

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

**O CONCEITO DE ENTROPIA NUM CURSO DESTINADO AO  
ENSINO MÉDIO A PARTIR DE CONCEPÇÕES PRÉVIAS DOS  
ESTUDANTES E DA HISTÓRIA DA CIÊNCIA**

**Orientador: Prof. Dr. Dirceu da Silva**

Campinas  
2003

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**Título: O conceito de entropia num curso destinado ao Ensino Médio a partir das concepções prévias dos estudantes e da História da Ciência.**

Autor: Silvia Cristina Teodoro Covolan

**Orientador: Prof. Dr. Dirceu da Silva**

Este exemplar corresponde à redação final da Dissertação defendida por Silvia Cristina Teodoro Covolan e aprovada pela Comissão Julgadora.

Data: 05/12/2003.

Assinatura:.....

Orientador

COMISSÃO JULGADORA:

---

---

---

© by Silvia Cristina Teodoro Covolan, 2004.

**Catálogo na Publicação elaborada pela biblioteca  
da Faculdade de Educação/UNICAMP**

Bibliotecária: Rosemary Passos - CRB-8ª/5751

**Covolan, Silvia Cristina Teodoro.**

**C838c      O conceito de entropia num curso destinado ao Ensino Médio a partir de  
concepções prévias dos estudantes e da História da Ciência / Silvia Cristina  
Teodoro Covolan. -- Campinas, SP: [s.n.], 2004.**

Orientador : Dirceu da Silva.

Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade  
de Educação.

1. Entropia. 2. Ensino médio. 3. Física. 4. Construtivismo (Educação). 5.  
Aprendizagem. I. Silva, Dirceu. I. Universidade Estadual de Campinas.  
Faculdade de Educação. III. Título.

04-015-BFE

Dedico este trabalho ao meu querido companheiro de todas as horas, **Jefferson Covolan** que, com todo o seu amor, sempre me apoiou a buscar degraus mais altos.

Ao meu amado filho **Alexandre**, responsável por tantas preocupações, mas também pelas maiores alegrias nesses últimos quatro anos.

## AGRADECIMENTOS

A concretização deste projeto só foi possível graças à participação de alguns amigos e amigas; externo aqui, portanto, meus sinceros agradecimentos a todos os colaboradores e de modo especial:

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Dirceu da Silva** pelo apoio e atenção dispensados na orientação deste trabalho, mas, sobretudo, pela amizade e constantes palavras de ânimo.

Ao meu marido **Jefferson** pela paciência, crédito e apoio.

Aos professores **Dr. Jorge Megid Neto e Profa. Dra. Evely Boruchovich** pelas valiosas sugestões e observações quando da minha qualificação, que possibilitaram novas reflexões.

Aos colegas do programa de Pós-graduação pelas relevantes discussões, especialmente à **Fernanda e Prof. Dr. Jomar Barros Filho**.

Aos meus pais **Aristeu e Maria Luzia**, por seu amor, carinho e contribuição para minha formação ao longo dos anos.

À **Sandra**, minha irmã, pelo suporte emocional estando sempre pronta a ouvir minhas dúvidas e a oferecer sugestões importantes.

Ao meu irmão **Sérgio**, pelo carinho.

Ao amigo **Éder**, pelas conversas e trocas de experiências sobre metodologia.

À diretora **Silvana** e especialmente aos professores **Inês e Carlinhos** da escola estadual da cidade de Campinas, "**Culto à Ciência**", que me permitiram realizar as intervenções necessárias para o levantamento de dados desta pesquisa.

À **CAPES** pelo apoio financeiro.

***“(...) De fato, existe uma grande diferença entre as direções para frente e para trás do tempo real na vida comum. Imagine-se uma xícara de água caindo de uma mesa e se quebrando em muitos pedaços no chão. Se filmamos este evento, pode-se facilmente dizer se o filme está sendo projetado para frente ou para trás. Se o projetamos para trás, ver-se-ão os cacos subitamente se reunindo sobre o chão e pulando para cima a fim de formar uma xícara inteira sobre a mesa. Pode-se dizer que o filme está sendo projetado para trás porque este tipo de comportamento não é nunca observado na vida cotidiana. Caso contrário, todas as fábricas de louça abririam falência.***

***A explicação que usualmente se dá para o porquê de não se ver rotineiramente xícaras quebradas reunindo seus cacos no chão para saltar sobre a mesa é que isto contradiz a segunda lei da termodinâmica, que afirma que, em qualquer sistema fechado, a desordem, ou entropia, sempre aumenta com o tempo. Em outras palavras, é uma forma de lei de Murphy: as coisas sempre tendem a ser malsucedidas (...)***

**(Stephen W. Hawking)**

## RESUMO

Dentro de uma perspectiva construtivista, a pesquisa em questão pretendeu avaliar a evolução da aprendizagem de alunos do Ensino Médio, quando colocados em contato com o conceito de entropia em situações cotidianas.

Nossa estratégia se baseou nas concepções prévias dos estudantes e na utilização da História da Ciência como pano de fundo na contextualização dos conhecimentos desenvolvidos.

Para a tomada de dados experimentais, coletados através de respostas escritas (pré e pós-teste), acompanhamos um grupo de dez estudantes durante um mini curso com duração total de cinco aulas.

Utilizamos a Análise de Conteúdo (Bardin, 1977) para o tratamento dos dados que foram classificados em categorias de respostas.

Como o pré-teste evidenciou as dificuldades dos estudantes em relação aos conceitos de Física Térmica, optamos por focalizar nossa análise nas respostas dos indivíduos em relação aos conceitos de ordem/desordem, reversibilidade/irreversibilidade presentes nos eventos cotidianos trabalhados dentro do mini curso. Ao final, foi possível constatar uma evolução ora mais, ora menos expressiva nas noções da maior parte dos estudantes da nossa amostra.

Neste trabalho apresentamos também uma revisão das pesquisas anteriores sobre a história dos conceitos termodinâmicos e sobre o desenvolvimento histórico da entropia.

## ABSTRACT

Inside of a constructivist perspective, the research under appreciations intended to evaluate the High Grade pupils learning evolution, when placed in contact with the entropy concept in daily situations. Our strategy was based on students' previous conceptions and on the use of the Science History as a background to put the developed knowledge inside the context.

In order to obtain experimental data, collected through written answers (pre and post-test), we followed a group of ten students during a five-day-long mini course.

We used the "Content Analysis" (Bardin, 1977) in order to manage data, which were classified under different categories.

Since the pre-test has brought to light difficulties regarding Thermal Physics concepts, we chose to focus our analysis on those students answers related to the concept of order/disorder, reversibility/irreversibility present in daily events worked during the mini course. By the end, it was possible to verify an improvement on those concepts of the majority of the students under consideration.

In this work, we also present a review of the previous research on the thermodynamic concepts' history and on the entropy historical development.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
2. IMPORTÂNCIA DO PROBLEMA E OBJETIVO DA PESQUISA.....	3
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
3.1- Desenvolvimento de Conceitos de Física Térmica.....	6
3.2 - Tendências do Ensino de Ciências em Sala de Aula.....	16
3.2.1- As Concepções Alternativas Norteadoras das Estratégias no Ensino de Ciências.....	16
3.2.2 – A Importância da Utilização da História da Ciência no Ensino.....	22
3.3 - Trabalhos de Pesquisa em Ensino/Aprendizagem de Conceitos em Física Térmica com Enfoque no Conhecimento de Conceitos Prévios.....	26
4. METODOLOGIA.....	31
4.1- A Pesquisa Qualitativa.....	31
4.2- O Desenvolvimento da Pesquisa.....	34
5. O MINI CURSO PROPOSTO.....	36
5.1 - Estrutura do Mini Curso e Metodologia em Sala de Aula.....	36
5.2 – Atividades Realizadas em Sala de Aula.....	40
6. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS.....	56
6.1 – Descrição da amostra.....	56
6.2 – As Categorias de Análise.....	57
6.2.1 – Classificando os Alunos em Categorias no Pré-teste.....	58
6.2.2 – Os Momentos da Intervenção.....	72
6.2.3 – Classificando os Alunos em Categorias no Pós-teste.....	78
7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	99
8 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	104

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Classificação dos alunos em categorias (Pré-teste).....	71
Quadro 2 – Número de alunos por categoria de análise (Pré-teste).....	71

Quadro 3 – Classificação dos alunos em categorias (Pós-teste).....	95
Quadro 4 – Número de alunos por categoria de análise (Pós-teste).....	96
Quadro 5 – Evolução dos alunos por categorias.....	97

## 1 - INTRODUÇÃO

**“A única moeda verdadeiramente boa e pela qual convém trocar todas as restantes é a sabedoria”.**  
**Platão (428/427 a C – 347 a C)**

A crescente insatisfação com o paradigma tradicional de ensino, que preconiza basicamente o repasse de conteúdos de forma acrítica valorizando a memorização apática por parte dos estudantes, tem sido responsável pela busca de uma prática pedagógica voltada para um aprendizado verdadeiramente significativo.

