – *Esquentou.*

P: – *Então o calor não está sendo transmitido somente para água, está sendo transmitido para o papel e também para a água*

Esse diálogo evidencia como o professor ainda precisa interceder para haver discussão sobre o papel das moléculas no fenômeno. Também é relevante a surpresa de Antônio frente ao acontecido, provocando indagações e, na busca por respostas, que verificasse se a água estava aquecendo. Partindo da questão lançada, de como a água estava impedido o papel de entrar em combustão, o professor orienta o diálogo para a diferença entre a água e o ar.

Diálogo na turma B

P: – *De alguma forma as moléculas de água dissipam a energia cinética das moléculas do papel, e as moléculas do ar não produzem esse efeito. O que há de diferença das moléculas de ar das de água líquida?*

Ivan: – *As moléculas ar são mais dissipadas. A interação entre elas, as ligações.*

Roberta: – *E a movimentação delas.*

P: – *[...] Como isso explica o efeito? O líquido tem ligações entre as moléculas, enquanto no gás é praticamente nula. [mostra frase em slide: ‘As ligações entre as moléculas de água permitem que ela seja uma boa condutora de calor, ou seja, transmitir o calor de molécula em molécula.’] Era isso*

que você [Ivan] tava pensando antes? [pega o quadro de bolas de isopor com molas]

– Se eu bater nessa bolinha, ela transmite o movimento para as outras?

Ivan: – *Sim*

P: – *Transmitiu para as outras. E se eu tirar essa ligação, vai mexer as outras? [retira uma das molas, isolando uma das bolas e bate nela]*

Ivan: – *Não.*

P: – *[...] Então, só vai haver condução de calor se houver a ligação entre moléculas. [...] No ar, como não há ligação, não uma condução eficiente. Se nos gases não há ligação, eles são péssimos condutores de calor. A gente pode falar que é um isolante térmico.*

Mesmo que os estudantes tenham expressado que a diferença entre o ar e o líquido seria a ligação, o professor identifica que era preciso mais um instrumento didático para justificar a explicação. Neste caso, recorre novamente ao *modelo representacional* com bolas de isopor e molas. De forma bastante interessante, por permitir “romper” a ligação (retirar a mola) entre as moléculas, esse modelo é capaz de demonstrar como a ligação entre as moléculas afeta a transmissão de movimento (energia cinética) pelo material. Esse diálogo reforça a importância deste modelo na compreensão dos fenômenos térmicos.

Em outra turma (C), alguns estudantes demonstram mais autonomia no uso de moléculas e energia cinética e de ligação.

Diálogo na turma C

P: – *Vai queimar o papel se eu colocar a chama aqui (embaixo da caixa)? [coloca-a]*

Manuel: – *Não, por causa da água. Mesma coisa se colocar uma garrafa cheia de água no fogo não vai derreter.*

Fabiola: – *A água tá esquentando?*

P: – *Boa pergunta, quer fazer o teste?*

[uma colega mergulha os dedos na água]

P: – *Tá esquentando?*

Carla: – *Tá.*

P: – *De alguma forma, nesta situação, o papel não entrou em combustão. [...]*

Carlos: – *Tá passando calor para o papel e o papel tá passando para a água.*

Ivan: – *Deu para fazer com uma garrafa. Ela não derretia.*

P: – *Antes a transmissão era só para o ar, agora é só para a água?*

Ivan: – *[...] o choque com as moléculas de água não deixa aquecer o papel.*

P: – *Então não tá deixando as moléculas do papel atingir a energia cinética mínima para entrar em combustão. Então, as moléculas de água estão absorvendo parte da energia cinética das moléculas do papel.*

Manuel e Ivan comentaram que já haviam feito um experimento semelhante, de modo que provavelmente não foi surpresa para ambos quando o papel não queimou. Mas o interessante é que Ivan já demonstra certo domínio de um olhar submicroscópico da matéria. No primeiro diálogo da turma B, Antônio tinha dito que a diferença era a água e, neste diálogo, Ivan não ficou só nessa primeira impressão (a imagem do papel não queimar por causa da água), pois já constrói um raciocínio para explicar o ocorrido. Contrastando, a estudante Lia disse que a razão de o papel não queimar era “A água, o fogo não gosta de água”. Ao atribuir ao fogo a capacidade de sentir, ela manifestou o *obstáculo animista*. Esta frase foi extraída do diálogo na turma A, que não será analisado aqui por falta de clareza e pela semelhança com os demais.

Em continuação ao diálogo na turma C, o professor retirou a água da caixa de papel e raspou o fundo, removendo a fuligem e mostrando que não ocorreu a queima do papel. Após isso, o diálogo se concentra na distinção entre ar e água em estado líquido.

Diálogo na turma C

Fabiola: – *E se colocar de novo [caixa de papel sem água]?*

P: – *Como é só o papel, deveria pegar fogo, não?*

Julia: – *Mas ainda tá molhada.*

P: – *Então teria que acontecer o que antes de pegar fogo?*

Julia, Ivan e outros: – *Evaporar a água.*

P: – *Aí vai pegar fogo. E o que vai ter aqui em cima quando pegar fogo de novo?*

Estudantes: – *Ar:*

P: – *Então, quando tiver só ar e vapor de água é que vai voltar a queimar: [...] Qual é a diferença entre a água líquida e o ar? Qual é a diferença entre um líquido e um gás?*

Carla: – *Se as moléculas fazem ligações.*

Julia: – *O gás não tem ligação entre moléculas.*

P: – *Aqui as moléculas têm certa união, e aqui não. Será que isso explica?*

Carla: – *Mas quando a água começar a evaporar.*

P: – *Mas a que temperatura a água vai evaporar?*

Ivan: – *A cem[°C].*

P: – *O papel, para começar a queimar, precisa atingir mais de 200 °C. E a água começa a evaporar a 100 [°C]. Ela tava evaporando antes (no experimento), aqui?*

Ivan e Manuel: – *Não.*

P: – *Então a temperatura tava bem menor que duzentos, cem. [...] Então o papel não atinge a temperatura de combustão.*

Este grupo de estudantes já demonstrou mais autonomia para diferenciar materiais líquidos de gasosos em termos das ligações. Partindo disso, o professor sintetiza como as ligações afetam a dissipação/transmissão da energia cinética entre as moléculas, provocando o fenômeno em questão. Devemos lembrar que a condutividade térmica da água não é o único fator, visto que a sua capacidade térmica é bastante importante e também há a convecção.

Ainda que tenha provocado conflitos cognitivos e gerado problematização, esta atividade apresentou essencialmente uma característica de *generalização* dos conceitos em um olhar submicroscópico. Foi conduzida para os estudantes exercitarem a aplicação do novo modelo explicativo, que é um processo importante para consolidar a Superação.

Em sua última fala, o professor aborda “temperatura de combustão”, proveniente de confusão com a expressão “ponto de fulgor”, que seria mais adequada. Alertamos ainda que o fenômeno da combustão é químico, sendo importante que seja mais bem esclarecido o que está ocorrendo com as moléculas (do papel, neste caso) durante o aquecimento até o material atingir a temperatura mínima para iniciar a combustão. Isso é fundamental, pensando na internalização do novo modelo explicativo, para haver diferenciação entre um fenômeno físico como a ebulição da água e um fenômeno químico como a combustão do papel.

5.9 – ATIVIDADE EXPERIMENTAL VIII – CONDUTIVIDADE

Logo após a atividade da panela de papel, em que discutiram sobre a influência da existência ou não de ligações na transferência de energia cinética, o professor tenta discutir a influência do número de ligações nessa taxa de transferência. Para isso, faz uso de dois *modelos representacionais* de estruturas cristalinas: uma maquete de face cúbica e outra de face cúbica centrada.

O professor direcionou diálogo novamente sobre a sensação térmica, mas agora com o intuito de mostrar que a sensação depende da condutividade térmica que, por sua vez, depende da quantidade de ligações intermoleculares:

Diálogo na turma D

P: – *Se eu aumentar a energia cinética desta molécula, ela vai transmitir a energia cinética para as outras? [usa do quadro de madeira]*

Olavo: – *Vai.*

P: – *E se não tiver ligação, ia transmitir a energia cinética? [tira uma mola].*

Lara e Laís: – *Não.*

P: – *Ah! [usa das maquetes modelos de estruturas cristalinas] Isso aqui mostra a estrutura cristalina de um sólido. Essa é face centrada. [aponta para uma bola de isopor] Quantas ligações essa molécula faz?*

Lara e Laís: – *Quatro.*

P: – *E essa faz quantas ligações [usa de outro modelo]?*

Olavo: – *Seis.*

P: – *[...] Comparando o ar com a água, que faz três [errata: quatro]*

ligações de hidrogênio, quanto maior o número de ligações, aparentemente, melhor consegue transmitir o calor ao longo do material. Se eu bato nessa, ela vai mandar o movimento para quantas moléculas?

Lara: – *Para todas.*

P: – *Seis. É, essas seis vão espalhar para mais seis, e assim vai [sucessivamente].*

E se eu bater nessa, vai espalhar para quantas?

Theo: – *Quatro.*

P: – *Vejam, qual das duas é mais eficientes para transmitir calor?*

Heitor: – *A que tiver mais ligações. A que faz seis ligações.*

P: – *Quanto maior o número de ligações, maior a condutividade de calor, a gente fala [Sintetiza].*

Como é difícil montar um *modelo representacional* que seja tridimensional, utilizamos de duas maquetes, feitas de bolas de isopor conectadas por palitos de bambu, descritas no diálogo acima. Foi também importante o uso do quadro com molas, que reforçou sua utilidade, e, nesse diálogo, permitiu relacionar a energia de ligação com

a transmissão de energia cinética via moléculas. Na turma B, houve um diálogo equivalente ao anterior.

Uma vez que os estudantes caracterizaram o número de ligações com a taxa de transmissão de calor, foi realizada uma atividade experimental simples a fim de concluir o que afeta a sensação térmica. O aparato experimental constava de uma barra metálica e de um cavaco de madeira (com as mesmas dimensões) encostados ao mesmo tempo, por uma de suas extremidades, em cubos de gelo. Para discutir esta atividade, trazemos a seguir um diálogo da turma B, mais rico em informações do que o da turma D.

Diálogo na turma B

P: – *Se o metal é melhor condutor de calor, se você encostar os dois materiais no gelo, o que você espera que ocorra?*

Luis: – *Vai gelar primeiro?*

P: – *Então testa.*

Luis: – *O metal tá ficando gelado.*

P: – *E a madeira não?*

Luis: – *Só se for onde tá encostado no gelo.*

Luis: – *O metal é melhor condutor.*

P: – *Então quer dizer que o metal é melhor condutor?! Porque ele*

dissipou melhor a temperatura do que a madeira. [mostra slide com desenhos dos átomos do metal e moléculas da madeira nas extremidades, uma em contato com o gelo e outra com o dedo. Destaca as diferenças na energia cinética.]. Após certo tempo, mudou isso [a temperatura nas extremidades da madeira], Luis?

Luis: – *Não.*

Assim que os estudantes começavam a dizer que o metal é um bom condutor (térmico), essa atividade era proposta. Na turma B, a realização da mesma foi baseada na hipótese trazida pelo estudante Luis: caso fosse melhor condutor, seria esperado que o metal esfriasse antes que a madeira. Mesmo que os pedaços utilizados fossem curtos, Luis acusou que a madeira parecia não alterar sua temperatura na região do dedo. Somente na região da madeira em contato com o gelo que estaria à temperatura baixa. Pela atividade experimental, foi fácil destacar que a madeira demora bem mais para alterar a temperatura de uma extremidade à outra. Em outras palavras, a dissipação/transferência de energia cinética ao longo do tempo (na mesma área e comprimento) foi bem maior no metal. Após isso, o professor sintetizou e conceituou a condutividade térmica em termos do quão rápido a energia cinética é transmitida pelas ligações das moléculas, dada uma diferença de energia cinética entre dois pontos do material. Esta atividade assumiu um caráter mais de reforço do uso do modelo explicativo, permitindo a associação

entre material, sua condutividade e o número de ligações entre moléculas.

Dado que estavam considerando como legítimo este modo de pensar e já haviam diferenciado madeira de metal, estava no momento de esclarecer a problematização que norteou toda a produção dos conceitos de temperatura, calor e condutividade térmica. Notamos nos diálogos a seguir a rejeição à representação de que tato mede a temperatura (manifestação do obstáculo da *experiência primeira*) ao mesmo tempo em que se fez uso de um modelo submicroscópico.

Diálogo na turma B

P: – *Então, tato mede temperatura?*

Luis, Roberta e outros: – *Não.*

P: – *Mas você pode dizer assim: ‘pô esse material parece mais frio que o outro’. O que significa isso?*

Luis, Roberta: – *É sensação térmica.*

P: – *Mas o que a sensação térmica diz sobre as características do material?*

Luis: – *Se é um bom condutor ou mau condutor.*

Salientamos que a resposta de Luis na última linha, embora adequada, não abrange todos os aspectos, pois não é somente da condutividade que a sensação térmica depende. Em outra turma (C), Ivan associou as ligações intermoleculares com a condutividade do material. Logo depois, o professor lança a hipótese da situação em que a temperatura dos objetos fosse maior que a do nosso corpo. Ivan demonstra que já possui uma autonomia do modelo. Para ele, a sensação térmica seria mais quente para o metal que a da madeira quando a temperatura de ambos fosse maior que a da mão (50 °C). Lembramos que os estudantes costumavam afirmar que o metal era frio e a madeira era quente.

Diálogo na turma C

P: – *Se a temperatura era a mesma, o que estaria influenciado nessa diferença?*

Ivan: – *O material.*

P: – *Se o material é o que?*

Ivan: – *Um bom condutor ou mau condutor.*

P: – *Se a gente olhar molécula por molécula?*

Ivan: – *A madeira tem menos ligações.*

P: – *A sensação térmica depende também da condutividade térmica*

do material. E a condutividade térmica depende da diferença de temperatura [...] e das ligações intermoleculares. [a sensação térmica] tá acusando a condutividade térmica do material. E se a madeira e o metal estivessem a cinquenta graus?