Nesse sentido, as pesquisas sobre **concepções espontâneas**<sup>1</sup> que surgiram há quase três décadas, mostrando a importância de se considerar as idéias prévias acerca de conhecimentos científicos que os alunos levam consigo para a sala de aula, representaram um passo para que o enfoque passivo em que o aluno era visto como receptáculo de conhecimentos, desse lugar a uma abordagem **construtivista**<sup>2</sup> de ensino. Atualmente, contudo, o grande problema em se levar esse novo conceito de ensino para a sala de aula, tem sido a dificuldade de elaboração de estratégias de ensino coerentes com os modelos teóricos (Silva e Lattouf, 1996).

Vários autores consideram a Física Térmica, especialmente no que se refere ao conceito de energia e Leis da Termodinâmica, como sendo um tópico impopular entre os estudantes (Ben-Zvi, 1999; Sichau, 2000) e difícil de se

---

<sup>1</sup> Termos como *idéias prévias*, *concepções espontâneas*, *conteúdo prévio*, *conceitos prévios*, entre outros, são utilizados como sinônimos para expressar as noções que o indivíduo tem em relação a determinado fenômeno, e soam distintas das mais aceitas pela ciência formal.

<sup>2</sup> O termo construtivismo, hoje, assume várias conotações, estando presente nos discursos de filósofos, psicólogos e educadores, sendo empregado para designar idéias ou posturas diferentes das tradicionais a respeito do significado da própria aprendizagem, inspirando-se na teoria sobre o desenvolvimento da inteligência de Piaget (Silva, 1995). Para Piaget, a aprendizagem do indivíduo, ocorre na interação direta que ele tem com o objeto de estudo, construindo nessa relação, o próprio conhecimento.

trabalhar, por tratar fenômenos em que a matemática que os exprime, aparece dissociada do cotidiano vivenciado por esses indivíduos.

Mais do que discutir sobre os conceitos da Física, muitas vezes intrincados por sua natureza própria, utilizamos a História da Ciência como um meio de trazer para perto do estudante, uma Ciência elaborada por seres humanos e que não se apresenta como algo pronto, mas que se encontra sempre em constante construção.

Na tentativa de subsidiar o trabalho docente buscando superar situações como a citada acima, estivemos neste trabalho propondo algumas atividades, organizadas dentro de um mini curso, que foram realizadas em sala de aula com o objetivo de proporcionar aos estudantes um aprimoramento de suas concepções. Para tanto, procuramos investigar como esses alunos concebem idéias sobre processos reversíveis, irreversíveis e entropia.

Dentro deste contexto, estaremos a seguir apresentando a estrutura de elaboração deste trabalho.

Inicialmente, no capítulo 2 encontram-se explícitas as nossas justificativas e os objetivos de pesquisa. No capítulo 3, apresentamos a revisão bibliográfica, como base para o planejamento e elaboração do mini curso bem como necessária para a análise dos dados. Essa revisão tem início com uma elaboração sobre a evolução histórica dos conceitos associados à Física Térmica. Na seqüência, esboçamos algumas tendências do Ensino de Ciências que envolvem aspectos da abordagem construtivista, além de evidenciarmos algumas discussões sobre o uso da História da Ciência no ensino. Ainda neste capítulo, reunimos uma série de estudos feitos com professores e alunos, que contemplam conceitos de Física Térmica. No capítulo 4, descrevemos a metodologia e os procedimentos para a coleta de dados. O capítulo 5 destina-se à descrição de todas as atividades e desenvolvimento do mini curso. A partir de então, no capítulo 6 é feita a apresentação e a análise dos dados obtidos durante a aplicação do mini curso. Finalizando esta dissertação, o capítulo 7 traz nossas considerações finais.

## 2 – IMPORTÂNCIA DO PROBLEMA E OBJETIVO DA PESQUISA

Apoiando-nos nas discussões teóricas, discutidas na introdução deste trabalho, tivemos como objetivo avaliar “como evolui o conceito de entropia para alunos do Ensino Médio a partir de estratégias de ensino fundamentadas em concepções prévias e subsidiadas pela História da Ciência”.

Optamos por trabalhar com o conceito de entropia pois observamos uma carência de pesquisas referentes a esse tema específico e também por acreditarmos na dificuldade que o docente encontra no ensino deste conceito, o que se evidencia em relação a outros conceitos dentro da Física Térmica, como já mencionamos na introdução deste trabalho.

O foco de atenção do nosso problema esteve voltado à verificação de uma mudança ou aprimoramento nas concepções dos indivíduos, especificamente, no que se refere ao conhecimento do conceito de entropia, quando estes são submetidos a um ensino dentro de uma abordagem construtivista. Assim, entendemos que o conhecimento não é recebido passivamente, mas é ativamente construído pelo sujeito (Carvalho e Barros, 1998).

Nessa mesma linha de pensamento, Wheatley (1991), esclarece que:

*“[...] Idéias e pensamentos não podem ser comunicados no sentido dos significados serem empacotados em palavras e ‘enviados’ a outra pessoa que os desempacota das frases. Não importa o quanto desejássemos que fosse diferente, não podemos colocar idéias nas mentes dos estudantes, eles devem e irão construir seus próprios significados”.*

Outro aspecto importante a se considerar, ainda conforme Wheatley (1991) refere-se ao fato de que “*tudo o que se aprende depende dos conhecimentos que já se tinha antes. Nesse sentido, o conhecimento é sempre contextual e indissociável do sujeito*”. Nessa perspectiva, o aluno é visto como um ser em constante transformação pela ação do conhecimento que ele próprio constrói. No que tange, portanto, ao ensino construtivista, desejamos analisar se o aluno é capaz de melhorar suas noções e a partir da reelaboração de suas

concepções, esteja apto a interpretar fenômenos cotidianos de maneira mais adequada e próxima da conceituação cientificamente aceita.

Esperamos que os resultados desta investigação, ainda que parciais, nos permitam refletir sobre melhores estratégias que efetivamente se constituam em ferramentas capazes de implementar o ensino tradicional de Física no nível Médio.

### 3 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

**“Duvidar de tudo ou crer em tudo, são duas soluções igualmente cômodas que nos dispensam, ambas, de refletir”.  
Henri Poincaré (1854 – 1912).**

Este trabalho cuja finalidade, como dito anteriormente, é analisar a forma com que alunos do Ensino Médio concebem idéias sobre processos reversíveis, irreversíveis e entropia e como evoluem suas noções após o desenvolvimento de um mini curso, necessita de uma sustentação teórica, como qualquer trabalho de pesquisa. Entendemos deste modo, que se torna imprescindível que para a compreensão de tais conceitos, seja feito numa primeira etapa, um levantamento da evolução histórica de conceitos ligados a esses fenômenos tais como: calor, temperatura, energia, equilíbrio térmico, bem como o surgimento das Leis da Termodinâmica.

Devido à complexidade do tema, é importante destacar que faremos uma abordagem mais geral da evolução desses conceitos, ainda que buscando sua adequação nas discussões com os estudantes e no entendimento das questões pertinentes ao assunto.

Num segundo momento desta revisão, (item 3.2 e sub-tópicos 3.2.1 e 3.2.2) estaremos trazendo referências que corroborem nosso ponto de vista sobre a importância de um ensino fundamentado em elementos construtivistas<sup>3</sup>, o que inclui o levantamento de concepções prévias, atividades que promovam o conflito cognitivo e a conseqüente superação de noções espontâneas.

Ainda dentro desta fase da revisão, (subitem 3.2.2) discutiremos a relevância da utilização da História da Ciência como ferramenta na construção de conceitos científicos.

Finalmente, na tentativa de conhecer trabalhos que levam em consideração, processos de aquisição de conhecimentos em sala de aula,

---

<sup>3</sup> O construtivismo e suas principais características serão discutidos no item 3.2 e subitem 3.2.1 deste capítulo.

especialmente no que se refere a conceitos relativos à Física Térmica, elaboramos o item 3.3. Procuramos selecionar algumas publicações mais recentes, sobretudo, as que envolvem os conceitos de calor e temperatura.

### 3.1 – Desenvolvimento de Conceitos de Física Térmica

Antes do século XVIII, calor e temperatura eram conceitos não muito distintos, havendo apenas uma distinção entre “quente” e “frio”, uma vez que as sensações poderiam ser experimentadas com a presença ou ausência primeiramente do Sol e depois do fogo (Bassalo, 1992).

Teorias datadas desde a Antigüidade até início do século XVIII (Tales, 624 –546 aC; Aristóteles, 384 – 322 aC; Platão, 427 – 347 aC; Galeno, 129 – 200 dC; Gassendi, 1592 – 1627 dC; Boyle, 1627 – 1691 dC, entre outros), revelam concepções de calor e frio como substâncias. Apesar dessa visão predominante, a idéia de calor associada a movimento, aparece no meio científico e pode ser encontrada nos trabalhos de Francis Bacon (1561 – 1626) que apresenta o calor como um movimento vibratório das partículas do corpo (Silva, 1995).

A idéia de temperatura (**tempera** ou mistura de graus de calor) surge com Galeno, que propõe que calor e frio sejam representados em graus numéricos. Como o único parâmetro de medida era a sensação, ele estabeleceu o ponto zero como sendo o que chamou de “calor neutro”, que correspondia a uma mistura de porções iguais de gelo e água fervente (Silva & Fernandez Neto, 1995).