Renato: – *Acho que a madeira. ... Acho que o metal ia tá mais quente.*

Renato: – *O metal ia tá mais quente, a sensação térmica.*

Deste modo, o andamento desta atividade experimental sobre condutividade assumiu um papel de *generalização* do novo modelo explicativo. Não esquecendo que seu andamento teve influência dos *modelos representacionais* (maquetes e quadro com bolas e molas) utilizados anteriormente, foram fundamentais para construir a atividade experimental. Estes *modelos representacionais* direcionaram o olhar dos estudantes para as ligações e sua influência na dissipação da energia cinética. Eles permitiram o *compartilhamento* de que a ligação é, além da força que mantém o material coeso, o mecanismo de transmissão de energia cinética entre moléculas.

Devemos ressaltar também o processo de preparação dos objetivos para a atividade com os pedaços de metal e madeira. Ela foi fruto de uma reflexão do novo modelo explicativo, foi construída com base em uma linha de pensamento explícita e, de certo modo, contrária às primeiras impressões e ao obstáculo da *experiência primeira*. Ao mesmo tempo, permitiu explicar a sensação térmica do metal e da madeira sem recorrer ao *pensamento substancialista*. Portanto, estimulou a etapa de Superação destes obstáculos.

Toda a ressignificação do que seria a sensação térmica reforça um apontamento de Vigotski (2008), que trouxemos na seção 1.5, sobre o que chamou de conceitos espontâneos e não-espontâneos (ou científicos). O conceito espontâneo de sensação térmica, que mede temperatura, era carregado das experiências primeiras cujos atos do pensamento os estudantes não estavam conscientes. Até chegarem à relação de que sensação térmica depende da condutividade térmica do material e da diferença de temperatura entre ele e a pele, esse conceito passou por uma sistematização e foi adquirindo características de conceito científico. Podemos dizer que a construção de conceitos não-espontâneos (nova representação de sensação térmica) depende da existência desses conceitos espontâneos.

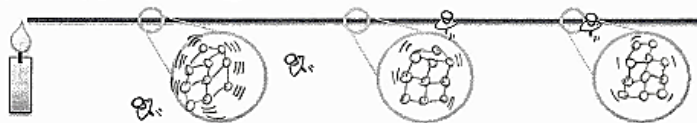
5.10 – ATIVIDADE EXPERIMENTAL IX – CASCATA DE TACHINHAS

Na última aula, foi demonstrada uma atividade conhecida por “cascata de tachinhas”. Sua realização ocorreu no início da aula. Diante do ocorrido, os 93 estudantes deveriam responder a 5 questões em um roteiro, às quais seria atribuída uma nota.

Quando solicitados, na questão 1, para desenharem o comportamento dos átomos²³ do fio de cobre em três pontos específicos, 78 estudantes desenharam linhas conectando os átomos e 77 fizeram “aspas” no seu entorno. Destes últimos, 72 desenharam mais aspas à medida que os pontos do metal se afastavam mais do ponto da chama. Com as linhas (78) conotaram a existência de ligação entre átomos, com as aspas (77) conotaram movimento/agitação dos mesmos. Destes, 72 apresentaram que os átomos estavam mais agitados nas proximidades com o fogo e diminuía este grau quanto mais afastados. Na questão seguinte, que tinha como intuito esclarecer por meio da escrita a forma de pensar que gerou o desenho, 47 estudantes associaram temperatura à agitação dos átomos. Os demais não fizeram menção aos átomos e à diferença de graus de agitação ou de energia cinética nos três pontos indicados no fio de cobre. Na Figura 5.28, segue o desenho da estudante Lia para exemplificar.

Figura 5.28 – Desenho da estudante Lia

1. Desenhe dentro dos círculos abaixo o comportamento físico das moléculas do fio de cobre (usado no experimento) após a queda da segunda tachinha.



Ao serem solicitados a detalhar, na questão 3, sobre a transmissão de calor pelo fio de cobre, 63 estudantes afirmaram que o processo se dá de átomo em átomo, 23 (do total) lembraram que a

²³ No enunciado da Figura 5.28 está escrito “moléculas” e os estudantes utilizaram dessa expressão nas outras questões do roteiro. O professor induziu os estudantes ao erro. Da mesma forma que já alertamos na seção 5.7, o correto seria dizer átomos do fio de cobre e não moléculas. No entanto, é adequado dizer moléculas de parafina.

transmissão depende da diferença de temperatura ou de energia cinética dos átomos. Encontramos 13 frases destacando a taxa (velocidade de transmissão) e a importância do número de ligações entre os átomos neste processo. Também verificamos que, em geral, há certa confusão entre os conceitos de calor e de energia cinética naquilo que escreveram. Essa confusão talvez seja resultado da falta de atividades diferentes, além de atividades experimentais. Isso nos chama atenção para favorecer uma internalização mais adequada dos conceitos estabelecidos em sala, pois as atividades experimentais sozinhas não deram conta. Alana faz uso das ligações quando tenta responder como ocorreu transmissão de calor no fio de cobre:

a vela transmite calor para um ponto no fio de cobre, as ligações entre as moléculas [átomos] transmitem o calor para as demais moléculas [átomos] do cobre até chegar no final do fio, com isso, provoca a variação da energia cinética das moléculas [átomos].

Para explicar como a parafina de tachinhas mais afastadas demorou mais para derreter, 21 estudantes relacionaram a energia cinética dos átomos do fio com o processo de aquecimento e derretimento da parafina. Destes, poucos utilizaram das ligações intermoleculares da parafina no lugar de “derreter”, como está na resposta de Gisele: *“quando mais distante da chama maior o grau de agitação das moléculas, dificultando o rompimento entre as moléculas”*.

Por fim, para discutir por que a adição de parafina de vela afetaria o tempo para a queda das tachinhas, em 33 respostas, os estudantes indicaram que haveria maior número de moléculas de parafina para aquecer. Do total, 14 associavam o derretimento da parafina ao rompimento de ligação entre as moléculas, tal como Gisele novamente expõe: *“demoraria mais, pois dificultaria o rompimento das ligações entre as moléculas”*.

Detectamos, ao longo dessas questões, que vários estudantes atribuíram energia cinética e ligação (intermolecular ou atômica) a moléculas e átomos, que são propriedades físicas pertinentes à visão submicroscópica da matéria. Eles fizeram uso do novo modelo explicativo, abstraindo o fenômeno térmico demonstrado.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conjeturamos, no início desta dissertação que a realização de atividades experimentais teria potencial para superar obstáculos de aprendizado em relação a conceitos térmicos. Após um “diálogo” com Bachelard, por meio de suas obras, estudamos diversos obstáculos epistemológicos e como estes sustentam muitas representações acerca de fenômenos térmicos. Esses obstáculos estão registrados na história da Física e no conhecimento produzido por cientistas, mas sua utilização para analisar o ocorrido nas salas de aula não é direta, uma vez que estudantes não possuem ou produzem conhecimento tal como um cientista. Além disso, em sala de aula, há a figura do professor com a intenção de ensinar um saber escolar, produto de uma Transposição Didática do saber do cientista. Portanto, além dos aspectos epistemológicos, fatores didáticos e cognitivos também podem se tornar obstáculos para o aprendizado de estudantes e precisaram ser considerados.

Sabendo da importância da orientação epistemológica nas ações didáticas, assumimos a concepção epistemológica bachelardiana. Baseados nisso, caracterizamos os obstáculos de aprendizagem dos estudantes sobre os conceitos de calor e temperatura, pesquisamos como tratá-los didaticamente e mapeamos os possíveis papéis das atividades experimentais no ensino “construtivista”. De certo modo, a corrente epistemológica serviu como ferramenta para evidenciar possíveis obstáculos de aprendizagem e para promover a superação dos mesmos, já que orientou todas as ações didáticas.

Para caracterizar as representações dos estudantes em busca de manifestações de obstáculos, tivemos uma forte influência teórica, que orientou a construção de boa parte dos instrumentos de pesquisa. Todavia, encontramos manifestações de obstáculos não abordados no nosso levantamento teórico. Conseguimos, por meio das metodologias de análise – como a análise de conteúdo e a semiótica (para imagens estáticas) –, mapear formas de pensamento dos estudantes que se tornaram resistências para o aprendizado dos conceitos de temperatura e calor. Como principal exemplo, temos a “*substancialização* da rigidez”.

De todos os obstáculos, aqueles que mais se demonstraram como barreiras para aprendizado dos conceitos de temperatura e calor, foram o da *experiência primeira* e o *pensamento substancialista*. Ambos foram manifestados constantemente nas atividades e, de longe, os mais impactantes nas aulas. Sendo a *experiência primeira* frequentemente

acompanhada pelo *pensamento realista*, e, por sua vez, o *pensamento substancialista* segue acompanhado do *animista*.

Nosso objetivo geral era analisar que características das atividades experimentais permitem a superação de obstáculos de aprendizagem relacionados à temperatura e calor. Para alcançá-lo, elaboramos diversas atividades experimentais e aplicamo-las em uma sequência didática. As fichas de atividade e o áudio foram as fontes de dados que consolidaram o ciclo (de reflexão e ação) da Pesquisa-Ação em cada uma das etapas desta pesquisa: sondagem, piloto e pesquisa final. Amadurecemos os instrumentos durante este processo, assim como a sequência didática e a condução das atividades experimentais. No entanto, ao término, fica o sentimento de que ainda poderíamos melhor consolidar a superação dos obstáculos ao aperfeiçoar a atuação do professor-pesquisador, extrair mais do potencial das atividades realizadas e também elaborar novas. Por outro lado, estamos cientes de que não havia tempo hábil para mais uma etapa de aplicação e coleta de dados, para a qual seria necessário um ano letivo no mínimo a mais, já que dependemos do período escolar em que tais conteúdos são tratados.

Em nosso contexto restrito de uma sequência didática de 8 horas-aulas, que se mostrou satisfatório para atingir etapas de superação de obstáculos, não conseguimos acompanhar e aprofundar a etapa de automatização e, talvez, alguns obstáculos possam ter fugido de nossa vigilância. Optamos por trabalhar com obstáculos em uma sequência didática, para que esta pesquisa pudesse ser concretizada, mas sabemos que os objetivos-obstáculos também podem ser abordados em uma abordagem curricular. Para alcançar a superação plena dos obstáculos que detectamos, deve ser considerada uma investida mais abrangente, orientando o ensino de outros conteúdos de Física (até mesmo de outras disciplinas científicas). Imaginamos que o obstáculo da *experiência primeira*, já que trata da atitude experimental dos estudantes, estará presente na discussão de outros conceitos que estejam fortemente ligados aos sentidos humanos. O obstáculo do *pensamento substancialista* pode estar presente em conceitos que discutem propriedades dos materiais, como, por exemplo, densidade, magnetismo e eletrização. Mesmo que esses obstáculos sejam superados para o aprendizado dos conceitos de Calor e Temperatura, é preciso ficar atento, pois eles podem ainda se manifestar durante a abordagem de outros temas.

Como limitação da pesquisa na superação dos obstáculos, percebemos, ao analisar os áudios e materiais empregados, que situações podem ter gerado obstáculos didáticos. O caso mais acentuado se

relacionou à modelização, mais especificamente às moléculas. Como não houve discussão sobre os motivos de as moléculas serem consideradas bolinhas (nos modelos representacionais) ou círculos (nos desenhos), correu-se o risco de os estudantes atribuírem realidade ao formato das moléculas. Outro caso foi a consideração de que a estrutura básica de metais seria composta por moléculas, que, nesta situação, também pode ser caracterizado como obstáculo verbal.

Almejando a superação de obstáculos, ficou evidente em nossos resultados que é necessária uma dinamicidade das atividades experimentais. Elas precisam ser constantemente revisadas nas discussões com os estudantes. Entretanto, essa revisão não é só uma reprodução de dados, pois constantemente se muda o olhar teórico para as mesmas. Em outras palavras, os resultados das atividades experimentais vão sendo reavaliados à medida que um novo modelo explicativo surge e as representações existentes vão ganhando ou perdendo força. Em alguns casos, o mesmo aparato experimental pôde ser usado para identificar obstáculos e gerar a fissuração por meio de conflitos cognitivos.

As atividades experimentais submetidas à concepção de ensino que adotamos são muito mais que uma simples tomada de dados. Englobam necessariamente os processos anteriores à sua realização (problematização inicial e o planejamento da ação) e a sua discussão. E esta discussão não se delimita a aula em que houve a operação do aparato experimental, já que resultados obtidos são questionados em momentos posteriores. Sendo assim, torna-se difícil demarcar onde começa e termina uma atividade experimental. Isso foi reforçado pelo ocorrido com as atividades que chamamos de “quente ou frio” (tocar em objetos) e de aquecimento da água. Na atividade “quente ou frio”, a discussão do fenômeno e as dúvidas referentes à sensação térmica perduraram até a penúltima aula, quando o modelo alternativo já estava consolidado e realizou-se a atividade sobre condutividade térmica. Ainda assim, promoveu a sondagem das representações dos estudantes e o conflito sociocognitivo. No caso do aquecimento e ebulição da água, cujos resultados foram revistos várias vezes, auxiliou na identificação, fissuração e superação de dois obstáculos epistemológicos, permitiu o compartilhamento de significados, estabeleceu conflitos cognitivos e serviu como uma espécie de signo para explicarmos a atividade da “panela de papel”.

Embora não conseguimos demarcar as fronteiras das atividades experimentais, detectamos diversos impactos das mesmas no processo

de ensino-aprendizagem; incluindo a problematização, a metacogição, os conflitos cognitivos, a modelização e a clareza na linguagem.

Em várias situações, ficou evidente que a problematização é importante para a superação dos obstáculos. Sendo que a problematização e as atividades experimentais se relacionaram de dois modos: algumas atividades geraram problemas e, ao mesmo tempo, problemas orientavam essas atividades. Quando foi identificado que não havia diferença de temperatura entre alguns objetos e havia diferença na sensação térmica, gerou-se motivação para estudos sobre a estrutura microscópica dos materiais. Isso também ocorreu quando a água entrou em ebulição e “algo” sobre as moléculas de água precisava ser analisado para entender a manutenção da temperatura. Essas duas perguntas prepararam outras atividades experimentais, ou seja, os problemas gerados deram início a uma fenomenotécnica para investigar os fenômenos térmicos em função da estrutura da matéria. Em outros termos, os resultados dessas duas atividades geraram novos problemas. Por outro lado, outras questões estavam orientando a realização destas duas atividades. Na tomada de medida de temperatura de objetos, a questão era saber qual a relação entre temperatura e sensação térmica. Na atividade de aquecimento da água, o problema era saber como calor (em uma concepção substancialista) afeta temperatura à medida que esta aumenta.

Antes da discussão sobre a condutividade térmica dos materiais, foram utilizados *modelos representacionais* de um sólido (maquetes de estruturas cristalinas e quadro de madeira com bolas presas por molas). Por meio deles foi possível esclarecer que a ligação entre moléculas é responsável pela coesão dos materiais ao mesmo tempo em que é o meio de transmissão de energia cinética. Sendo assim, a atividade permitiu o compartilhamento de significado, pautado pela clareza do que a ligação significava. Isso foi imprescindível para que o conceito de condutividade térmica fosse construído posteriormente. Outro exemplo em que uma atividade contribuiu para o compartilhamento de significados foi a atividade dos copos. Nela, a sensação térmica passa a ser entendida como indicadora da diferença de temperatura entre objeto e pele, não mais como medidora de temperatura.

Conflitos cognitivos ocorreram ao esfregar as mãos e discutir sobre o aumento de temperatura sem “fonte de calor” e também ao identificar a manutenção da temperatura da água líquida mesmo havendo “fonte de calor”. Muito relevantes, essas duas atividades geraram conflitos cognitivos ao mostrarem a limitação do *pensamento substancialista* de calor. Outras duas atividades são exemplares para a

fissuração do obstáculo da *experiência primeira*. Na atividade dos copos, quando a água no copo B apresentou três sensações diferentes, os estudantes perceberam que a sensação térmica não indica diretamente a temperatura do objeto tocado. De forma semelhante, encontramos manifestações de surpresa ao medirmos praticamente a mesma temperatura para diferentes objetos. Todos esses conflitos permitiram fissurar os obstáculos e criar a necessidade de um modelo explicativo alternativo.

Com um conjunto de 4 *modelos representacionais*, sendo duas maquetes, verificamos um amplo potencial para trabalhar modelização. Por meio das discussões sobre esses aparatos, foram apresentadas ações de abstração e idealização, promovendo a construção de objetos-modelos de gases, líquidos e sólidos. Estes atos epistemológicos fortaleceram a fissuração de obstáculos enquanto favoreciam a superação por meio da produção de um novo modelo explicativo para os fenômenos térmicos.

Após a construção de um modelo alternativo, as atividades envolvendo condutividade térmica, a panela de papel e a cascata de tachinhas foram utilizadas como situações para os estudantes tentarem aplicar o novo modelo explicativo. Assim, essas atividades contribuíram para a superação dos obstáculos.

Adotar a concepção epistemológica bachelardiana pode ter sido um dos motivos para não identificarmos qualquer atividade experimental com característica de comprovação. Em nenhum momento o professor fez uso de aparatos experimentais com a finalidade de comprovar a validade dos conceitos produzidos ou exercitar o método experimental. O aparato utilizado no aquecimento da água permitiu a tomada de dados e um tratamento estatístico deles e, logo, poderia ser usado como exercício do método experimental. Porém, a equação de calorimetria extraída dos dados não foi importante para a construção dos conceitos de calor e temperatura.

O conjunto de atividades experimentais mostrou-se adequado para a superação da *experiência primeira*, ou seja, para promover uma mudança da atitude experimental dos estudantes. Contudo, para alcançar a plenitude dessa superação, seria necessário um estímulo maior da metacognição, ou seja, do controle sobre o pensar e agir. Se a metacognição envolve a reflexão e o planejamento sobre o pensar e, consequentemente, o agir, podemos dizer que ela é o próprio modelo alternativo ao pensamento empirista e suas primeiras impressões. Ela não é uma característica do aparato experimental, de forma que sua

evocação depende das concepções epistemológica e psicológica que norteiam a atividade didática.

Diante de nosso problema de pesquisa, é necessário ressaltar as características das atividades experimentais que favoreceram a superação de obstáculos de aprendizagem para os conceitos de calor e temperatura. Abaixo trouxemos um conjunto de características que detectamos e que não se reduzem somente ao trabalho desses conceitos. Com a ressalva de que não temos a pretensão de que estas sejam todas as que possam existir. Nesse contexto, as atividades experimentais devem:

- i. Ser baseadas em aparatos simples, que sejam prontamente reconhecidos pelos estudantes, aproximando-se de objetos ou situações enfrentadas no cotidiano. Essa característica é importante, pois permite iniciar o diálogo do mundo empírico, da “realidade imediata” com que o estudante está acostumado a pensar. Isso estimula a participação efetiva do mesmo, permitindo a manifestação de representações, a identificação de obstáculos e o estímulo à metacognição. Cabe ao professor, partindo do concreto, mediar os estudantes pelas vias da abstração.
- ii. *Ser compostas por aparatos de fácil reprodução ou reconstrução.* Em várias situações, durante as discussões sobre os fenômenos físicos, é necessário repetir os experimentos para corroborar ou refutar hipóteses. Muitas dessas perguntas podem demandar um aparato experimental que possa ser facilmente rearranjado durante uma aula, sustentando a discussão sobre o fenômeno.
- iii. *Mostrar as limitações das representações.* Para fissurar os obstáculos, são necessárias atividades cujos resultados coloquem em xeque as representações dos estudantes. Elas favoreceriam a tomada de consciência sobre suas representações e a configuração de conflitos sociocognitivos.
- iv. *Permitir a fácil visualização do fenômeno e suas principais variáveis.* Com o foco no fenômeno que se quer observar, reduz-se o risco de má interpretação sobre o que os termos e variáveis significam. Efeitos secundários da manipulação do experimento não devem se sobrepor ao principal do fenômeno. Caso ocorressem explosões, por exemplo, elas podem gerar

imagens valorizadas que possuem pouca relação com o fenômeno em si. A análise qualitativa do fenômeno pode ser muito mais importante conceitualmente do que a precisão de casas decimais ou nos erros da medida (desde que, é claro, essa precisão não seja crucial).

- v. *Gerar problematizações.* Para dar início à busca de um novo modelo explicativo, a construção de problemas com base nos resultados experimentais torna-se fundamental, visto que favorece o engajamento na busca por respostas e estimula conjecturas.
- vi. *Modelizar os fenômenos.* Os *modelos representacionais* selecionados devem permitir ao estudante abstrair, idealizar e usar de outros conhecimentos teóricos para compor um modelo explicativo alternativo. Os componentes físicos do *modelo representacional* devem levar em consideração os principais comportamentos físicos do objeto modelo. Deve ser perceptível a conexão / analogia entre os componentes e as características físicas do objeto modelo.

Toda a aplicação da sequência didática exigiu um Contrato Didático diferente do estabelecido no ensino tradicional, a ponto de estudantes se sentirem incomodados com a alteração dos papéis frente ao saber e reclamarem: “Não tô entendendo mais nada... tu [o professor] fica fazendo pergunta”; “Professor, por que você não diz o que a gente precisa saber de uma vez, ao invés de ficar perguntando?”. Esse “novo” Contrato Didático foi sustentado por uma Transposição Didática dos saberes de Física Térmica de caráter construtivista. Portanto, se for de interesse do professor ensinar Física enfrentando os obstáculos de aprendizagem, é necessário que ele mesmo tenha superado obstáculos epistemológicos em relação ao que é Ensino de Física.

Em segundo plano nesta dissertação, mas presente em nossas análises, sustentamos a viabilidade de um ensino com pressupostos construtivistas. As representações dos estudantes, ao mesmo tempo em que eram confrontadas, também eram a origem das problematizações, e foram a alavanca para o novo modelo explicativo. Corroboramos com o trabalho de Vigostki sobre a influência mútua dos conceitos espontâneos e dos não-espontâneos (científicos). O processo de aperfeiçoamento daqueles na direção destes exige uma conscientização, por parte do estudante, dos modos de pensar que geraram esses dois tipos de

conceitos. Podemos dizer que completar esse processo é a própria superação do obstáculo da *experiência primeira*.

Para contemplar as etapas de superação de obstáculos fica evidente que usar somente de atividades experimentais é limitado. Entendemos que se as aulas tivessem contemplado história da ciência, principalmente na discussão do *pensamento substancialista*, haveria maior clareza e aperfeiçoaria a tomada de consciência dos estudantes sobre os obstáculos epistemológicos, o que, por sua vez, potencializaria os *conflitos sociocognitivos*. Por exemplo, Astolfi e Peterfalve (1997) apresentam a ideia de colocar os estudantes como delatores de obstáculos nas falas dos colegas ou na leitura de textos. Existem artigos que tratam da evolução histórica dos conceitos de Calor e Temperatura e poderiam ser discutidos com os estudantes, como Gomes (2012), Gurgel e Pietrocola (2006) e Medeiros (2009).

Ficaram lacunas na busca pela superação dos obstáculos que as atividades experimentais utilizadas não deram conta de preencher. O reconhecimento de deficiências na sequência didática aplicada demonstra como não se deve considerá-la como uma proposta acabada. Instigamos os colegas professores a buscarem alternativas, aprimorando a prática deste tipo de proposta. A dinâmica que envolve a atividade docente certamente indicará novas possibilidades.

Esperamos ter contribuído com uma alternativa viável para colegas professores fazerem uso ao iniciarem o assunto de Física Térmica, especialmente ao discutirem os conceitos de Calor e de Temperatura. Essa ênfase dada à construção desses dois conceitos no início desse assunto seguramente facilitará as futuras ações didáticas.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Orlando. As relações entre Modelos Micro e Macroscópico na análise de Fenômenos Térmicos: superando contradições na sala de aula. In. **Atas do VIII EPEF**. Águas de Lindóia, 2002. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/viii>> Acesso: 20 de jun. 2011.

AMARAL, E. M. R; MORTIMER, Eduardo Fleury. Uma proposta de Perfil Conceitual para o conceito de calor. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. Vol. 1, n.3, p. 5-18, set., 2001.

ANDRADE, Joana de Jesus de; SMOLKA, Ana Luiza Bustamante. A Construção Do Conhecimento Em Diferentes Perspectivas: Contribuições De Um Diálogo Entre Bachelard E Vigotski. **Ciência & Educação**, v. 15, n. 2, p. 245-68, 2009.

ANDRADE, Jorge Augusto Nascimento de; LOPES, Nataly Carvalho; CARVALHO, Washington Luiz Pacheco. Uma análise crítica do Laboratório Didático de Física: a experimentação como uma ferramenta para a cultura científica. In.: **Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Florianópolis, 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/>> Acesso: 07 de fev. de 2013.

ANDRÉ, Marli. Pesquisa em Educação: Buscando Rigor e Qualidade. **Cadernos de Pesquisa**. n. 113, p. 51-64, jul. 2001.

ANGOTTI, José André Peres. **Fragmentos e Totalidades No Conhecimento Científico e No Ensino de Ciências**. Tese de Doutorado da Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo: 1991.

_____. Conceitos Unificadores e Ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Vol. 15, n°s (1 a 4), 1993.

ASTOLFI, Jean Pierre. Los obstáculos para el aprendizaje de conceptos em ciencias: la forma de franquerlos didácticamente. In.: PALACIOS, C., ANSOLEAGA, D. & AJOS, A (Orgs). **Diez años de investigación e enovación em enseñanza de las ciencias**. Madrid: CIDE, 1993.

_____ ; El trabajo didáctico de los obstáculos, en el corazón de los aprendizajes científicos. **Enseñanza de las Ciencias**. v. 12, n.2, p. 206-216. Barcelona/Valencia: 1994.

_____ ; PETERFALVI, Brigitte. Stratégies de travail des obstacles : Dispositifs et ressorts. In. **ASTER**. Enseignants et élèves face aux obstacles. n° 25. p. 193-216. Paris: INRP, 1997.

AZEVEDO, Hernani Luiz; MONTEIRO JÚNIOR, Francisco Nairon; SANTOS, Thiago Pereira; CARLOS, Jairo Gonçalves; TANCREDO, Bruno Nogueira. O uso do experimento no ensino da Física: tendências a partir do levantamento dos artigos em periódicos da área no Brasil. In.: **Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Florianópolis, 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/>> Acesso: 07 de fev. de 2013.

BACHELARD, Gaston. **A Filosofia do Não**. Tradução de Joaquim José Moura Ramos. 5ª edição. Lisboa: Editorial Presença, 1991.

_____. **A formação do espírito científico**. Tradução por Estela dos Santos Abreu. 1ª edição. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

_____. **O novo espírito científico**. Tradução por Juvenal Hahne Junior. 3ª edição. Rio de Janeiro: Tempo brasileiro, 2000.

BARBIER, René. **A Pesquisa-Ação**. Tradução Lucie Didio. Brasília: Liber Livro, 2007.

BARLET, Roger; PLOUIN, La dualité microscopique-macroscopique un obstacle sous-jacent aux difficultés en chimie dans l'enseignement universitaire. Dominique. In. **ASTER** n° 25. Enseignants et élèves face aux obstacles. p. 143-174. Paris: INRP, 1997.