Da necessidade de se quantificar a intensidade de *graus de calor*, surgem os primeiros instrumentos com o intuito de se fazer tais medidas: o **termômetro**. Einstein & Infeld (1938), atribuem o projeto do primeiro termômetro de forma primitiva a Galileu (1564 – 1642) no século XVI. No entanto, a primeira publicação com a descrição de um instrumento é reconhecida com sendo de Santório (1561 – 1636), uma vez que, como médico, preocupou-se em medir os graus de calor e frio do corpo humano (Silva, 1995).

O primeiro termômetro com escala surgiu apenas por volta de 1702 ou 1708 e sua invenção é atribuída a Ole Römer (1644 – 1710). O aparelho

consistia num tubo fino de vidro com um bulbo contendo álcool etílico (Ronan, 1985, v.III, p.15).

A partir de 1717, Daniel Fahrenheit (1686 – 1736) inicia sua construção de termômetros que se destacam pela precisão de suas medidas. No entanto, o sucesso de tal projeto somente aconteceu após uma série de esforços, como explica o próprio autor:

*“Tentei construir um termômetro, mas devido a minha falta de experiência, meus esforços foram em vão e tive que repeti-los muitas vezes [...] Veio-me então à lembrança a correlação com o barômetro, no qual tinha observado que a coluna de mercúrio se altera um pouco pela elevação de sua temperatura. Daí procurei construir um termômetro de mercúrio que não seria muito difícil de construir e através do seu uso, eu poderia fazer o experimento que desejava [...] Quando o termômetro ficou pronto, o resultado correspondeu ao esperado e com prazer observei a verdade do fato”* (Fahrenheit, *apud* Magie, 1935, pp. 131 – 132).

Para a calibração de seu termômetro, Fahrenheit usou como parâmetros: uma mistura com água, gelo e sal amoníaco (o que chamou de “frio mais intenso”) e o *calor que se tem no sangue de um homem são* (Fahrenheit, *apud* Magie, p.133).

No decorrer do tempo, outras escalas termométricas e outros tipos de termômetros foram aparecendo. Em 1741, por exemplo, Celsius (1701 – 1744) construiu também um termômetro com mercúrio, adotando cem divisões entre os pontos de fusão do gelo e ebulição da água (Bassalo, 1991).

Voltando à questão da natureza do calor, a concepção Aristotélica, estabelecida na Antigüidade, perdurou durante toda a Idade Média. Dentro desta visão, a matéria seria formada por quatro elementos (**água, ar, fogo e terra**) que estariam ligados a um quinto elemento (**éter**), responsável pela produção de calor nos corpos (Carmo, 1999).

Por volta do século XVIII, as idéias sobre o calor eram ainda difusas, pois alguns físicos pensavam tratar-se de um fluido capaz de penetrar nos corpos conforme a sua temperatura (Black, 1728 – 1799; Lavoisier, 1743 – 1794; Laplace, 1749 – 1827, para citar alguns) e outros julgavam ser este, o resultado dos

movimentos das partículas da matéria (Boyle, 1627 – 1691; Hügeus, 1629 – 1695; Newton, 1642 – 1727, por exemplo) (Bassalo, 1992).

A partir da metade do século XVIII, a teoria substancialista torna-se dominante por explicar fenômenos conhecidos na época e é em seu trabalho *Traité élémentaire de chimie* de 1789, que Lavoisier introduz o termo **calórico** para a substância do calor. Considera que o calórico é a causa do calor, ou ainda, que a sensação que chamamos de calor é o efeito da acumulação dessa substância (calórico) (Aurani, 1986).

Foi Joseph Black por volta de 1760, partidário da teoria substancialista do calor quem estabeleceu a diferença entre calor e temperatura ao observar que são necessárias quantidades diferentes de calor para se variar igualmente as temperaturas de substâncias distintas de mesma massa. Suas observações levaram à formulação do conceito de calor específico: quantidade de calor necessária para provocar uma variação de temperatura numa determinada quantidade de matéria (Aurani, 1986).

O conceito de calor latente também se desenvolveu a partir das observações de Black, em decorrência de suas experiências sobre mudança de fase. Black verificou que, ao mudar de estado físico, um corpo recebe “calor” mantendo constante a sua temperatura. Desta forma, diferenciou o calor sensível do calor latente, concluindo que o calor sensível pode ser compreendido como sendo aquele que faz com que a temperatura do corpo varie e o calor latente, o responsável unicamente pela mudança de estado, e não se manifestando através da medida de temperatura (Aurani, 1985).

Ainda que a teoria do calórico se apresentasse como um corpo de conhecimentos aparentemente sedimentado, começa a sofrer fortes ataques no final do século XVIII. Benjamin Thompson (1753 – 1814), mais conhecido como conde Rumford, foi um dos seus principais opositores. Em 1798, estando em Munique, na Alemanha, trabalhava como supervisor de uma fábrica de canhões e foi lá que ao perceber a quantidade de calor liberada durante o processo de perfuração da boca dos canhões com brocas que eram resfriadas em água, realiza uma série de experiências que o faz concluir ser o calor uma forma de movimento mecânico (Mason, 1964, p. 396; Einstein & Infeld, 1988, p. 45).

Embora as explicações de Rumford encontrassem pouca aceitação por parte dos substancialistas no início, estas questionavam a teoria do calórico num de seus pontos básicos: a idéia de conservação que ela implicava. A variação de calórico dos corpos pressupunha a transferência de substância entre eles, já que o calórico não poderia ser criado, nem mesmo destruído. Contudo, Rumford observou que mais e mais calórico era conseguido no atrito do cilindro e não parecia vir do calórico armazenado em nenhum dos corpos, mas sim, parecia ser gerado e isso confrontava a idéia de conservação (Aurani, 1986).

E nas palavras do próprio Rumford:

*“E meditando sobre este assunto, não devemos esquecer de considerar a mais considerável circunstância, de que as fontes de calor geradas pelo atrito nessas experiências, pareceram ser evidentemente inexauríveis. É desnecessário acrescentar que qualquer coisa, que qualquer corpo ou sistema de corpos isolado que pode continuar a fornecer sem limitação não poderá ser, provavelmente, uma substância material; e a mim me parece extremamente difícil, se não assaz, impossível, formar qualquer idéia distinta de algo capaz de ser excitado e comunicado da maneira em que o calor foi excitado e comunicado nessas experiências, exceto se for movimento”* (Thompson, *apud*. Einstein e Infeld, pp. 45 – 46).

Paralelamente aos estudos sobre o calor, surge a primeira **máquina a vapor** construída por Newcomen e Cowley, que apesar de funcionar, tinha um rendimento bastante reduzido. Contudo, James Watt (1736 – 1819), conseguiu reformular e aprimorar o projeto desta máquina em 1782, cujo funcionamento poderia ser ainda explicado pela teoria do calórico: a explicação através da teoria mecânica do calor viria anos depois (Silva, 1995).

Joseph – Louis Gay – Lussac (1778 – 1850), apresenta em 1802, estudos feitos sobre a expansão de gases pelo calor concluindo que todos os gases possuem o mesmo coeficiente de dilatação e em 1807, estuda a expansão de gases no vácuo (Magie, 1935, p.165).

A partir dos trabalhos sobre os gases, a relação entre calor e trabalho foi estudada por Julius Robert Mayer (1814 – 1878) e publicada em 1842

na revista *Annalen der Chemie und Pharmacie*. Neste artigo, Mayer já advogava a idéia de conservação de energia<sup>4</sup> (Carmo, 1999).

Os fatores determinantes da transformação do calor em energia mecânica, pela máquina a vapor eram ainda objetos de pesquisa na França, embora esta já estivesse em uso há mais de um século. Foi em 1824, que Sadi Carnot (1796 – 1832) publicou um trabalho intitulado *“Reflexões sobre a força motriz do fogo”*, onde procurava analisar os fatores responsáveis pela produção de energia mecânica proveniente do calor na máquina a vapor. A esse respeito, considerou, segundo suas próprias palavras que:

*“Podemos comparar [...] a força motriz do calor à uma queda d’água [...] Esta última força depende da altura de queda e da quantidade de água: a força motriz térmica depende da quantidade de calórico<sup>5</sup> empregado e do que denominamos altura de queda, isto é, a diferença de temperatura dos corpos entre os quais aquele é transferido”* (Carnot, apud. Mason, p.400).

Como conseqüência de seus trabalhos, suas conclusões resumem-se no que ficou conhecido como Princípio de Carnot:

*“O funcionamento da máquina térmica consiste na transferência de calor de uma fonte quente (caldeira) para uma fonte fria (condensador) e não em consumo de calor. Como conseqüência, calor é conservado na operação da máquina: o calor retirado da fonte quente é todo ele transferido para a fonte fria”* (Dias, 2001, p. 229).

A teoria do calórico em que se apoiava, fez com que Carnot, de forma equivocada, entendesse que o calor não era perdido nem transformado em energia térmica a vapor (Mason, 1964, p.400). Desse modo, introduz a noção de ciclo reversível e dá a medida do rendimento máximo a toda e qualquer máquina térmica (Gilbert, 1982, p.255).

---

<sup>4</sup> Etimologicamente, a palavra ENERGIA vem de *En* (em, dentro) e *Ergon* (ação), o que significa dizer *ação interior*. Na mecânica, nasce com o significado de *capacidade de fornecer trabalho*, inicialmente e de forma nebulosa nas obras de Kepler e Galileu. Somente depois de um pouco mais de um século é que esse conceito volta a aparecer com o significado atual no trabalho de Poncelet (1788 – 1867), em 1826 (Gilbert, 1982, p.228).