BAUER, Martin W. Análise de conteúdo clássica: uma revisão In: BAUER, Martin W.; GASKELL, George (Ed.). **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático**. p. 189-217. Tradução de Pedrinho A. Guareschi. 7ª Edição. Petrópolis: Vozes, 2008.

BUNGE, Mario Augusto. **Caçando a Realidade: a luta pelo realismo**. Tradução de Gita K. Guinsburg. São Paulo: Perspectiva, 2010.

BROUSSEAU, Guy. *Obstacles épistémologiques, conflits socio-cognitifs et ingénierie didactique*, Montréal: 1986. Disponível em: <<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00516586/fr/>> Acessado em 07 de fev. de 2012.

_____. *Les obstacles épistémologiques et la didactique des mathématiques*. In: BEDNARZ, N.; GARNIER, C. (Ed.), **Construction des savoirs**, Obstacles et Conflits. Montréal: CIRADE Les éditions Agence d'Arc inc, p. 41-63, 1989. Disponível em: <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00516581/fr/> Acessado em 07 de fev. de 2012.

CARLOS, Jairo Gonçalves; *et. al.* *Análise de artigos sobre atividades experimentais de Física nas atas do Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências*. In.: **Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Florianópolis, 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/>> Acesso: 07 de fev. de 2013.

CHAGAS, Saionara Moreira Alves das; MARTINS, Isabela. *Os sentidos do laboratório didático no discurso de professores de física: polissemia e intertextualidade*. In: **Atas do X EPEF**. 2006. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epenf/x/>> Acesso: 10 de set. 2011.

CHALMERS, Alan F. **O que é ciência afinal?** Tradução de Raul Filker. 1ª ed. São Paulo: Editora brasiliense, 1993.

CHEVALLARD, Yves. **La Transposición Didáctica: Del Saber Sabio Al Saber Enseñado**. Aique: Buenos Aires, 1991.

_____. *Three types of conceptual change: Belief revision, mental model transformation, and categorical shift*. In.: VOSNIADOU, S. (Ed.), **Handbook of research on conceptual change**. Hillsdale, NJ: Erlbaum, p. 61-82, 2008. Disponível em: <http://chilab.asu.edu/papers/Chi_concpetualchangechapter.pdf> Acesso: 02 de fev. 2012.

CHINN, Clark A.; BREWER, William F. *The Role of Anomalous Data in Knowledge Acquisition: A theoretical Framework and Implications for Science Instruction*. In: **Review of Educational Research**. V. 63, nº1, p.1-49. Spring, 1993.

CINDRA, José Lourenço. Discussão Conceitual para o Equilíbrio Térmico. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física** v. 21, p. 176-193, ago. 2004.

COUTO, Francisco Pazzini; AGUIAR, Orlando Gomes de; FREITAS, Petrônio Lobato. Experimentação e modelagem identificando ações docentes na condução de uma investigação compartilhada em óptica geométrica em sala de aula. In: **Atas do XII EPEF**. 2010. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/~epef/xii/>> Acesso: 10 de set. 2011.

DELIZOICOV, Demétrio. Problemas e Problematizações. In. PIETROCOLA, Maurício. (Org.). **Ensino de Física: conteúdo, metodologia e epistemologia em uma concepção integradora**. Florianópolis: UFSC, 2ª ed., p. 124-150, 2005.

EL-HANI, C.N. e BIZZO, N. M. V. Formas de construtivismo: mudança conceitual e construtivismo contextual. **Ensaio**. Pesquisa em Educação em Ciências, v. 4, n. 1, p. 1-25, Belo Horizonte, 2002.

ELLIOT, J. **La investigación-acción en educación**. Madrid: Morata, 1990.

ERTHAL, João Paulo Casaro; LINHARES, Marília Paixão. A Física das radiações eletromagnéticas e o cotidiano dos alunos do Ensino Médio: construção de uma proposta de ensino. In: **Atas do X EPEF**. 2006. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/x/>> Acesso: 10 de set. 2011.

EULER, M. The Role of experiments in the teaching and learning of physics. p. 175-222 In.: Org. Società Italiana di Fisica. **Research on Physics Education**. Proceedings of the International School Of Physics “Enrico Fermi”. Italia: IOS Press, 2004.

FABRE, Michel ; ORANGE, Christian. Construction des problèmes et franchissements d'obstacles. In.: **ASTER** n° 24. Obstacles: travail didactique. p. 37-57. Paris: INRP, 1997.

FEYERABEND, Paul K. Contra o Método. Tradução de Cezar Augusto Mortari. São Paulo: Editora UNESP, 2007.

FILLON, Pierre. Dominique. Des élèves dans un labyrinthe d'obstacles.

In. **ASTER** n° 25. Enseignants et élèves face aux obstacles. p. 113-141. Paris: INRP, 1997.

FRANCO, Maria Amélia Santoro. Pedagogia da Pesquisa-ação. São Paulo: **Revista Educação e Pesquisa**, v. 31, n. 3, p. 483-502, 2005.

FRENCH, Steve. **Ciência**: conceitos-chave em filosofia; tradução André Klaudat. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GASPAR, Alberto; MONTEIRO, Isabel Cristina de Castro. Atividades Experimentais de Demonstração em Sala de Aula: orientações e justificativas a partir da teoria de Vigotski. In.: **Atas do IX EPEF**. 2004 Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix>> Acesso: 10 de ago. 2011.

GOMES, Luciano Carvalhais. A ascensão e queda da teoria do calórico. **Caderno brasileiro de ensino de Física**. v. 29, n. 3. p. 1030-1073. Florianópolis, 2012.

GURGEL & PIETROCOLA. Modelos e realidade: um estudo sobre as explicações acerca do calor no século XVIII. In.: **Atas do X EPEF**. Londrina: 2006. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/x/atas/>>. Acesso: 01 de mar. 2012.

GUNSTONE, Richard F. Reconstructing theory from practical experience. In WOOLNOUGH, B. Practical Science - The role and reality of practical work in school science. Open University Press, Celtic Court, Buckingham, 67-77, 1991.

JACQUES, Vinícius. **A Energia no Ensino Fundamental**: o Livro Didático e as Concepções Alternativas. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Educação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

KÖHNLEIN, J. F. K., PEDUZZI, S. S. Um Estudo A Respeito Das Concepções Alternativas Sobre Calor E Temperatura. In.: **Revista Brasileira de Investigação em Educação em Ciências**, vol. 2, nº 3, p. 84-96, 2002. Disponível em: <<http://www.fae.ufmg.br/abrapec/revistas/V2N3/v2n3a2.pdf>> Acessado em: 31 out. 2011.

KUHN, Thomas S.. **As estruturas das Revoluções Científicas**. Tradução Beatriz Vianna Boeira e Nelson Boeira. 9ª ed. São Paulo: Perspectiva, 2006.

LABURÚ, Carlos Eduardo; CARVALHO, Marcelo de. **Educação Científica: Controvérsias Construtivistas e Pluralismo Metodológico**. Londrina: EDUEL, 2005.

LABURÚ, Carlos Eduardo. Fundamentos para um experimento cativante. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.23, n.3: p. 382-404. Florianópolis, 2006.

LOPES, Alice Ribeiro Casimiro. Bachelard: o Filósofo da Desilusão. **Caderno brasileiro de ensino de Física**. v.13, n. 3: p. 248-273, dez. 1996.

_____. Contribuições de Gaston Bachelard ao Ensino de Ciências. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 3: p.324-330, 1993.

MACHADO, Juliana. **Modelização na Formação Inicial de Professores de Física**. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Educação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

MARANDINO, Marta. A Prática de Ensino nas Licenciaturas e a Pesquisa em Ensino de Ciências: Questões atuais. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v.20, n.2: p.168-193, ago. 2003.

MARTINS, André Ferrer P. Algumas Contribuições da Epistemologia de Gaston Bachelard à Pesquisa em Ensino de Ciências. In: **Atas do X EPEF**. 2006. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/x/>> Acesso: 10 de set. 2011.

MATTOS, Cristiano; DRUMOND, Ana Valéria N. Sensação térmica: uma abordagem interdisciplinar. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. v. 21, n.1: p.7-34, abr. 2004.

MEDEIROS, Alexandre. Entrevista com o Conde Rumford: da teoria do calórico ao calor como uma forma de movimento. **Física na Escola**, v.

10, n. 1. 2009. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol10/Num1/a02.pdf>> Acesso: 09 de fev. 2013.

MILLAR, Robin. A means to an end: the role of process in science education. In WOOLNOUGH, B. **Practical Science** - The role and reality of practical work in school science. Open University Press, Celtic Court, Buckingham, 43-52, 1991.

_____. The role of practical work in the teaching and learning of science. In.: **Meeting: High School Science Laboratories: Role and Vision**. National Academy of Sciences, Washington, DC, jun. 2004.

_____; ABRAHAMS, Ian. Practical work: Making it more effective. *School Science Review* (SSR). v.91, n. 334: p. 59-64, set. 2009.

MION, Rejane; ANGOTTI, José André Peres. Investigação-Ação e a formação de professores em Física: O papel da intenção na produção do conhecimento crítico. In. **Atas do IX EPEF**. 2004. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix/atas/posteres/po21-16.pdf>>. Acesso em: 31 out. 2011.

MOREIRA, Ana Cláudia S.; PENIDO, Maria Cristina Martins. Sobre as propostas de utilização das atividades experimentais no ensino de Física. In.: **Atas do VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. Florianópolis, 2009. Disponível em: <<http://posgrad.fae.ufmg.br/posgrad/viiienpec/>> Acesso: 07 de fev. de 2013.

MOREIRA, Herivelto; CALEFFE, Luiz Gonzaga. **Metodologia da pesquisa para o professor pesquisador**. 2ª edição. Rio de Janeiro: Lamparina, 2008.

MORTIMER, Eduardo Fleury. Construtivismo, mudança conceitual e ensino de ciências: para onde vamos? **Investigações em Ensino de Ciências**. v. 1, n.1, p. 20-39, 1996. Disponível em: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>> Acessado em: 19 de jan. 2012.

OLIVEIRA, Marta Kohl. **Vigotski**: aprendizado e desenvolvimento; um

processo histórico. São Paulo: Editora Scipione, 2002.

OLIVEIRA, Vanessa Vale; *et. al.* Atividades de conceitualização em Física Térmica: buscando Invariantes Operatórias. In: **Atas do XIV EPEF**. Maresias, 2012. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/xiv/programa/lista_trabalho.asp?sesId=6> Acesso: 24 de fev. 2013.

ORANGE, Christian. Problématisation, savoir et apprentissages em sciences. In.: (Org.) FABRE, Michel; VELLAS, Etienne. **Situations de formation et problématisation**. P. 75-90. 1ª Ed. Bruxelas, Bélgica: De Boeck & Larcier, 2006.

PADILHA, Jackson Neo; CARVALHO, Anna Maria Pessoa de. A diferenciação dos conceitos de sombra, reflexão e imagem. In: **Atas do IX EPEF**. 2004. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/ix/>> Acesso: 10 de set. 2011.

PEDUZZI, Orlando Quadro. **Do átomo grego ao átomo de Bohr**. 208 p. Publicação interna do Departamento de Física. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2008.

PENA, Fábio Luís Alves; RIBEIRO FILHO, Aurino. Obstáculos para o uso da experimentação no ensino de Física: um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas. In.: **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. v. 9, n. 1, 2009. Disponível em: <<http://revistas.if.usp.br/rbpec>> Acesso: 07 de fev. de 2013.

PENN, Gemma. Análise semiótica de imagens paradas. In: BAUER, Martin W.; GASKELL, George (Ed.). **Pesquisa qualitativa com texto, imagem e som: um manual prático**. p. 319-342. Tradução de Pedrinho A. Guareschi. 7ª Edição. Petrópolis: Vozes, 2008.

PEREIRA, J. C. R. **Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais**. 3ª edição. São Paulo: EDUSP, 2004.

PEREIRA, Marta Máximo. “Ufa! Que calor é esse?! Rio 40°C” – Uma proposta de ensino dos conceitos de calor e temperatura no Ensino

Médio. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010.

PETERFALVI, Brigitte. L'identification d'obstacles par les élèves. In: **ASTER**. n° 24. Obstacles: travail didactique. p. 171-202. Paris: INRP, 1997.

_____. Problématisation et travail sur les obstacles en sciences. In.: (Org.) FABRE, Michel; VELLAS, Etienne. **Situations de formation et problématisation**. P. 97-106. 1ª Ed. Bruxelas, Bélgica: De Boeck & Larcier, 2006.

PIAGET, Jean. Development and learning. **Journal of Research in Science Teaching** XI. N° 3: p. 176-186, 1964.

PINHO-ALVES, José de. **Atividades Experimentais: do Método à Prática Construtivista**. Tese (Doutorado em Educação). Programa de Pós-Graduação em Educação. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000.

PLE, Elisabeth. Transformation de la matière à l'école élémentaire : des dispositifs flexibles pour franchir les obstacles. In: **ASTER**. n° 24. Obstacles: travail didactique. p. 203-229. Paris: INRP, 1997.

POPPER, Karl. **A lógica da Pesquisa Científica**. Tradução de Leonidas Hegenberg e Octanny Silveira da Mota. São Paulo: Cultrix, 2007.

POSNER, G. J. *et. al.*. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.

RANGEL, Anammaria Píffero. **Construtivismo: apontando falsas verdades**. Porto Alegre: Editora Mediação, 2002.

RIBEIRO, E. O. R. **Obstáculos Epistemológicos no Estudo do Calor**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemáticas. Universidade Federal do Pará. Belém: 2004.

ROBARDET, Guy. Le jeu des résistors: Une situation visant à ébranler des obstacles épistémologiques en électrocinétique. In: **ASTER**. n° 24.

Obstacles: travail didactique. p. 59-79. Paris: INRP, 1997.

ROSA, Cleci Teresinha Werner da. **A Metacognição e as Atividades Experimentais no Ensino de Física**. Tese (Doutorado em Educação). Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2011.

SILVA, Djalma Nunces da; PACCA, Jesuína Lopes de Almeida. “Quente e Frio”, “Calórico” e “Energia”, três visões distintas sobre calor. In: **Atas do XIV EPEF**. Maresias, 2012. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/xiv/programa/lista_trabalho.asp?sesId=2> Acesso: 24 de fev. 2013.

SILVA, Osmar Henrique Moura da; LABURÚ, Carlos Eduardo; NARDI, Roberto. Reflexões para Subsidiar Discussões sobre o Conceito de Calor na Sala de Aula. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 25, n. 3, p. 383-396, 2008.

SÖZBILIR, Mustafa. A review of selected literature on students' misconceptions of heat and temperature. In: **Boğaziçi University Journal of Education**. Vol. 20, nº1, 2003. Disponível em: <<http://buje.boun.edu.tr>> Acesso: 10 de ago. 2011.

TALIM, Sérgio Luiz. Mudanças conceituais no ensino de ótica: a formação de imagens pelo espelho côncavo. In: **Atas do X EPEF**. 2006. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/x/>> Acesso: 10 de set. 2011.

TAMIR, P. Practical work in school science: an analysis of current practice. In WOOLNOUGH, B. **Practical Science** - The role and reality of practical work in school science. Open University Press, Celtic Court, Buckingham, 13-21. 1991.

TRIPP, David. Pesquisa-ação: uma introdução metodológica. São Paulo: **Revista Educação e Pesquisa**, v. 31, n. 3, set./dez. p. 443-466, 2005.

VIGOTSKI, Lev Semenovitch. **A Formação Social da Mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores**. Tradução: José Cipolla Neto, Luis Silveira Menna Barreto, Solange Castro Afeche. São Paulo: Livraria Martins Fontes, 3ª ed. 1989.

_____. **Pensamento e linguagem.** Tradução Jefferson Luiz Camargo. 4ª edição. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

_____. Aprendizado e Desenvolvimento Intelectual na Idade Escolar. In.: **Linguagem, Desenvolvimento e Aprendizagem.** Tradução: Maria da Pena Villalobos. 11ª edição. p. 103-117. São Paulo: Ícone, 2010.

WHITAKER, Marisa Andreato, et. al. Brincando com ciências: o comportamento dos imãs e as possibilidades de crianças no estágio pré-operatório atingirem a zona de desenvolvimento proximal. In: **Atas do VIII EPEF.** 2002. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epef/viii>> Acesso: 4 de set. 2011.

APÊNDICE

APÊNDICE A – INSTRUMENTOS UTILIZADOS NA SONDAGEM

Questionário N°1 – Manifestação de obstáculos

1. Assinale quão quentes são os seguintes corpos (1 - frio, 2 - morno e 3 - quente):

Metal Madeira Gelo Água líquida Vapor de água

2. Ao segurar uma pedra de gelo, que é água congelada, você poderia dizer que: (você pode selecionar mais de uma opção)

A sua mão transfere calor para o gelo Falta calor na pedra de gelo A temperatura do gelo é baixa O gelo tem bastante frio nele

3. Para esquentar o meu corpo eu posso usar um cobertor, pois:

Ele é quente, tem temperatura maior que a do meu corpo Ele esquenta o meu corpo com o seu calor Ele isola o calor do meu corpo, mantendo a minha temperatura

4. Para aumentar a temperatura da água para fazer chá ou café eu posso: (você pode selecionar mais de uma opção)

Cobrir a chaleira com um cobertor, pois ele tem calor Iluminar com o Sol, pois ele emite radiação que aquece Fornecer calor através de uma chama Chacoalhar a água para aumentar a agitação das moléculas de água

5. Quando a água do seu chá começa a ferver, a chama do fogão:

Faz a temperatura da água subir até que toda a água acabe Faz a água entrar em ebulição, mas a temperatura não muda Fornece certa quantidade de energia para evaporar as moléculas de água

6. Nós usamos refrigerantes dentro de uma caixa de isopor e colocamos gelo dentro, pois: (você pode selecionar mais de uma opção)

Precisamos manter a bebida com temperatura baixa Queremos abaixar a temperatura da bebida com o frio do gelo O gelo e o isopor isolam os alimentos do ambiente externo O isopor faz o papel de um iglu (casa de esquimó)

7. Ao colocar uma colher de alumínio no seu chá: (você pode selecionar mais de uma opção)

Quanto menor a massa da colher, mais rápido ela aquece Uma colher pequena recebe mais calor que uma grande A colher pode ficar com uma temperatura maior que a do chá A temperatura do chá não muda

8. Temperatura está relacionada a:

Quão quente é o corpo Estado energético das moléculas do corpo Quanto de calor há no corpo

9. Quando um corpo cede calor para outro:

Perde parte do calor que tinha As suas moléculas perdem parte de sua energia O frio do outro corpo passa para ele

10. No equilíbrio térmico:

A temperatura dos corpos é a mesma Não há troca de calor A temperatura é igual, mas não o calor

11. A diferença das moléculas de água no gelo, na água líquida e no vapor é:

A energia de movimento das moléculas O calor das moléculas Temperatura da substância

Questionário N° 2 – Manifestação de obstáculos – Escala de Likert

1. Quente é sinônimo de calor.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

2. Quente é sinônimo de temperatura alta.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

3. Frio é sinônimo de temperatura baixa.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

4. Ao encostar a mão em um objeto eu posso sentir o calor que ele tem.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

5. Um metal tem temperatura alta quando eu encosto nele e sinto minha mão aquecer

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

6. O metal é sempre mais frio que a madeira

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

7. Uso roupa para aquecer meu corpo

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

8. Uso roupa para manter a temperatura do meu corpo

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

9. Uso roupa para manter o calor do meu corpo

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

10. O gelo tem pouco calor, enquanto o vapor de água tem bastante

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

11. A troca de calor sempre aquece qualquer corpo nunca há resfriamento

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

12. O calor é um fluido que pode ser armazenado por alguma substância.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

13. O gelo tem frio enquanto o vapor de água tem calor.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

14. Maior é a temperatura da panela quanto mais quente ela estiver.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

15. Sempre que fornecemos calor para a água, a temperatura dela muda.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

16. O calor não consegue passar pelo metal, mas passa pela madeira.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

- 1. Só há troca de calor quando a minha mão está a uma temperatura diferente da do objeto que encosto.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
- 2. Não há troca de calor ao esfregar as minhas mãos.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
- 3. Para uma mesma quantidade de calor, a água fica mais aquecida que um metal.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
- 4. Calor pode ser explicado a partir da estrutura microscópica da substância.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
- 5. Temperatura pode ser explicada em termos da energia das moléculas.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
- 6. Para haver troca de calor é preciso contato físico entre os objetos.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
- 7. A condução só depende do tipo de material.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
- 8. Só matéria conduz calor.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
- 9. Calor pode ser entendido com a energia trocada entre moléculas.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
- 10. Calor é um conceito que diz respeito a algo concreto.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
- 11. Calor é um conceito que diz respeito a um processo físico, não é um objeto ou substância.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
- 12. Calor é a quantidade de energia que é trocada entre dois corpos.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
- 13. Energia é um conceito que diz respeito a algo abstrato, como um número.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

Roteiro de Atividade Nº 1 – Aula nº 2

ETAPA 1

1) A água no copo A está:

quente morna fria

2) A água no copo B está:

quente morna fria

3) A água no copo C está:

quente morna fria

4) Em qual dos copos a água está a uma temperatura maior?

Copo A Copo B Copo C

A água no copo B tem mais calor que a água do copo A:

VERDADEIRO FALSO

ETAPA 2

1) Quando o dedo que estava mergulhado na água no copo A é colocado na água do copo B, eu senti:

que a água no copo B estava quente
 que a água no copo B estava fria

2) Quando o dedo que estava mergulhado na água no copo C é colocado na água do copo B, eu senti:

que a água no copo B estava quente
 que a água no copo B estava fria

ETAPA 3

1) Meça a temperatura da água em cada copo e anote abaixo:

No copo A: _____ No copo B: _____ No copo C: _____

2) Ao encostar na água eu estou sentido:

a temperatura dela o calor dela a troca de calor

3) A água no copo A tem menos calor que a água do copo C

VERDADEIRO FALSO

ETAPA 4

1) A temperatura do metal é menor que a temperatura da madeira.

VERDADEIRO FALSO

2) A temperatura do tecido é diferente da temperatura da bola de gude.

VERDADEIRO FALSO

3) Se você segurar uma barra de metal e um pedaço de madeira, qual deles troca mais calor com a sua mão?

metal madeira não há diferença

Roteiro de atividade Nº 2 – Aula 3/4

ETAPA 1									
1) Temperatura é a medida de quanto de calor há na substância									
()	VERDADEIRO	()	FALSO						
2) Quando a água líquida está fervendo é possível mudar a temperatura da água usando mais calor.									
()	VERDADEIRO	()	FALSO						
3) Durante o momento em que a água líquida está congelando (transformando-se em gelo), o que acontece com ela?									
()	a temperatura da água diminui enquanto congela								
()	o frio entra na água líquida até congelá-la totalmente								
()	a água está emitindo calor para o ambiente								
4) Ao misturar água a 50°C com outra quantidade de água a 50 °C, a temperatura da mistura deve ficar:									
()	100°C								
()	Entre 50°C e 100°C								
()	50°C								
5) A temperatura final quando se mistura 300 ml água a 80 °C com 100 ml de água a 20 °C deve ser:									
()	60°C								
()	100°C								
()	Entre 40°C e 80°C								
()	Entre 20°C e 40°C								
ETAPA 2									
1) Se a água está fervendo o calor não vai mudar a temperatura da água									
()	VERDADEIRO	()	FALSO						
2) O calor do corpo depende da temperatura									
()	VERDADEIRO	()	FALSO						
3) A quantidade de calor que existe no corpo pode ser medida pela temperatura									
()	VERDADEIRO	()	FALSO						
4) A temperatura final quando se mistura 300 ml água a 20°C com 100 ml de água a 80°C é:									
()	60°C								
()	100°C								
()	Entre 40 e 80°C								
()	Entre 20 e 40								
5) A troca de calor pode provocar aumento ou diminuição de temperatura									
()	VERDADEIRO	()	FALSO						

Teste 1

- Das alternativas abaixo, marque qual delas representa, na Física, a definição de **temperatura**.
 - A medida da quantidade de calor de uma substância.
 - A média da energia cinética das moléculas de uma substância.
 - A quantidade de calor trocado com outra substância.
- Das alternativas abaixo, marque aquela que melhor se aplica, na Física, à definição de **calor**.
 - A quantidade de energia trocada entre substâncias que pode mudar a temperatura e o estado físico delas.
 - A quantidade de energia que uma substância possui em seu interior.
 - O quanto de temperatura que o corpo possui ou consegue trocar com outro corpo.
- Enquanto está segurando uma pedra de gelo, sua mão acusa a sensação de “frio”. Sobre o fenômeno físico que ocorre nessa situação é correto afirmar que:
 - O tato indica a falta calor na pedra de gelo.
 - O tato mede a temperatura do gelo.
 - O tato indica que o gelo tem bastante frio nele.
 - A sua mão emite calor para o gelo.
- Em dias de inverno é comum as pessoas vestirem luvas. Sobre o fenômeno físico envolvendo o uso de luva, é correto dizer que ela:
 - Tem temperatura maior que a do meu corpo, por isso me esquento.
 - Esquento cada uma das minhas mãos com o calor que a luva tem.
 - Isola as minhas mãos, impedindo a troca de calor com o ambiente.
- Na segunda semana fizemos um experimento em sala de aula em que a água líquida atinge o ponto de ebulição (100°C), transformando-se em vapor. **Durante** a ebulição, é correto afirmar que a chama:
 - Cede certa quantidade de energia para romper as ligações entre as moléculas de água.
 - Enquanto houver água líquida entrando em ebulição, aumenta a temperatura da água.
 - Muda a quantidade de calor da água, mas a temperatura dela não muda.
- Na primeira semana de aula, fizemos um experimento com três recipientes (A, B e C) com água a temperaturas diferentes (A=20°C B=38°C C=48°C). Ao retirar as mãos que estavam mergulhadas, uma no recipiente C e outra em A e, depois, colocar ambas em B, uma mão indicou que a água em B estava quente e a outra mão indicou que a água em B estava fria. Sobre o fenômeno físico envolvido, é correto afirmar:
 - A nossa pele mede a temperatura dos objetos que tocamos.
 - Quando a mão é retirada de A e colocada em B, o calor é transmitido da mão para a água em B.
 - Quando a mão é retirada de C e colocada em B, o calor é transmitido da mão para a água em B.
 - Não há troca de calor e nem é possível dizer a temperatura de cada água.
- Desenhe o comportamento das moléculas de um metal (a) quando a 20 °C e (b) quando a 80 °C.
- Desenhe o comportamento das moléculas de água de certa quantidade de água (a) na forma de gelo e outra quantidade (b) na forma de vapor de água. Evidencie as diferenças.

Dicas para as questões 7 e 8:

Desenhe as moléculas como bolas e indique a agitação delas por “(”, o movimento livre por setas e a força de ligação por “molass” ou linhas retas. Isso se houver movimentação, agitação ou alguma força de interação.