<sup>5</sup> É interessante notar que nesse livro, Carnot usou o conceito de calórico, por ser esta a única grandeza que se conservava segundo a teoria de calor vigente (Bassalo, 1998, p. 60).

Somente por volta de 1830, é que Carnot percebeu que certa parcela do calor se convertia em energia mecânica e se perdia durante o funcionamento do motor. Por isso, abandonou a teoria do calórico e adotou a concepção de que o calor estava associado ao movimento das partículas de um corpo, sendo tanto ele como a energia mecânica conversíveis e equivalentes (Mason, 1964, p. 401). Contudo, Carnot faleceu antes de publicar esses resultados e seus textos ficaram dispersos por quase meio século (Ronan, p.46).

Experimentos que envolviam o calor produzido pela corrente elétrica foram desenvolvidos por James P. Joule (1818 – 1889) em 1840, cujos resultados quantitativos foram apresentados três anos mais tarde (Carmo, 1999). Foi em 1847 que descreveu a importante experiência do calorímetro de pás que consistia de uma roda de pás mergulhada na água e na medida do trabalho realizado para girar a roda, que conseqüentemente produzia variações de temperatura da água. Esta experiência forneceu o que se conhece hoje como **“equivalente mecânico do calor”**, isto é, a quantidade de trabalho necessária para gerar uma determinada quantidade de calor (Ronan, 1987, p. 47). Joule resume assim seus resultados:

*“1 – A quantidade de calor produzida pelo atrito de corpos, sejam líquidos ou sólidos, é sempre proporcional à quantidade de força<sup>6</sup> despendida e  
2 – A quantidade de calor capaz de fazer aumentar em 1° F a temperatura de uma libra de água (pesada no vácuo e considerada entre 55° e 60°) exige para sua evolução o dispêndio de uma força mecânica representada pela queda de 772 libras-peso de altura de um pé”* (Joule, apud. Einstein e Infeld, p.51).

Deste modo, as experiências de Joule mostraram que a energia mecânica se transformava quantitativamente em calor (Mason, 1964, p. 404).

É importante notar que até a metade do século XIX, a *Teoria do Calor* era uma área de estudos separada da *Mecânica*. A partir daí, com a aceitação do *Princípio da Conservação da Energia*, houve um abandono da teoria do calor – substância (*calórico*) e a adoção da idéia de que o calor seria uma função do movimento das partículas de um corpo. Desse modo, surge a *Teoria*

---

<sup>6</sup> Por força, Joule quer dizer, energia.

*Cinética da Matéria* como um modelo que se propunha a explicar os fenômenos macroscópicos com base na mecânica do movimento das partículas, buscando uma unificação entre a *Mecânica* e a *Teoria do Calor* (Pereira Jr., 1997, p.39).

Nessa época então, início do século XIX com o advento da energia a vapor durante a Revolução Industrial, começa a tomar forma a teoria da **Termodinâmica**<sup>7</sup> (Coveney & Highfield, 1993, p.130).

Rudolph Clausius (1822 – 1888), foi um dos primeiros cientistas responsáveis pela aproximação da *Teoria do Calor* e a *Teoria Cinética*, criando o que hoje conhecemos por *Termodinâmica*, ao solucionar o *problema teórico da compatibilidade*<sup>8</sup> entre o conhecido *Princípio de Carnot* e o *Princípio da Conservação da Energia* (Pereira Jr., p.39).

A equivalência entre calor e trabalho como formas de energia, é a base da Primeira Lei da Termodinâmica, enunciada por Clausius: “*num processo físico a energia é sempre conservada, muito embora possa ser transformada de uma forma em outra*” (Coveney & Highfield, p.131); ou ainda: “*Em qualquer sistema fechado (um motor à vapor, por exemplo) o total da energia é constante*” (Ronan, 1987, p.47).

As idéias de Mayer, Carnot, Joule, entre outros, foram incorporadas à teoria dos motores térmicos, por William Thomson (ou Lord Kelvin) (1824 – 1907) em Glasgow e Clausius, em Berlim. Estes dois últimos perceberam que quando os gases e vapores se expandiam contra uma força contrária, realizando trabalho mecânico, uma parcela do calor se convertia em energia mecânica e a outra parte, simplesmente se dissipava durante o funcionamento da máquina a vapor (Mason, p.405). Assim, voltando aos estudos de Carnot sobre o motor a vapor, Clausius constata que este havia se enganado quando pensara que o motor trabalharia somente porque seu *calórico* diminuía de temperatura (Ronan, p.47).

---

<sup>7</sup> Termodinâmica: palavra derivada do grego que significa *movimento do calor* (Coveney & Highfield, 1993, p. 131).

<sup>8</sup> O problema teórico de compatibilidade refere-se à perda de rendimento das máquinas térmicas, que segundo Carnot, o calor não se transformava em energia mecânica na máquina térmica, dando-se nesta simplesmente uma queda de temperatura, sem perda de calórico (Mason, 1964, p.404)

De qualquer modo, apesar da confusão feita entre as teorias do calórico e do calor como movimento, o trabalho de Carnot teve importância no estabelecimento do segundo Princípio da Termodinâmica<sup>9</sup>, que ficou esquecido até 1848, quando foi resgatado por William Thomson, conhecido como Lord Kelvin e também por Rudolph Clausius por volta de 1850. Importante frisar que ambos anunciaram a *Segunda Lei da Termodinâmica* quase ao mesmo tempo, mas independentemente.

Vale lembrar que embora Lord Kelvin, inspirado nos trabalhos de Carnot, chega a descobrir a *Segunda Lei da Termodinâmica* um pouco antes de Clausius, apesar de seu princípio correto, sua formulação não parece adequada uma vez que ele adota ainda a teoria do calórico (Silva, 1995). Ainda assim, o enunciado de Kelvin, já estabelecia uma assimetria entre trabalho e calor: *“nenhuma máquina converte calor em trabalho com eficiência total; alguma energia é sempre perdida para uma região de menor temperatura”* (Ferracioli, 2001). Clausius, por sua vez, concluiu a formulação termodinâmica do *Princípio de Carnot*, conhecida como a *Segunda Lei da Termodinâmica* afirmando que:

*“O calor não pode nunca passar de um corpo mais frio para um corpo mais quente sem que ocorram ao mesmo tempo mudanças associadas. Tudo que sabemos em relação à troca de calor entre dois corpos de temperaturas diferentes confirma isso, pois o calor em toda parte manifesta uma tendência em igualar diferenças de temperatura, e conseqüentemente em passar numa direção contrária, isto é, do corpo mais quente para o mais frio”* (Clausius, apud. Aurani, 1986, pp. 54 – 55).

Conforme o exposto, é possível perceber que o enunciado de Clausius implica uma assimetria no sentido dos processos naturais: calor flui sempre de objetos ou ambientes quentes em direção aos frios (Ferracioli, 2000).

Em seus estudos, Clausius distinguiu os processos *reversíveis* dos *irreversíveis* através da noção de *“valor de equivalência”* de uma transformação. Ao passo que a quantidade de calor diminuía, durante um ciclo de funcionamento

---

<sup>9</sup> A contribuição essencial de Carnot vem das conclusões de seu trabalho que o fizeram afirmar que *“Uma máquina cujo motor é o calor não pode produzir trabalho sem o emprego de duas fontes de calor a temperaturas diferentes”* (Carnot, apud. Gilbert, 1982, p.237).

da máquina térmica de Carnot, Clausius percebeu a existência de uma porção que permanecia constante no decurso do mesmo ciclo: a quantidade de calor que era transformada em trabalho mecânico, dividida pela temperatura da fonte quente (caldeira), possuía quantitativamente o mesmo valor numérico que a porção de calor dissipada dividida pela temperatura da fonte fria (condensador) (Mason, p. 405). Assim, em 1865, denominou esse quociente de **entropia**<sup>10</sup>: uma grandeza que aumenta com a dissipação e atinge seu valor mais alto quando todo potencial de realizar trabalho está esgotado. Desse modo, em um processo *reversível*, a variação de *entropia* é nula, enquanto que em um processo *irreversível* a *entropia* sempre aumenta (Coveney & Highfield, 1991, p. 133).

Assim sendo, Clausius considerando o universo como um sistema fechado, lançou em 1865, as duas primeiras *Leis da termodinâmica* numa forma cosmológica. A *primeira* afirmava que a **energia total do universo é constante** e a *segunda*, afirmava que a **entropia total do universo está aumentando em direção a um valor máximo** (Coveney & Highfield, 1991, p. 134).

O conceito de **entropia** também está associado à desordem de um sistema e esse aspecto pode ser compreendido através de um exemplo:

*“Mexa o café de uma xícara com uma colher [...] esse processo espontâneo resulta no aumento de entropia. Também resulta no aumento de desordem atômica, sendo o movimento de rotação inicial das moléculas do café um estado relativamente ordenado”* (Resnick & Halliday, 1991, p. 241).