Ex.: Agitação de moléculas “presas”: Bastante: ((((Pouca: (

Moléculas livres: 

Teste 2

1. Durante o momento em que você toca em uma panela aquecida recentemente no fogão, você tem a “sensação térmica” de “quente”. Sobre o fenômeno físico que ocorre nessa situação é correto afirmar que:
 - a) O meu tato é uma maneira para medir a temperatura de qualquer objeto.
 - b) O tato indica que a panela tem pouco frio e bastante calor.
 - c) A panela passa a sua temperatura para a minha mão.
 - d) A panela cede calor para a minha mão, pois ela está a uma temperatura maior.
2. Após um dia de aula, você volta para casa e encosta a mão na maçaneta metálica da porta de casa e depois na madeira da porta. Você fica curioso ao perceber que, ao encostar sua mão na maçaneta, a sensação de “frio” é maior que quando você encosta a mão na madeira. Sobre o fenômeno físico ocorrido é correto afirmar que:
 - a) A madeira está a uma temperatura maior que o metal.
 - b) Ambos estão na mesma temperatura, mas o metal é melhor condutor de calor.
 - c) Ambos estão na mesma temperatura, mas o metal tem mais frio.
 - d) O metal está a uma temperatura menor que a do ambiente.
3. Quando um cozinheiro ou uma cozinheira tenta tirar uma fôrma com algum cozido do forno, é normal que se usem panos ou luvas. Em outra situação, utilizam-se luvas quando estamos no inverno. Sobre essas situações envolvendo o uso de tecido é correto afirmar que:
 - a) A luva é um excelente condutor térmico, conduz a temperatura rapidamente.
 - b) A luva tem mais calor que a minha mão, por isso que esquenta.
 - c) A luva tem uma temperatura maior que a minha mão.
 - d) A luva isola as minhas mãos, impedindo a troca de calor com o ambiente.
4. Ao aquecer certa quantidade de água em uma chaleira, de 20°C a 100°C, e manter a chama acesa depois de atingir os 100 °C, é correto afirmar que a chama:
 - a) Aumenta a temperatura até 100°C e depois cede certa quantidade de energia para romper as ligações entre as moléculas de água.
 - b) Aumenta a temperatura e a energia cinética das moléculas enquanto houver água líquida.
 - c) Muda a quantidade de calor armazenado pela água, mas a temperatura dela não muda.
5. Você chegou hoje ao colégio e cumprimentou dois colegas com um aperto de mão. Um deles, o Pernalonga, reclamou que a sua mão estava muito gelada e o outro, Patolino, discordou e disse que a sua mão estava quente. Sobre o fenômeno físico envolvendo o tato e a sensação térmica, é correto afirmar:
 - a) Isso não pode ocorrer, pois é impossível que minha mão esteja a duas temperaturas diferentes.
 - b) Não houve troca de calor e não é possível dizer a temperatura dos objetos pelo tato.
 - c) Quando a sua mão tocou a mão do Patolino, o calor foi transmitido da sua mão para dele.
 - d) Quando a sua mão tocou a mão do Pernalonga, o calor foi transmitido da sua mão para a dele.
6. Desenhe o comportamento das moléculas de um metal (a) quando a -10°C e, ao lado, (b) quando a 20°C.
7. Desenhe o comportamento das moléculas (a) de um gás e (b) de um sólido. Evidencie as diferenças que caracterizam tais estados da matéria.

APÊNDICE B – INSTRUMENTOS UTILIZADOS NO ENSAIO PILOTO

Questionário P

1. **Ao encostar a mão em um objeto eu posso sentir o calor que ele tem.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
2. **Um metal tem temperatura alta quando eu encosto nele e sinto minha mão aquecer.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
3. **O metal da maçaneta é sempre mais frio que a madeira da porta.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
4. **Uso roupa quente para aquecer meu corpo.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
5. **Para manter a temperatura do meu corpo, devo vestir peças de roupa.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
6. **O calor do meu corpo é mantido quando estou agasalhado.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
7. **O gelo tem pouco calor, enquanto o vapor de água tem bastante.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
8. **Durante a troca de calor entre duas substâncias, ambas aquecem, e não há o resfriamento de qualquer uma delas.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
9. **O calor é como um fluido que pode ser armazenado pelas substâncias.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
10. **O gelo tem frio enquanto o vapor de água tem calor.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
11. **Maior é a temperatura de uma panela quanto mais quente ela estiver.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
12. **Sempre que fornecemos calor para a água, a temperatura dela muda.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
13. **Uma panela de metal esquenta mais que a água em seu interior porque o calor não consegue atravessar o metal de forma rápida.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
14. **Só há troca de calor quando a minha mão está a uma temperatura diferente da do objeto em que encosto.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

15. Não há troca de calor ao esfregar as minhas mãos.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

16. Se a água receber mais calor que um objeto metálico, ela ficará mais quente.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

17. Calor é um conceito que pode ser explicado a partir da estrutura microscópica da substância.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

18. Temperatura é um conceito que pode ser explicado por meio da agitação das moléculas da substância.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

19. Para haver transmissão de calor é preciso contato físico entre os objetos.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

20. A condução de calor só depende do tipo de material em que o processo ocorre.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

21. Só matéria conduz calor.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

22. Calor pode ser entendido como a energia transmitida entre moléculas.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

23. Calor é um conceito sobre algo concreto, como uma substância.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

24. Calor é um conceito que diz respeito a um processo físico, um evento que ocorre ao longo do tempo, não é um objeto ou uma substância.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

25. Calor é a quantidade de energia que é trocada entre dois corpos.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

26. Energia é um conceito relacionado a algo abstrato, como um número.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

27. Dizer que “está quente” é o mesmo que dizer “calor”.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

28. “Quente” significa “temperatura alta”.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

29. “Frio” tem o mesmo significado que temperatura baixa.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

Atividade Experimental I-P

Quente ou Frio?

Abaixo temos uma tabela com três colunas. Na primeira delas estão listados alguns materiais. Na segunda coluna você deve escrever se imagina que o objeto seja quente ou frio. Na última, anote a resposta dada pelo seu colega que está vendado.

Material	Minha Expectativa	Tato do colega
Madeira		
Tecido		
Isopor		
Metal		
Plástico		
Vidro		

Houve alguma diferença entre a sua expectativa e a afirmação do colega? Por que você deu esse palpite?

Quando interage com algum objeto no seu dia-a-dia e ele se mostra quente, com base em quê, você faz essa afirmação?

Atividade Experimental II-P

Experimento das “três bacias com água” (G)

Existe uma maneira de sabermos se a água em cada copo é quente ou fria?

Para auxiliar a nossa discussão, abaixo há um roteiro para anotarem alguns resultados do experimento.

OBS.: Quando aparecer mais de uma resposta no grupo sem haver consenso, preenchem as iniciais do nome de cada um na grade ao lado das respectivas respostas.

1. Quando colocamos a mão na água que está no copo A, sentimos que a água está:

- | | |
|-----------|----------------|
| a) quente | Iniciais: ____ |
| b) fria | Iniciais: ____ |
| c) morna | Iniciais: ____ |

No copo B:

- | | |
|-----------|----------------|
| a) quente | Iniciais: ____ |
| b) fria | Iniciais: ____ |
| c) morna | Iniciais: ____ |

No copo C:

- | | |
|-----------|----------------|
| a) quente | Iniciais: ____ |
| b) fria | Iniciais: ____ |
| c) morna | Iniciais: ____ |

2. O que é possível afirmar sobre a temperatura da água no copo C comparada com a água no copo A?

- | | |
|--|----------------|
| a) A temperatura da água em C é maior. | Iniciais: ____ |
| b) A temperatura da água em A é maior. | Iniciais: ____ |
| c) Não é possível comparar as temperaturas usando a mão. | Iniciais: ____ |

3. Esse mesmo fenômeno pode ser explicado em termos de calor?

- | | |
|---|----------------|
| a) A água no copo C possui mais calor que a do copo B. | Iniciais: ____ |
| b) A água no copo A possui mais frio que calor. | Iniciais: ____ |
| c) O fato de a água em C ser mais quente está relacionado somente à temperatura dela. | Iniciais: ____ |

Após determinar qual é a água quente, morna ou fria, faremos outra atividade com o mesmo material: mergulhar os dedos em um copo e, depois de certo tempo, mergulhá-los imediatamente em outro copo.

Comecem pelos copos A (água _____) e B (água _____).

Mergulhem os dedos no copo A, deixem-nos sob a água por cerca de 10 segundos. Depois, mergulhem os dedos na água do recipiente B.

4. Ao retirarem os dedos que estavam mergulhados na água do copo A e os colocarem sob a água do copo B, esta água parece estar como?
- a) quente Iniciais: ___ ___ ___
 b) fria Iniciais: ___ ___ ___
 c) morna Iniciais: ___ ___ ___
5. Agora, repitam o procedimento, mas, ao invés de colocarem os dedos no copo A, mergulhem-nos na água do copo C (água _____) e, depois, novamente na água do copo B. O que ocorreu?
- a) A água do copo B está quente Iniciais: ___ ___ ___
 b) A água do copo B está fria Iniciais: ___ ___ ___
 c) A água do copo B está morna Iniciais: ___ ___ ___

Vocês puderam perceber que a água no copo B, nas três situações, se comportou de forma diferente, ora quente, ora fria, ora morna.

6. Usem de um termômetro para medir a temperatura da água nos copos:
 A= ___ B= ___ C= ___
7. Ao encostarem a mão na água, vocês sentem:
- a) A temperatura da água. Iniciais: ___ ___ ___ ___
 b) O calor que está armazenado na água. Iniciais: ___ ___ ___ ___
 c) A troca de calor entre minha mão e a água. Iniciais: ___ ___ ___ ___
 d) A diferença de temperatura entre minha mão e a água. Iniciais: ___ ___ ___ ___
8. Utilizem um termômetro novamente, mas agora para medir a temperatura dos seguintes objetos utilizados na atividade experimental anterior:
 Metal= ___ Madeira= ___ Pano= ___
9. Diante disso, o que o tato informa quando tocam nesses materiais?
- a) O metal tem temperatura mais baixa que a madeira. Iniciais: ___ ___ ___ ___
 b) O calor do metal é menor. Iniciais: ___ ___ ___ ___
 c) O pano esquenta minha mão. Iniciais: ___ ___ ___ ___
 d) O metal parece trocar mais calor com a minha mão. Iniciais: ___ ___ ___ ___

Atividade Experimental III-P

Aquecimento da água (G)

Na aula anterior vocês fizeram experimentos para determinar, usando do tato e de um termômetro, se alguns materiais e substâncias eram quentes ou frias. Diante dos resultados, responda:

Importante: Quando aparecer mais de uma resposta no grupo sem haver consenso, preencham as iniciais do nome de cada um na grade ao lado das respectivas respostas.

1. Ao encostarem a mão na água, vocês sentiram:

a) A temperatura da água.	Iniciais: ____ ____ ____ ____
b) O calor que estava armazenado na água.	Iniciais: ____ ____ ____ ____
c) A troca de calor entre minha mão e a água.	Iniciais: ____ ____ ____ ____
d) A diferença de temperatura entre minha mão e a água.	Iniciais: ____ ____ ____ ____

2. Diante dos resultados experimentais, o que o tato informou quando tocaram nesses materiais?

a) Um objeto metálico tem temperatura mais baixa que um pedaço de madeira.	Iniciais: ____ ____ ____ ____
b) Há mais frio do que calor no metal.	Iniciais: ____ ____ ____ ____
c) O pano, com o seu calor, esquenta minha mão.	Iniciais: ____ ____ ____ ____
d) A transmissão de calor da minha mão para o metal é maior do que para a madeira.	Iniciais: ____ ____ ____ ____

Como podemos mudar a temperatura de uma substância?

Preparando o experimento:

Listem no quadro abaixo que materiais são necessários para medir e provocar a mudança de temperatura de alguma substância.

1. Temperatura inicial da água: _____
O que ocorrerá quando a temperatura da água atingir o limite do termômetro?
2. A cada aumento de 10 °C, anote o tempo desde que se iniciou o experimento:

30 °C: _____ 40 °C: _____ 50 °C: _____ 60 °C: _____ 70 °C: _____ 80 °C: _____ 90 °C: _____
 _____ 100 °C: _____ 110 °C: _____

Descreva o ocorrido em termos de calor e temperatura:

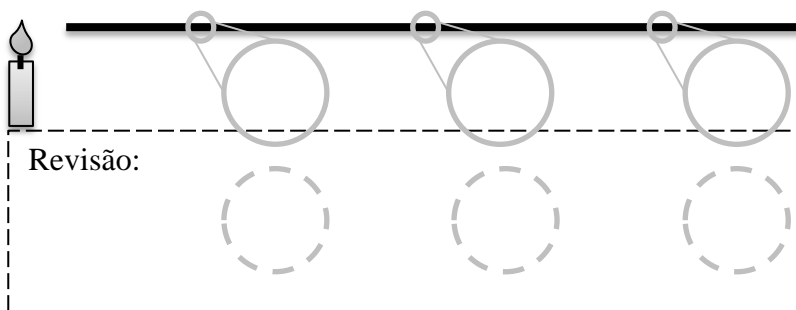
Atividade Experimental IV-P

Cascata de tachinhas

Você deve ter notado que várias tachinhas foram coladas com parafina em um fio de cobre. Para que o efeito de cascata ocorresse, foi preciso derreter a parafina fazendo uso de uma vela.

Partindo do fenômeno ocorrido, responda às questões abaixo de acordo com as seguintes regras:

- Responda às perguntas abaixo e preencha **somente** os quadros com **borda contínua**. Os quadros tracejados serão utilizados posteriormente.
 - Após 20 minutos, você irá entregar o material para o professor. Ele entregará a sua avaliação para outro colega e você, por sua vez, receberá a prova respondida por outra pessoa.
 - A sua tarefa nesta segunda etapa será realizar uma espécie de revisão das respostas do colega. Para isso, faça uso da sua “cola”.
 - Utilize o seu material de consulta da seguinte forma: sublinhe os trechos na sua cola que respondem às perguntas da atividade. Marque esse trecho com o número da questão.
 - Você receberá uma caneta vermelha. No momento de revisão, **use apenas essa caneta**.
 - Sublinhe os pontos confusos ou equivocados na resposta do colega.
 - Escreva no quadro tracejado a resposta mais adequada e completa.
1. Desenhe dentro dos círculos abaixo o **comportamento físico** das moléculas do fio de cobre usado no experimento (após a queda das tachinhas).



2. Baseando-se no desenho acima, pode-se dizer que as temperaturas nesses pontos são iguais ou diferentes? Justifique no quadro abaixo.

Revisão:

3. Quanto mais longe da chama estiver uma tachinha, demora menos ou mais para derreter a cera que está nela? Por que motivo?

Revisão:

4. Se a quantidade de cera em cada tachinha fosse maior, demoraria mais ou menos tempo para ocorrer a queda de cada uma? Justifique:

Revisão:

APÊNDICE C – PLANEJAMENTO DAS AULAS DO PILOTO

1. Aula I

1.1 Objetivos

- Aplicar questionário;
- Identificar os obstáculos de aprendizagem por meio das representações dos estudantes;
- Compartilhar o conceito de quente e de frio como comparativo do estado de corpos
- Discutir o que é que estamos sentindo via tato

1.2 Atividades experimentais

- Atividade experimental de sondagem
- Atividade experimental de compartilhamento

1.3 Detalhamento

Iniciaremos aplicando um questionário por cerca de 30 minutos (Questionário N° 2p, Apêndice B), para identificar obstáculos epistemológicos por meio das representações dos estudantes. Assim será possível ter um panorama geral com o que deveremos nos preocupar mais ao longo das aulas. O ideal é que esta aula ocorra cerca de 5 (cinco) dias antes da segunda aula, a fim de que possamos analisar e levantar os obstáculos presentes nos pensamentos dos estudantes. Caso não seja possível, conversaremos com o professor titular da turma para aplicarmos o questionário antes de iniciar a nossa prática.

Nos 15 minutos restantes será feita uma atividade experimental em que um estudante será vendado e manuseará diversos materiais (pedaços de barras de metal, de tecidos, de madeira e de plástico), acusando-os como quente ou frio. Enquanto isso, os colegas anotarão, antes das repostas do estudante vendado, se consideravam aquele material como quente ou frio. Partindo disso, é possível entrar na etapa de Identificação do Obstáculo Epistemológico da *Experiência primeira* e, talvez, do Substancialismo, já que assim teremos um grande número de opiniões e representações divergentes.

Na situação que alguns dos materiais escolhidos, tal como a madeira, possam ser considerados como mornos (ou nem quente nem frio), esse aparato experimental também permite que entremos em consenso que quando dizemos que um objeto é quente estamos fazendo isso em comparação a outro. Isso teria aspectos de compartilhamento.

2. Aula II

2.1 Objetivos

- Caracterizar, junto aos estudantes, a *experiência primeira* como obstáculo;
- Gerar conflito *sociocognitivo*;
- Fissurar o obstáculo da *experiência primeira*;
- Identificar obstáculo substancialista;
- Identificar e fissurar o obstáculo do pensamento realista;
- Identificar o obstáculo verbal;
- Conceituar temperatura como grau comparativo do quão quente estão as substâncias em contato.

2.2 Atividades experimentais

- Atividade experimental conflitiva
- Atividade experimental de compartilhamento

2.3 Detalhamento

O professor deve trazer as respostas ao questionário e das anotações da aula anterior, principalmente aquelas em que aparecem divergências. Com o intuito de estimular o debate para esta e para as próximas aulas, pretende-se promover a consciência dos estudantes de que várias representações estão presentes no grupo e que necessitam convergência. Como levantamos anteriormente, o obstáculo da *Experiência primeira* possui grande implicação em todo o projeto, e é representado, neste momento inicial, pelo papel atribuído ao tato por parte dos estudantes como medidor de temperatura e calor. Partindo disso, é possível e necessário instaurar um *conflito sociocognitivo* tendo em vista a *fissuração* do obstáculo da *experiência primeira*. Ao mesmo tempo, estaremos trabalhando com o obstáculo do pensamento realista, já que os estudantes tiram conclusões imediatas sobre a sensação

térmica como se fosse fruto de um acesso direto à realidade última, uma verdade.

Esperando que os estudantes afirmem que o pano é um objeto quente, o professor pode começar o diálogo afirmando que então, o pano aqueceria qualquer material, além do nosso corpo. Assim, com um pano entregue para os estudantes, o professor pode dar um cubo de gelo para cada um a ser embrulhado pelo pano, perguntando se um pedaço de gelo derrete mais rápido dentro ou fora do pano, já que este é quente. É esperado que durante o diálogo os estudantes façam uso de termos como energia e calor de uma forma muito vaga, é preciso ficar alerta.

Como provavelmente os estudantes darão palpites diferentes do estudante vendado que terá tocado os objetos, deve-se sondar as origens para cada palpite e a possível causa da sensação térmica. Assim, o professor pode questionar se os estudantes consideram que a pessoa interfere na sensação térmica. Com isso, justifica-se realizar a próxima atividade experimental (a das “bacias”) e os estudantes serão preparados para o que observar nela.

Entregar-se-ão para as equipes três copos plásticos, cada um marcado com uma letra (A, B e C). No copo A, é colocada água líquida com gelo ou água resfriada anteriormente. O copo B é preenchido com água líquida à temperatura ambiente. No copo C, é colocada água fervida pouco antes. Será entregue o Questionário Nº 3p (Apêndice B) para preenchimento. Nele é pedido que os estudantes mergulhem o dedo em cada copo para que descrevam individualmente o estado da água em cada reservatório; o resultados são anotados no próprio questionário. Depois, pedir para mergulhar as mãos nos copos extremos para, posteriormente, colocar ambas na água morna, provocando um conflito com as previsões e representações. No diálogo o professor deve chamar atenção para os estudantes de que a água mergulhada em B era primeiramente morna e agora está sendo acusada tanto de quente quanto de fria. Partindo disso, é preciso criar um diálogo a ponto de desenvolver um *conflito sociocognitivo*.

No mesmo questionário, fazendo uso de termômetros, será anotado o valor de temperatura acusado para a água em cada copo. Assim, o termômetro será um instrumento para estabelecer o diálogo e a construção dos conceitos, ainda que parcialmente, de temperatura e de sensação térmica; afinal, o termômetro acusará uma única temperatura para a água no copo B, já o tato indicará (provavelmente) três sensações diferentes.

Como a sensação térmica passará a ser questionada, é importante voltar a utilizar o termômetro nos materiais da aula passada: ao medir a

temperatura dos objetos será apontado um mesmo valor ou algo muito próximo. Nota-se que caso utilizarmos o termômetro nesses objetos, antes de medir a temperatura da água nos recipientes, podemos criar mais uma situação de surpresa. Diante dos resultados do termômetro e do ocorrido no experimento dos copos, podemos estabelecer um diálogo sobre a sensação de frio ou quente dos objetos e, possivelmente, atribuir à sensação térmica a capacidade de inferir a diferença de temperatura entre o objeto tocado e a pele. Contudo, deve-se deixar evidente que há um problema em aberto: se a temperatura do metal é (praticamente) igual à da madeira, como há tanta diferença na sensação térmica? O que há de diferente nessas duas substâncias? Ao final do Questionário N° 3p (Apêndice B) as questões são uma maneira de perceber se há resistência dos estudantes (manutenção das representações), caracterizando a presença do obstáculo.

3. Aula III

3.1 Objetivos

- Identificar e fissurar o obstáculo substancialista;
- Identificar e Fissurar o obstáculo do conhecimento geral;
- Identificar e fissurar o obstáculo verbal;
- Causar conflito *sociocognitivo*;

3.2 Atividades experimentais

- Atividade experimental crítica
- Atividade experimental de compartilhamento

3.3 Detalhamento

Nesta terceira aula, a atividade experimental principal envolve aquecer água até 100 °C. A discussão da aula anterior sobre a sensação térmica deve ser trazida para questionar de que forma ocorre a interação da mão com o objeto tocado tal que provoca a sensação de frio; esperamos que o termo calor apareça no diálogo. Aliado a isso, os estudantes provavelmente terão argumentado que nem sempre um metal está frio, pois depende se ele sofreu aquecimento. Assim, antes de realizar a atividade para mudar a temperatura da água será discutida a necessidade da chama como “fonte de calor”. Espera-se que no diálogo

estabelecido sejam trazidas à tona representações dos estudantes sobre a relação entre temperatura e calor, pois, durante a atividade, pretendemos identificar obstáculos como o substancialismo.

Será entregue um termômetro para que os estudantes anotem a cada 10 °C o tempo total de contato com a chama. O professor poderá questionar o que deverá ocorrer quando o termômetro acusar 110 °C, limite da escala. Assim que os termômetros acusarem perto dos 100 °C (ou próximo a isso), o professor pode perguntar às equipes se está havendo mudança ou não da temperatura e questionar se eles acham isso normal ou não, buscando justificativas. Com uma discussão em grupos, essa atividade permite então promover a fissura, ao menos em parte, do obstáculo substancialista. Em parte, porque esta atividade experimental cria uma situação de conflito para aqueles que pensam que calor é algo armazenado e que aumenta a temperatura, mas a atividade por si só não é capaz de criar um modelo representativo alternativo. O Questionário N°4p (Apêndice B) tem como objetivo apontar se há ainda resistência do obstáculo substancialista.

4. Aula IV

4.1 Objetivos

- Modelizar o aquecimento e a evaporação de uma substância sob o ponto de vista submicroscópico;
- Superar obstáculos ontológicos, verbais e didáticos.
- Construir modelo explicativo alternativo, para iniciar a superação dos obstáculos da *experiência primeira*, pensamento realista e substancialista.
- Conceituar calor como processo de transmissão de energia

4.2 Atividades experimentais

- Atividade experimental de modelização;
- Atividade experimental de compartilhamento;

4.3 Detalhamento

Vários elementos da atividade experimental da aula anterior devem ser buscados no início desta aula, pois assim é possível abrir caminho para construir um novo modelo explicativo e fazer com que os

estudantes identifiquem o obstáculo substancialista em suas representações. O professor deve elaborar um diálogo para trazer à tona que durante a evaporação não há mudança de temperatura, mas há mudança no estado físico da água, ou seja, há algum vínculo entre a chama não ter mudado a temperatura enquanto provocava a evaporação da água.

Nesta aula o professor deve pedir aos estudantes que desenhem como as moléculas de água se comportariam quando no estado líquido e vapor, pedindo que as moléculas sejam desenhadas como bolinhas. Partindo dos desenhos o professor pode reproduzir no quadro aspectos comuns e diferentes e discuti-los; o professor deve ter em mente ressaltar os aspectos físicos relevantes que indiquem obstáculos. Ao mesmo tempo, podem ser solicitados desenhos que representem o que ocorre com a substância durante o processo de aquecimento ou a diferentes temperaturas. Com essa atividade o professor favorece a identificação de obstáculos por parte dos estudantes, como: Substancialista, por considerar um corpo como reservatório de calor; pensamento realista, por atribuir efeitos macroscópicos (como a dilatação) às moléculas e aos átomos; e pensamento geral, ao afirmar que durante a transmissão de calor o corpo sempre aquece.

Assim que foram atribuídas (extraídas do diálogo) propriedades às moléculas de um gás e tentar relacionar isso com a coesão dos gases, deverá ser realizado a primeira atividade experimental. O aparato experimental consiste em um tubo de vidro composto por um pistão (acoplado a um motor) que agita verticalmente pequenas bolinhas de isopor, que estão no interior do tubo. O experimento permite demonstrar o comportamento das moléculas de um gás qualquer, e caracterizar os termos, como: energia cinética (velocidade das bolinhas de isopor) e energia de ligação (coesão entre as bolinhas). Isso é importante pois serão usados para conceituar calor e temperatura em uma visão submicroscópica.

O diálogo sobre a diferença entre líquido e vapor deve ser aprimorado ao trazer um modelo (representacional) das moléculas de um sólido: um quadro de madeira composto por bolas de isopor presas por molas entre si, mas que permite o movimento vibracional. Com esse modelo representacional, é possível batizar algumas variáveis e modelizar: a força de ligação entre as moléculas será relacionada às forças aplicadas pelas molas entre as bolas (moléculas). Para tanto, o professor deve mover as bolinhas e caracterizar a situação de aquecimento e mudança de fase, quando, por exemplo, o professor perguntar o que deve ser feito para romper tal ligação, ou seja,

transformar a água líquida em vapor. Por fim, o professor deve retomar estes dois experimentos para explicar o experimento de aquecimento e vaporização da água, deixando bem claro que se a diferença entre os estados físicos está na força de ligação entre moléculas, o calor estava rompendo-as quando a água estava a 100 °C.

Nesta aula é pertinente conceituar temperatura como média da energia cinética das moléculas e calor como processo de transmissão de energia. Talvez já seja suficiente construir o conceito de calor como a quantidade de energia trocada entre substâncias que provoca a variação da energia cinética ou o rompimento das ligações das moléculas. Também é importante que o professor forneça os instrumentos linguísticos para a internalização desses conceitos, por isso, os desenhos podem ser refeitos e explicados.

5. Aula V

5.1 Objetivos

- Modelizar a condutividade térmica de materiais;
- Continuar as etapas de fissuração e superação dos obstáculos da *experiência primeira*, pensamento realista e substancialista.

5.2 Atividades experimentais

- Atividade experimental de modelização;
- Atividade experimental conflitiva;

5.3 Detalhamento

Nesta aula o principal é uma atividade experimental, cujo aparato é semelhante ao do experimento da aula 3, mas agora consiste em aquecer água por meio de uma caldeira de papel (ao invés de usar o fundo da latinha como antes). Provavelmente os estudantes terão dificuldade de utilizar o modelo submicroscópico como instrumento para responder por que a caldeira de papel não queima quando água em seu interior. No início, o professor pode perguntar se os estudantes lembram para quê serviu o modelo representacional das moléculas de um sólido e de um gás, sobre a variação da temperatura e a evaporação. Partindo disso, o professor deve questionar o que significaria a combustão de algo, em termos de suas moléculas. Desta forma, ficará

mais fácil para os estudantes pensarem porque o papel não está queimando, a água em contato não permite que o papel atinja a temperatura de combustão, pois as moléculas da água dissipam a energia cinética das moléculas do papel. O professor deve constantemente retomar a mudança de fase da água para ajudar nesta situação, perguntando, se não haverá aumento de temperatura do papel para mais de 100 °C, o que está ocorrendo entre as moléculas do papel e da água?