Essa desordem molecular foi definida quantitativamente na Termodinâmica Estatística, por Ludwig Boltzmann (1844 – 1906) por volta de 1866. Importante dizer que isso se deve ao fato de que, no final do século XIX, a teoria mecânica do calor recebeu novo impulso com os trabalhos de Maxwell (1831 – 1879) sobre distribuição de velocidade das moléculas de um gás e com os do próprio Boltzmann sobre a introdução da teoria das probabilidades e da entropia no estudo da teoria cinética dos gases (Silva, 1995).

Maxwell deu uma importante contribuição para a abordagem deste tipo de processo ao descrever o estado de *equilíbrio termodinâmico*: em 1860, ele

---

<sup>10</sup> O nome entropia vem do grego *em* (em) e *trope* (transformação) com o objetivo de indicar ‘algo em transformação’.

propôs como resultado geral que, após uma série de colisões, a energia cinética das partículas tende a se equalizar (Magie, 1935, pp. 257 – 261).

Adotando a linha de raciocínio empregada por Clausius e Maxwell, Boltzmann reconheceu que:

*“Como resultado das colisões, muitas moléculas adquirirão maiores velocidades, e outras obterão menores velocidades, até que finalmente é estabelecida uma distribuição de velocidades entre as moléculas, tal que não seja alterada por novas colisões”* (Boltzmann, *apud*. Pereira Jr., 1997, p. 43).

Desse modo, a *Segunda Lei da Termodinâmica* passa a ter uma interpretação de Boltzmann, como significando que, nos movimentos espontâneos de energia, como por exemplo, a conversão de energia mecânica em calor, ou na refrigeração de corpos aquecidos, as moléculas do sistema envolvido tendiam para uma distribuição aleatória de suas energias. Essa distribuição desordenada, era a mais provável, enquanto que outras mais organizadas, possuíam menor probabilidade de ocorrência. Com isso, Boltzmann concluiu que o crescimento espontâneo da *entropia* de um sistema poderia ser relacionado com o aumento da distribuição ocasional das energias moleculares do mesmo sistema (Mason, 1964, p.406).

A interpretação de Boltzmann corresponde a admitir que os estados de maior entropia são os mais prováveis, mas como também considerou que os estados mais prováveis são os de maior desordem, conclui-se que os sistemas evoluem no sentido de uma maior desordem ao mesmo tempo em que a sua entropia aumenta (Gilbert, 1982, p.253).

Em vista de tantas discussões que se processaram ao longo do tempo, é possível perceber a complexidade da construção desses conceitos científicos que estruturam a Física Térmica sendo impossível negligenciar o estudo da História da Ciência.

O conceito de entropia, por exemplo, definido por Clausius a partir da quantificação da equivalência entre as transformações no ciclo de Carnot e posteriormente, trabalhadas por Boltzmann com base no modelo mecânico molecular, tem hoje ampliado seu significado com aplicações em outras áreas do

conhecimento como Teorias da Informação, Economia, entre outras (Aurani, 1985).

Assim, o que se pretende é que estes desenvolvimentos nos permitam refletir no momento de analisar as concepções dos estudantes, buscando paralelos entre estas e os obstáculos e dificuldades superadas na história (Piaget e Garcia, 1987).

### **3.2 - Tendências do Ensino de Ciências em Sala de Aula**

Este capítulo pretende mostrar também algumas tendências em ensino de Ciências em sala de aula no decorrer das últimas décadas e como os apontamentos dessas novas tendências fundamentam este trabalho.

Discutiremos uma estratégia de aprendizagem em Ciências, pautada na *construção* de conhecimentos, que se faz a partir de um *conteúdo prévio* que o estudante traz para a escola. Este modelo construtivista integra as investigações sobre didática das ciências na atualidade (Posner et al, 1982; Gil Perez, 1983; Driver, 1986; entre outros e mais recentemente Gil Perez 1993; Silva, 1995; Druyan, 1997; Hewson, Beeth e Thorley, 1998, entre outros).

Falaremos também, dentro desta mesma linha de ensino/aprendizagem, da importância e utilização da História da Ciência como ferramenta no processo de elaboração do conhecimento científico em aulas de Física.

#### **3.2.1 – As Concepções Alternativas e as Estratégias no Ensino de Ciências**

A partir da década de 70, estudos preocupados com o que se convencionou chamar de conceitos alternativos ou espontâneos ou ainda, idéias prévias (Gil Perez, 1993; Millar e Driver, 1987; Wheatley, 1991; Driver, 1998; Rowell, 1989; Duschl, e Gitomer, 1991 e Carvalho et al.,1993 entre outros.) em relação aos diversos conceitos científicos começaram a surgir na literatura. Essas pesquisas, partindo de um referencial construtivista, buscaram investigar as interpretações dadas pelos estudantes para determinados eventos, mostrando a

necessidade de se levar em consideração essas *idéias prévias*. Essa tendência propiciou o questionamento e a contestação de um ensino até então, centrado na transmissão do conhecimento pelo professor.

Para o Ensino de Física, esses estudos constituem atualmente, segundo Neves e Savi, “*um divisor de águas*”:

*“Quando foi publicado, o primeiro artigo (Za’Rour, 1975) sobre os conceitos ‘equivocados’ (misconceptions) dos estudantes escolarizados, ainda não existia qualquer teoria sob a qual houvesse algum sentido em se falar de ‘idéias’ (no sentido de ‘esquemas de conhecimento’) dos estudantes. O ensino era pensado como uma comunicação de conhecimentos[...] do tipo tabula rasa e os insucessos eram atribuídos aos ‘erros’ ou quase ‘estupidez’ dos estudantes”* (Neves e Savi, 2000).

Fica claro, portanto, que os resultados dessas pesquisas, vêm questionar a eficácia de um ensino tradicional puramente voltado à transmissão e recepção passiva de conhecimentos, além de contribuir para uma problematização do ensino/aprendizagem das ciências.

Essa perspectiva construtivista, que se opõe ao modelo clássico de ensino, se caracteriza, de acordo com Santos, 1991 (*apud*. Diniz, 1998), por três aspectos:

- 1) cada pessoa constrói individualmente seus próprios significados para as experiências que vivencia;
- 2) por ser individual, essa construção é diferente para cada pessoa, guardando, contudo, certa comunalidade;
- 3) muitas dessas construções envolvem a ligação de novas idéias e experiências com outras que a pessoa já sabe e acredita.

A partir dessas três idéias que caracterizam a formação de concepções por parte do indivíduo, podemos dizer que ao chegar à escola, o estudante já desenvolveu uma série de noções (concepções prévias) em suas mais diversas interações com o mundo.

Em um trabalho mais recente, Coll, Pozzo, Sarabia e Valls (1998) apresentam as principais características das concepções prévias. Na visão desses autores, essas noções são construções pessoais, compartilhadas muitas vezes

por várias pessoas e que possuem coerência do ponto de vista de quem as elabora, mas não do ponto de vista científico uma vez que buscam mais a utilidade do que a verdade; além disso, são muito estáveis e resistentes à mudança.

Frente à constatação da existência dessas concepções e idéias limitantes à aprendizagem, foi proposto um modelo de ensino para lidar com as concepções dos estudantes visando transformá-las em conhecimentos científicos: o modelo de mudança conceitual proposto por Posner, Strike, Hewson & Gerzog (1982). As premissas do modelo em questão apontam quatro condições para o estabelecimento de uma mudança nas concepções do indivíduo:

- 1 – Necessidade de se produzir insatisfação com os conceitos existentes (**conceitos prévios**);
- 2 – A nova concepção deve ser **inteligível**, permitindo ao sujeito, fazer relações coerentes;
- 3 – O novo conceito deve também ser **plausível** de modo a solucionar problemas gerados pela concepção anterior;
- 4 – A nova concepção deve ser **frutífera**, revelando novas áreas de investigação.

De acordo com as condições acima citadas, o novo conhecimento deve ser significativo para o aluno no sentido de explicar com coerência, os fenômenos observados em seu cotidiano, pois do contrário, a mudança conceitual não se estabelece.

Driver (1988) ressalta a importância de se conhecer as idéias prévias dos estudantes, por acreditar que a aprendizagem de conceitos complexos ocorre pela organização e reestruturação de esquemas conceituais construídos a partir de noções intuitivas iniciais. Além disso, a autora defende a importância dos resultados das investigações sobre conceitos alternativos como ponto de partida para o planejamento das ações que deverão compor o currículo.

De modo semelhante, Robin e Ohlson (1989) acreditam que as mudanças conceituais em Ciências não são viabilizadas sem o conhecimento dos conceitos e estruturas de noções de senso comum inicialmente apresentadas pelo

sujeito, uma vez que essas, servirão de referencial para a construção de atividades de ensino.

Assim, o indivíduo num processo de mudança, seria capaz de abandonar uma concepção alternativa ou espontânea, previamente existente, passando a adotar a concepção científica que rege àquele conteúdo. Contudo, como esclarece Diniz, (1998), o processo que envolveria a mudança nas estruturas cognitivas do sujeito, não poderia ocorrer de forma brusca, mas de uma maneira gradual.

Outras pesquisas (Gunstone et. al., 1988; Mc Dermott, 1991; Scott, 1993) passaram a questionar a eficácia do modelo de mudança conceitual, por mostrarem a dificuldade de se realizar tal intento: as concepções prévias apresentam natureza estruturada e são dotadas de certa coerência interna. Nesse sentido, alguns autores (Duit, Goldberg e Niedderer, 1991; Silva e Latouff, 1996, entre outros) adotaram a expressão “*crescimento conceitual*” para explicar uma evolução nas concepções dos estudantes em direção a uma melhor compreensão dos conceitos cientificamente aceitos, uma vez que a idéia de mudança, expressa de certo modo, um radicalismo difícil de se obter na prática.

Também para não caracterizar a possibilidade de mera substituição das idéias prévias pelas científicas, Mortimer (1995), propõe a noção de perfil conceitual que permite entender a evolução das idéias dos estudantes em sala de aula não como uma substituição radical de idéias alternativas por científicas, mas como a evolução de um perfil de concepções, em que os novos conceitos adquiridos no processo de ensino passam a conviver com as concepções anteriores, de modo que cada uma pode ser empregada no contexto conveniente.

Essa idéia aparece reforçada no trabalho de Cunha (1999), onde ele afirma que:

*“Mudança conceitual raramente envolve um abandono completo de uma noção a favor de uma outra. Do contrário, com freqüência envolve adição de novas noções, retenção de noções existentes e aquisição de um sentido do contexto no qual a nova noção é mais apropriada”* (Cunha, 1999, p. 87).

Mortimer (1995) e Cunha (1999) entendem, portanto, que a mudança conceitual pura e simples não acontece, mas que em seu lugar, ocorre um

desenvolvimento paralelo de idéias que faz com que as noções cotidianas estejam sempre presentes no perfil conceitual do sujeito.

Perez et al. (1999) sugere a associação de construção de conhecimentos a problemas, onde as idéias científicas apareçam como simples hipóteses. As atividades de ensino de Ciências, propostas pelo docente, devem permitir ao educando a formulação de novas idéias e é neste momento que suas concepções prévias se revelam devendo ser, juntamente com os conceitos científicos (tomados também como hipóteses), submetidos a questionamentos e julgadas pelo grupo.

Importante ressaltar que, do ponto de vista construtivista, todo indivíduo possui um sistema cognitivo que funciona por um processo de adaptação que é perturbado por **conflitos**<sup>11</sup> ou **lacunas**<sup>12</sup> e cuja reequilibração se dá através de alguma aprendizagem ou construção de um novo saber (Castro e Carvalho, 1992). Situações conflitantes em classe funcionam como um motor, pois permitem que o aluno reelabore seus conhecimentos. Cabe explicar que os referidos autores, para explicar o processo de desencadeamento de mudanças, utilizam a teoria da equilibração de Piaget (1976).

No entanto, é interessante considerar que, algumas pesquisas sugerem que o processo de mudança conceitual não seja uma função exclusiva dos aspectos cognitivos, mas que os fatores motivacionais sejam levados em consideração, como explica Pintrich et al. (1993):

*“[...] modelos cognitivos são relevantes e úteis para conceitualizar a aprendizagem dos estudantes, mas sua crença em um modelo acadêmico de*

---

<sup>11</sup> Dentro da abordagem construtivista, a idéia da necessidade de provocar conflitos cognitivos aparece em muitos trabalhos de pesquisa da área de ensino de ciências (Scott, Asoko e Driver, 1991, Gil Perez, 1993a, Silva 1995). Nessa perspectiva, o conflito aparece como um motor da aprendizagem. Para alguns autores (Scott, Asoko e Driver, opus cit.), o sucesso do conflito é demonstrado na habilidade de o aluno reconhecê-lo e resolvê-lo, mas ainda podem não produzir o efeito esperado, como sugere Dreyfus, Jungwirth e Elivitch (1990), se as construções utilizadas para sua resolução não caminharem da forma que o professor desejou.

<sup>12</sup> O conhecimento nem sempre surge do conflito entre duas idéias. Nem sempre há uma idéia prévia para ser discutida; existem também as lacunas de conhecimento que se caracterizam como ausência de teoria sobre um assunto apresentado (Bastos, 1998).

*ensino frio e puramente cognitivo [...] pode não ser adequado para descrever o ensino no contexto de sala de aula”* (Pintrich et al. 1993, p. 167).

Assim, na proposta dos autores citados anteriormente, além dos aspectos cognitivos, fatores pessoais, sociais e motivacionais são importantes na criação de um clima de comprometimento do estudante com o conhecimento formal adquirido no ambiente escolar.

Após uma série de críticas ao modelo de Mudança Conceitual, dois autores da proposta original de 1982, (Strike & Posner, 1992), reconheceram a importância da intuição e da emoção no processo de evolução conceitual.

De um modo geral, portanto, as pesquisas atuais acreditam na importância de se levar em consideração, no processo de aprendizagem, aspectos subjetivos durante a investigação das competências cognitivas, para as quais os estudantes estariam sendo preparados (Villani e Barolli, 2000).

De acordo com as considerações feitas anteriormente, é possível concluir que o processo de edificação dos conceitos científicos é muito complexo e uma evolução dos conceitos do educando é somente percebida, quando a nova concepção ao invés de ser simplesmente aceita, seja significativa do ponto de vista do indivíduo. Pintrich et al. (1993) argumenta, que as atividades de ensino em sala de aula devem ser relevantes para a vida fora da escola, pois tarefas que não sejam autênticas, levam o aluno a isolar a escola do mundo em que vivem. Nesse sentido, como explica Vilani et al. (1997), *“as pesquisas então têm a tarefa de fornecer subsídios, ainda que parciais, para a compreensão do processo de aprendizagem e sugestões localizadas sobre estratégias de ensino”*.

Diante dessas discussões, o desafio do professor parece ser o de confrontar o educando com suas concepções e conceitos que a produção científica oferece, propiciando momentos de reflexão e escolha.

Neste trabalho, entendemos que a mera substituição de concepções espontâneas por científicas, não ocorra na prática, mas sim que cada indivíduo possui um *perfil* conceitual (Mortimer, opus cit.). Em situações diferentes, o indivíduo acessa conceitos também diferentes, e esses conceitos não são necessariamente condizentes entre si. Conceitos antigos nem sempre são

descartados e discutir os contextos específicos em que as diferentes versões de um mesmo conceito tornam-se mais ou menos apropriadas, é fundamental. Para que isso de fato aconteça, partimos do princípio de que é possível ocorrer aprendizagem significativa do ponto de vista do estudante, quando situações experimentadas em seu cotidiano, são utilizadas como ponto de partida para a formulação de novas hipóteses. Embora Moreira (1999) esclareça que é possível falar em aprendizagem significativa em distintos referenciais teóricos construtivistas, a abordagem por nós compreendida dentro do contexto desta pesquisa, refere-se àquela dada por Ausubel (1978), onde este afirma que é essencial que haja uma interação entre os novos conhecimentos (conceitos e idéias) e os conhecimentos prévios de modo que essa nova informação adquira significado para o aprendiz. Assim, mais importante do que abandonar a concepção ingênua, acreditamos que o estudante ao implementar sua estrutura cognitiva a partir de uma aprendizagem significativa, seja capaz de estabelecer as relações apropriadas em cada contexto.

### **3.2.2 – A Importância da Utilização da História da Ciência no Ensino**

Robilotta (1988), destaca que a grande dificuldade que permeia o ensino de Física provém da passividade e apatia diante da complexidade que envolve tal disciplina, uma vez que, ao tratarmos de forma simplificada um corpo de conhecimento tão intrincado, permite-se fazer com que ele se torne incompreensível aos alunos.

Em geral, os docentes estão mais preocupados com a transmissão dos “produtos” da Ciência, isto é, “o que sabemos” ao invés de “como sabemos”. Assim, nem apenas a ênfase no processo, nem o estudo dos produtos da Ciência podem proporcionar uma visão adequada da construção do conhecimento sem a incorporação da História da Ciência (Monk & Osborne, 1997).

Alguns trabalhos, assim como os de Castro e Carvalho, (1992), Lopes, (1993), entre outros, sugerem que alguns aspectos da História da Ciência

devem ser utilizados nos cursos de Ensino Médio, por se constituírem como instrumentos estratégicos, permitindo que o aluno veja o cientista como um ser humano comum como qualquer um de nós, e a Ciência, como um processo em curso permanente.

Esta abordagem permite que o educando reformule as próprias concepções no que se refere ao caráter da produção de conhecimentos, além de mostrar que os conceitos não se resumem simplesmente a um emaranhado de fórmulas matemáticas.

Assim sendo, na tentativa de desmistificar a evolução dos conceitos científicos, bem como contribuir para uma mudança de postura diante dos conteúdos, a História da Ciência no Ensino de Ciências adquire um papel muito importante:

*“Encarar a Ciência como um produto acabado confere ao conhecimento científico uma falsa simplicidade que se revela cada vez mais como uma barreira a qualquer construção, uma vez que contribui para a formação de uma atitude ingênua frente à Ciência. Ao encarmos os conteúdos da Ciência como óbvios, as diversas redes de construção edificadas para dar suporte a teorias sofisticadas apresentam-se como algo natural, portanto, de compreensão imediata” (Robilotta, 1988).*

De acordo com a interpretação do autor, a tentativa de se ensinar conteúdos científicos como se fossem triviais, permite a errônea interpretação de que os insucessos na aprendizagem devem-se unicamente à incapacidade do aluno.

Ainda no que diz respeito à utilização da História da Ciência como ferramenta para promover uma melhor compreensão dos conhecimentos científicos em classe, pesquisadores em ensino de Física estão certos de sua importância até mesmo porque estudos têm apontado uma semelhança, ainda que muito localizada, entre as concepções alternativas dos estudantes e os modelos científicos que foram dominantes em determinado período histórico nos diversos campos do conhecimento (Driver e Easley, 1978; Mc Dermott, 1984; Gil Perez e Carrascosa, 1985; Sanmarti, N. & Casadella, J. 1987, Solbes, J. e Trever, M. J., 1996).

O argumento dos pesquisadores mais uma vez reforça a importância de se levar em consideração, as noções prévias dos estudantes, pois os paralelos estabelecidos entre essas concepções, podem auxiliar o docente no preparo de suas atividades didáticas, além de permitir que o aluno veja a Ciência como algo mais próximo do seu cotidiano.

De acordo com Castro e Carvalho (1995), a utilização da história do conhecimento científico se faz na tentativa de transformar a visão de Ciência estática, obscura, em algo que se aproxime das capacidades cognitivas dos estudantes.

*“Quando um aluno (...) discute de onde vieram certas idéias, como evoluíram para chegar onde estão ou mesmo questiona os caminhos que geraram tal evolução, de certa forma ele nos dá indícios de que reconhece tais conceitos como objeto de construção e não como conhecimentos revelados ou meramente passíveis de transmissão”* (Castro e Carvalho, 1992).

Desse modo, o estudo das idéias científicas, ajudará a desenvolver o entendimento conceitual dos indivíduos, pois além de fornecer paralelos com as próprias visões desses sujeitos, oferece subsídios para que as próprias concepções científicas vigentes sejam analisadas de forma crítica (Monk & Osborne, 1997).

Outra autora, Dias (2001), que defende a utilização da História da Ciência no ensino e propõe o seu uso na clarificação de conceitos, aponta três exemplos de fundamentos da Física, que encontram resposta em sua História:

1. A utilização de um conceito científico ao longo dos anos tende a fazer com que sejam tratados como óbvios. Nesse aspecto, a História mostra *como* e *porquê* o conceito foi criado além de revelar sua função e seu significado.
2. Algumas questões da Física são essencialmente, filosóficas e podem ser compreendidas através da sua análise Histórica.
3. A relação existente entre a História da Ciência e a Epistemologia, implica que o valor epistêmico da Ciência só pode ser avaliado no decorrer de sua história.

É possível perceber, portanto, que a Ciência não é trivial em sua essência e que a História da Ciência pode contribuir para que os **obstáculos epistemológicos**<sup>13</sup> sejam quebrados, resgatando a origem, discussões e evolução dos conceitos científicos.

Carvalho e Barros (1998) destacam que *“ignorar a dimensão histórica da Ciência reforça uma visão distorcida e fragmentada da atividade científica, pois ao desprezar o papel do pensamento divergente e de opiniões conflitantes no processo de construção do conhecimento científico, estamos subestimando a criatividade do trabalho científico”*.

Sendo o conhecimento científico construído ao longo do tempo, o enfoque histórico permite reconhecer a Ciência como sendo uma atividade humana envolvendo uma série de componentes:

*“Através da História da Ciência o educando irá perceber que aceitação ou o ataque a alguma proposta não dependem apenas de seu valor intrínseco, de sua fundamentação, mas que também nesse processo, estão envolvidas outras forças tais como as sociais, políticas, filosóficas e religiosas”* (Martins, 1998).

Monk e Osborne (1997) chamam a atenção para a importância das questões epistemológicas a fim de que se possa distinguir o conhecimento entre crenças justificadas e não justificadas, pois, sem subsídios para o questionamento da produção científica, o conhecimento passa a ser dogma de fé.

Portanto, o que se pretende com a utilização da História da Ciência, não é trabalhar com os educandos, apenas “curiosidades”, mostrando uma história composta por uma infinidade de “gênios” que criaram teorias da noite para o dia, sem o mínimo esforço, mas sim, “acabar com a repetição de informações que não podem ser compreendidas pelo aluno e começar a estabelecer estratégias e os conteúdos que permitam ao aluno realizar um trabalho cognitivo e poder superar seus obstáculos da aprendizagem” (Gagliardi, 1988).

---

<sup>13</sup> Bachelard introduz o termo obstáculo epistemológico para designar as idéias preconcebidas que o indivíduo desenvolve no decorrer da vida (Giordan & Vecchi, 1996).

Muito embora, as reflexões permitidas pela utilização da História da Ciência no ensino, sejam bastante amplas, seu papel dentro da nossa proposta de pesquisa, se atêm mais ao caráter internalista da Ciência com os seguintes objetivos: a) servir como pano de fundo com intuito de contextualizar os conceitos trabalhados num plano temporal e b) mostrar, quando possível, obstáculos epistemológicos através da semelhança entre as concepções espontâneas dos estudantes e concepções relativas a teorias científicas no transcorrer da História.

### **3.3 - Trabalhos de Pesquisa em Ensino/Aprendizagem de Conceitos em Física Térmica com Enfoque no Conhecimento de Conceitos Prévios**

Neste tópico, revisamos algumas pesquisas que basicamente, acompanharam processos de ensino/aprendizagem, mudança conceitual e representações mentais de conceitos de Física térmica, por estudantes e professores num contexto de sala de aula.

O objetivo aqui, é analisar a produção de outros autores com o intuito de buscar subsídios para as interpretações dos dados por nós coletados.

Nosso interesse específico recai sobre a investigação em conceitos referentes à Termodinâmica e o que pudemos constatar durante esta revisão, é que os conceitos de calor e temperatura são os que aparecem com maior frequência nos debates, pesquisas e literatura especializada (Erickson & Tiberghien, apud. Viennot 1998; Sciarretta, Stili e Missoni, 1990; Kesidou et. al. 1995; Silva, 1995; Silva, Fernandez e Carvalho, 1998 para citar apenas alguns). Em menor número, estão aqueles que tratam sobre a forma de pensar do aluno em relação a outros conceitos que envolvem as Leis da Termodinâmica, tais como energia, entropia, processos espontâneos entre outros. Nessa linha, estaremos aqui comentando alguns trabalhos realizados a partir da década de 90, entre eles: (Kesidou & Duit, 1993; Thomas, 1997; Thomas & Schwentz, 1998; Zain e Sulaiman, 1998; Ben-Zvi, 1999; Castro & Ferracioli, 2002; Loverude, Kautz e Heron, 2002).

Na linha de pesquisa dos trabalhos que integram as investigações em ensino de calor e temperatura, (Sciarretta, Stili e Missoni, 1990), realizaram um estudo sobre idéias prévias de estudantes secundaristas e docentes. As concepções foram coletadas por meio de um teste escrito, cujas questões abordavam sensações térmicas de diferentes objetos, propagação do calor e equilíbrio térmico. Com isso, os autores, embora concluíssem não haver contundentes indícios de confusão entre os conceitos de temperatura e calor, não apresentaram no artigo, elementos suficientes que justificassem esses resultados, uma vez que grande parte dos estudos sobre o assunto, (ver, por exemplo, Erickson, 1985 e Tiberghien, 1985) revela as dificuldades que os indivíduos encontram na distinção desses dois conceitos.

Em pesquisa realizada por Silva, Fernandez e Carvalho (1998), foram trabalhados os conceitos de calor e temperatura com 56 alunos do Ensino Médio em uma base construtivista. Foram coletadas inicialmente algumas noções prévias dos alunos e, na seqüência, foi desenvolvida uma série de atividades para se ensinar a distinção dos conceitos de calor e temperatura. Após o término do módulo, uma questão aberta foi colocada a fim de se avaliar possíveis mudanças nas concepções dos estudantes e concluiu-se que apenas 26,9% (15 alunos) apresentaram respostas satisfatórias.

O que se revelou mais interessante na referida pesquisa, é que um segundo teste foi aplicado depois de 26 meses (2 anos e 2 meses) e nesta ocasião estavam presentes 44 dos 56 alunos que passaram pelo curso e o que se constatou foi que 34% dos alunos (15 alunos) apresentaram resultados satisfatórios e que a maior parte desses alunos antigos, (59%) mostravam conhecimento do modelo cinético-molecular, embora não distinguíssem de forma clara, os conceitos de temperatura e calor. Os autores, assim sendo, acreditam que o ensino pautado em bases construtivistas levou os alunos à construção dos conceitos e, portanto, a um melhor resultado, uma vez que a estabilidade nas respostas dos alunos não poderia se justificar pela habilidade de memorização dos elementos presentes nas respostas.

Entre as pesquisas que focalizam outros conceitos de Física Térmica, além de calor e temperatura, podemos destacar um estudo realizado por

Kesidou e Duit (1993), em que os autores investigaram as noções que estudantes na faixa etária de 15 – 16 anos, apresentam em relação à Segunda Lei da Termodinâmica. Através de entrevista clínica feita com 34 alunos, conclui-se que os estudantes apresentaram grande dificuldade na diferenciação dos conceitos de calor e temperatura. Além disso, os aspectos de transferência, transformação, conservação e degradação de energia, não são reconhecidos.

Outros dois estudos referentes às questões sobre Termodinâmica, foram realizados por Thomas e Thomas & Schwentz (apud. Greebowe & Meltzer, 2001), em que são realizadas entrevistas com 16 alunos colegiais matriculados em um curso de físico-química. A idéia, era conhecer suas noções sobre calor, temperatura, trabalho, termoquímica, Leis da Termodinâmica e energia livre e compará-las com as noções de estudantes mais avançados no curso. Com base nas respostas, o que se concluiu foi que prevaleciam concepções espontâneas ou mesmo dificuldade de se exibir idéias sobre os conceitos. Mesmo os alunos que estavam num estágio mais avançado do curso, confundiram conceitos termodinâmicos e mantinham uma linguagem de senso comum a respeito dos mesmos.

Um estudo foi realizado em uma Universidade da Malásia, com 133 estudantes iniciantes do curso de Física sobre a compreensão do uso de energia e sua relação com o desenvolvimento tecnológico. A coleta de dados foi efetivada a partir de um questionário contendo 20 questões, subdivididas em cinco itens principais: 1 – Utilização da energia doméstica; 2 – Conservação e formas de poupar energia; 3 – Desenvolvimento tecnológico; 4 – Riscos e 5 – Economia. Como resultado, ficou comprovado que os alunos apresentaram concepções ingênuas em 14 das 20 questões, especialmente no que diz respeito aos itens 3, 4 e 5. Entre outras respostas, observou-se que cerca de 68% dos estudantes mostraram desconhecer, por exemplo, que quando a energia é utilizada, passa por dissipação e degradação; somente 11%, estão atentos ao fato de que o funcionamento do motor de um carro (motor a vapor) funciona com a eficiência máxima dada pelo Princípio de Carnot.

Em pesquisa realizada em Israel, Ben-Zvi (1999) descreve o desenvolvimento e avaliação do módulo: “*Energia e o Ser Humano*” dentro da

estrutura “*Ciência e Tecnologia para todos*”. O módulo, foi desenvolvido com estudantes colegiais na faixa de 15 anos<sup>14</sup>, com o objetivo de mostrar a relevância da ciência no cotidiano, tentando sobretudo clarificar aspectos referentes ao conceito de energia, tais como a conservação e a transformação. A escolha pelo tema foi feita em vista da grande dificuldade que há no ensino deste conceito e sua relação com a Segunda Lei da Termodinâmica.

Após a aplicação do módulo, que buscou esclarecer noções de energia livre (para a realização de trabalho) e energia que é convertida em calor e dissipada, algumas questões foram feitas a fim de se avaliar o curso. Entre as questões, a que mais nos chamou a atenção foi: “*É possível construir máquinas que realizam trabalho para sempre sem a adição de combustível?*” Os resultados apontaram que aproximadamente 25% dos alunos apresentaram uma compreensão da Segunda Lei da Termodinâmica, pois entenderam que num processo de conversão de energia, uma parte dela, é sempre dissipada na forma de calor, tornando-se assim, indisponível. Para a autora, embora a porcentagem pareça pequena, ela conclui que fica caracterizada a possibilidade desses estudantes compreenderem noções científicas não triviais.

Em pesquisa envolvendo estudantes universitários de primeiro e segundo anos em Washington, Loverude et al. (2002), tinham como objetivo, conhecer como alunos que já haviam passado por cursos de Física Térmica, concebiam a idéia da Primeira Lei da Termodinâmica e as relações que a envolvem. Os resultados mostraram similaridade entre as turmas: dificuldades apresentadas, por exemplo, em relação aos conceitos de trabalho e energia, constituíam um obstáculo para uma correta aplicação da Primeira Lei da Termodinâmica, além disso, pôde-se verificar confusões feitas entre os conceitos de calor e temperatura.

Finalizando esta revisão, encontramos um estudo recente (Castro e Ferracioli, 2002) que nos chamou a atenção por se tratar de uma investigação cujo propósito era analisar a compreensão que docentes do Ensino Médio do programa

---

<sup>14</sup> Importante observar que este estudo foi realizado com estudantes que optaram por fazer seu curso de nível médio, sem específica orientação científica, lembrando que em Israel, os alunos são divididos neste estágio de educação em dois níveis: aqueles que desejam continuar seus estudos em Ciências e aqueles que seguirão carreiras não científicas.

Pró-Ciência/ES, tinham a respeito da Segunda Lei da Termodinâmica. Para tanto, os professores deveriam responder a um questionário contendo sete questões que indiretamente iriam revelar seus conhecimentos acerca desta Lei.

Os resultados, contudo, mostraram que embora os docentes tivessem se reportado a conceitos relacionados à Termodinâmica, como calor, temperatura e energia, bem como aspectos de transferência, transformação, conservação e equilíbrio, poucas respostas foram dadas com base no modelo cinético. Além de distorções observadas em referência a determinados conceitos como os de calor e temperatura, a pesquisa revelou confusões feitas entre a Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica.

Dos trabalhos acima apresentados, alguns tinham como objetivo, mostrar como estudantes e também professores concebem conceitos de Física Térmica e outros, além desse levantamento de concepções, procuram também apresentar formas alternativas de ensino.

Uma característica comum a todos eles, se revela no aparecimento de uma grande quantidade de concepções prévias acerca dos assuntos investigados, tanto por alunos quanto por docentes. Sendo assim, verifica-se que embora os professores e alguns desses alunos já tivessem algum conhecimento dos conceitos trabalhados, a maior parte desses indivíduos mantém suas noções não científicas.

O que nos parece claro, no entanto, é que as propostas de ensino que apresentam características construtivistas são capazes de oferecer resultados mais eficazes do que aquelas pautadas no ensino tradicional. Os exemplos fornecidos pelos trabalhos de Silva, Fernandez e Carvalho (1998) e Ben-Zvi (1999) em Israel, confirmam esses dados.

## 4 – METODOLOGIA:

**“O que sabemos é uma gota; o que ignoramos é um oceano”.**  
**Isaac Newton (1643 – 1727)**

Neste capítulo, estaremos apresentando os referenciais teóricos no que diz respeito à abordagem metodológica utilizada neste estudo. Adiantamos ao leitor que, trata-se, sobretudo, de uma pesquisa qualitativa orientada por um caráter quase-experimental a julgar pela intervenção realizada em sala de aula.

### 4.1– A Pesquisa Qualitativa:

De acordo com o problema que desejamos investigar, as informações tomadas para análise neste trabalho envolvem procedimentos metodológicos que vão além do caráter puramente empírico. Trata-se de uma proposta de pesquisa qualitativa quase-experimental por entendermos que essa tendência metodológica é a que melhor atende nossas necessidades no que se refere à tomada de dados de um grupo de estudantes do nível Médio antes (pré-teste) e depois (pós-teste) de uma intervenção de ensino (mini curso). No que tange a esse aspecto metodológico, Selltiz, et al. (1987, p. 35) entendem que:

*“Quase experimentos são delineamentos de pesquisa que não têm distribuição aleatória dos sujeitos pelos tratamentos, nem grupos-controle. Ao invés disso, a comparação entre as condições de tratamento e não-tratamento deve ser feita com grupos não equivalentes ou com os mesmos sujeitos antes do tratamento”.*

Apesar de estarmos trabalhando com uma abordagem metodológica que se aproxima de um modelo quase-experimental, devemos destacar que a qualidade do conteúdo das respostas é o que configura o aspecto mais importante desta análise. Sendo assim, os estudos qualitativos apresentam, de acordo com Bogdan e Biklen (1994) algumas características, entre as quais podemos citar as que mais se destacam nesta investigação: *“(a) A pesquisa qualitativa tem o ambiente natural como sua fonte direta de dados e o pesquisador, como seu*

*principal instrumento; b) Os dados coletados são predominantemente descritivos; c) A preocupação com o processo é muito maior do que com o produto”.*

No caso específico deste trabalho, essas características são bastante pertinentes. Inicialmente, torna-se necessário coletar os dados no ambiente natural onde ocorre o comportamento, uma vez que o contexto de sala de aula, em que os alunos se encontram, é determinante para o desenvolvimento dos seus conhecimentos e atitudes. O levantamento de informações através de questionários e anotações feitas pelo pesquisador, revela o caráter descritivo da investigação, pois as informações não se apresentam como acontecimentos fixos, captadas num momento de observação, mas surgem em um contexto dinâmico de relações.

Com o propósito de sintetizar e corroborar com as idéias acima discutidas encontramos em Morales e Moreno (1993, apud. Silva, 1995), algumas descrições sobre o enfoque qualitativo da pesquisa:

*“[...] os trabalhos qualitativos são marcados: pela não manipulação de variáveis, pelo uso de procedimentos não padronizados, tais como entrevistas não sistematizadas ou coleta de dados em uma realidade; pelo envolvimento do investigador na pesquisa; [...] pelo não controle de variáveis estranhas ou pelo controle mínimo e pela não utilização de estatística”* (Morales e Moreno, apud. Silva, 1995, p. 15).

Desse modo, a pesquisa qualitativa compreende a análise de informações coletadas durante o processo à que são submetidos os sujeitos e não, um exame de dados numéricos.

No que diz respeito à organização do exame dos dados obtidos, utilizamos a Análise de Conteúdo, entendida como *“um método de tratamento e análise de informações (...) que