Uma questão ficará em aberto ainda: porque o calor consegue ser transferido ao longo do papel, não sendo absorvido completamente, na situação em contato com a água mas quando só há ar o papel queima? É importante, neste momento, utilizar os modelos em forma de maquetes de estruturas cristalinas *face cúbica centrada* e *face centrada*, neste caso, feitas com bolinhas de isopor e palitos. Com elas pode-se justificar a diferente condutividade de metais via a ligação entre moléculas/átomos. Uma vez relacionado o número de ligações com a condutividade térmica, deve-se lembrar que as moléculas de ar praticamente não possuem ligações enquanto as moléculas de água são ligadas por meio de “ligações de hidrogênio”, caracterizando assim que o ar é isolante térmico em comparação à água líquida. Desta forma, pode-se responder ao problema em aberto, indicando que a água consegue dissipar a energia cinética das moléculas do papel. Também poderá ser recorrido aos modelos de “mola” e do “tubo de vidro” para falar dos modos de vibração das moléculas e construir os conceitos de capacidade térmica e calor específico, tomando o devido cuidado com os termos.

6. Aula VI

6.1 Objetivos

- Superar os obstáculos da *experiência primeira*, pensamento realista e substancialista.

6.2 Atividades experimentais

- Atividade experimental de compartilhamento

6.3 Detalhamento

Dando continuidade à aula anterior, o professor deve revisar o ocorrido no fenômeno com ajuda dos estudantes. O professor pode

utilizar um desenho para analisar o fenômeno parte por parte, desde o acendimento da chama e analisando a interação entre as moléculas. Ao mesmo tempo em que auxilia na compreensão, favorece a apropriação da linguagem.

Muito próximo à aula anterior, o experimento da “cascata de tachinhas” discute sobre condutividade térmica. No entanto, é interessante que esse experimento permite ao professor trabalhar melhor a formalização matemática que, na leitura de Bachelard, pode ser uma superação do obstáculo quantitativo vago. O professor pede que alguém anote o tempo para que cada tachinha caia. Com isso, é possível fazer a relação entre a distância entre a chama e a tachinha e a quantidade de calor envolvida para derreter a parafina. Se for possível, que sejam usados arames com diâmetros diferentes para relacionar o fluxo de calor com a área do condutor. O “batismo de variáveis” deve ser o norte para a realização dessa atividade experimental. Quando explicitadas as variáveis, é muito importante buscar um diálogo com os estudantes que os faça tentar justificar, à luz dos conceitos trabalhados, porque a mudança em determinada varável faz com que demore mais ou menos tempo para a tachinha cair. Após isso, o professor deve retornar para as faces do papel interagindo com a água, o ar e a chama.

Um segundo experimento para falar de condutividade é segurar uma barra de metal e um pedaço de madeira juntos e encostar a ponta de ambos em água com gelo e, depois, também na chama. Durante essa atividade é possível avaliar se os estudantes ainda estão mantendo a representação que metais são naturalmente frios e que a madeira é quente.

7. Aulas VII e VIII

7.1 Objetivos

- Realizar aula de reforço
- Aplicar avaliação da disciplina (Teste 2) ou Questionário nº2 p

7.2 Atividades experimentais

- Atividade experimental de generalização

7.3 Detalhamento

Esta aula poderá ser trabalhada em torno de um experimento que mostre o efeito de resfriamento, que seria pouco explorado nas aulas anteriores. Assim, estaremos trazendo uma situação nova em que o estudante precisará recorrer aos conceitos elaborados e buscar autonomia para utilizá-los.

A atividade de avaliação foi elaborada em torno dos obstáculos que levantamos teoricamente. Portanto, ela acaba sendo um instrumento de análise, visto que se os estudantes mantêm algumas das suas representações é sinal que o obstáculo persiste.

APÊNDICE D – INSTRUMENTOS UTILIZADOS NA PESQUISA

Questionário

30. “Frio” tem o mesmo significado que temperatura baixa.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

31. Calor é um conceito que diz respeito a um processo físico, um evento que ocorre ao longo do tempo, não é um objeto ou uma substância.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

32. Só há troca de calor quando a minha mão está a uma temperatura diferente da do objeto em que encosto.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

33. Maior é a temperatura de uma panela quanto mais quente ela estiver.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

34. O calor é como um fluido que pode ser armazenado pelas substâncias.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

35. Ao encostar a mão em um objeto eu posso sentir o calor que ele tem.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

36. O metal da maçaneta é sempre mais frio que a madeira da porta.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

37. Calor é um conceito que pode ser explicado a partir da estrutura microscópica da substância.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

38. “Quente” significa “temperatura alta”.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

39. Temperatura é um conceito que pode ser explicado por meio da agitação das moléculas da substância.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

40. Para haver transmissão de calor é preciso contato físico entre os objetos.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

41. Calor é a quantidade de energia que é trocada entre dois corpos.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

42. Uso roupa quente para aquecer meu corpo.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

43. Dizer que “está quente” é o mesmo que dizer “calor”.

Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

15. **O gelo tem pouco calor, enquanto o vapor de água tem bastante.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
16. **Sempre que fornecemos calor para a água, a temperatura dela muda.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
17. **Uma panela de metal esquenta mais que a água em seu interior porque o calor não consegue atravessar o metal de forma rápida.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
18. **Se a água receber mais calor que um objeto metálico, ela ficará mais quente.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
19. **O gelo tem frio enquanto o vapor de água tem calor.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
20. **O calor do meu corpo é mantido quando estou agasalhado.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
21. **A condução de calor só depende do tipo de material em que o processo ocorre.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
22. **Não há troca de calor ao esfregar as minhas mãos.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
23. **Somente matéria transmite calor.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
24. **Calor pode ser entendido como a energia transmitida entre moléculas.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
25. **Para manter a temperatura do meu corpo, devo vestir peças de roupa.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
26. **Calor é um conceito sobre algo concreto, como uma substância.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
27. **Um metal tem temperatura alta quando eu encosto nele e sinto minha mão aquecer.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
28. **Durante a troca de calor entre duas substâncias, ambas aquecem, e não há o resfriamento de qualquer uma delas.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente
29. **Energia é um conceito relacionado a algo abstrato, como um número.**
 Concordo totalmente Concordo parcialmente Discordo parcialmente Discordo totalmente

Roteiro de Atividade Experimental I

Quente ou Frio?

1. Ao interagir com certo objeto, você percebe que ele é frio. No que você se baseia para aceitar esta percepção?

2. Abaixo temos uma tabela com três colunas. Na primeira delas estão listados alguns materiais. Na segunda coluna você deve escrever seu palpite sobre se o objeto é quente ou frio. Aguarde orientação do professor para preencher a última coluna.

Material	Meu palpite	
Madeira		
Tecido		
Isopor		
Metal		
Plástico		
Vidro		

3. Escolha um material cujas respostas foram divergentes e explique por que você deu esse palpite.

4. Explique também o motivo de seu palpite no caso de materiais em que as respostas foram iguais.

Roteiro de Atividade Experimental II

Experimento dos “três copos com água” (G)

Existe uma maneira de sabermos se a água em cada copo é quente ou fria?

Para auxiliar a nossa discussão, abaixo há um roteiro para anotarem alguns resultados do experimento.

Importante: Quando aparecer mais de uma resposta no grupo sem haver consenso, preencham as iniciais do nome de cada um na grade ao lado das respectivas respostas.

1. Quando colocamos a mão na água que está no copo A, sentimos que a água está:

a) quente	Iniciais: _____
b) fria	Iniciais: _____
c) morna	Iniciais: _____

No copo B:

a) quente	Iniciais: _____
b) fria	Iniciais: _____
c) morna	Iniciais: _____

No copo C:

a) quente	Iniciais: _____
b) fria	Iniciais: _____
c) morna	Iniciais: _____
2. O que é possível afirmar sobre a temperatura da água no copo C comparada com a água no copo A?

a) A temperatura da água em C é maior.	Iniciais: _____
b) A temperatura da água em A é maior.	Iniciais: _____
c) Não é possível comparar as temperaturas usando a mão.	Iniciais: _____
3. Como esse mesmo fenômeno pode ser explicado em termos de calor?

a) A água no copo C possui mais calor que a do copo B.	Iniciais: _____
b) A água no copo A possui mais frio que calor.	Iniciais: _____
c) O fato de a água em C ser mais quente está relacionado somente à temperatura dela.	Iniciais: _____

Após determinar qual é a água quente, morna ou fria, faremos outra atividade com o mesmo material: mergulhar os dedos em um copo e, depois de certo tempo, mergulhá-los em outro copo.

Comecem pelos copos A (água _____) e B (água _____).

Mergulhem os dedos no copo A, deixem-nos sob a água por cerca de 10 segundos. Depois, mergulhem os dedos na água do recipiente B.

1. Ao retirarem os dedos que estavam mergulhados na água do copo A e os colocarem na água do copo B, esta água parece estar como?

a) quente Iniciais: _____

b) fria Iniciais: _____

c) morna Iniciais: _____

2. Agora, repitam o procedimento, mas, ao invés de colocarem os dedos no copo A, mergulhem-nos na água do copo C (água _____) e, depois, novamente na água do copo B. O que ocorreu?

a) A água do copo B está quente Iniciais: _____

b) A água do copo B está fria Iniciais: _____

c) A água do copo B está morna Iniciais: _____

Vocês puderam perceber que a água no copo B, nas três situações, comportou-se de forma diferente, ora quente, ora fria e ora morna.

E o que um termômetro acusaria? Meçam a temperatura da água nos copos:

A = _____ B = _____ C = _____

3. Diante desses resultados, podem afirmar que, ao mergulharem a mão na água, vocês sentem:

a) A temperatura da água. Iniciais: _____

b) O calor que está armazenado na água. Iniciais: _____

c) A troca de calor entre minha mão e a água. Iniciais: _____

d) A diferença de temperatura entre minha mão e a água. Iniciais: _____

E quanto ao material da primeira atividade experimental?

4. Utilizem do termômetro novamente para medir a temperatura dos seguintes objetos:

Metal: _____ Madeira: _____ Pano: _____

5. Diante disso, o que o tato informa quando tocam nesses materiais?

a) O metal tem temperatura mais baixa que a madeira. Iniciais: _____

b) O calor do metal é menor. Iniciais: _____

c) O metal é melhor condutor de calor que o pano. Iniciais: _____

d) O metal parece trocar mais calor com a minha mão. Iniciais: _____

e) O pano possui mais calor que o metal. Iniciais: _____

Roteiro de Atividade Experimental III

Experimento do aquecimento da água (G)

Na aula anterior vocês fizeram experimentos para determinar, usando do tato e de um termômetro, se alguns materiais e substâncias eram quentes ou frios. Diante dos resultados, responda:

Importante: Quando aparecer mais de uma resposta no grupo sem haver consenso, preencham as iniciais do nome de cada um na grade ao lado das respectivas respostas.

1. Ao encostarem a mão na água, vocês sentiram:
 - a) A temperatura da água. Iniciais: _____
 - b) O calor que estava armazenado na água. Iniciais: _____
 - c) A troca de calor entre minha mão e a água. Iniciais: _____
 - d) A diferença de temperatura entre minha mão e a água. Iniciais: _____
2. Diante dos resultados experimentais, o que o tato informou quando tocaram nesses materiais?
 1. Um objeto metálico tem temperatura mais baixa que um pedaço de madeira. Iniciais: _____
 2. Há mais frio do que calor no metal. Iniciais: _____
 3. O pano, com o seu calor, esquentou minha mão. Iniciais: _____
 4. A transmissão de calor da minha mão para o metal é maior do que para a madeira. Iniciais: _____

Atividade experimental

Como podemos mudar a temperatura de uma substância?

1. Temperatura inicial da água: _____
O que ocorrerá quando a temperatura da água atingir o limite do termômetro?
2. Anotem o tempo desde que se iniciou o experimento para que a água atinja as seguintes temperaturas:
 30 °C: _____ 40 °C: _____ 50 °C: _____ 60 °C: _____ 70 °C: _____ 80 °C: _____
 _____ 90 °C: _____ 100 °C: _____ 110 °C: _____
3. Descrevam o ocorrido em termos de calor e temperatura:

Roteiro de Atividade Experimental IV

Atividade experimental - Cascata de tachinhas

Você deve ter notado que várias tachinhas foram presas com parafina em um fio de cobre. Para que o efeito de cascata ocorresse, foi preciso derreter a parafina fazendo uso de uma chama.

- Utilize o seu material de consulta da seguinte forma: sublinhe ou circule os trechos na sua cola que respondem às perguntas da atividade. Marque esse trecho com o número da questão.
- Você receberá uma caneta vermelha para identificar o trecho na cola.

1. Desenhe dentro dos círculos abaixo o **comportamento físico** das moléculas **do fio de cobre** (usado no experimento) após a queda da segunda tachinha.



2. Baseando-se nos desenhos acima, pode-se dizer que as temperaturas nesses pontos são iguais ou diferentes? Justifique abaixo.

3. Detalhe como ocorre a transmissão de calor ao longo do fio de cobre.

4. Quanto mais longe da chama estiver uma tachinha, demora menos ou mais para derreter a cera que está nela? Explique.

5. Se a quantidade de cera em cada tachinha fosse maior, demoraria mais ou menos tempo para ocorrer a queda de cada uma? Justifique:
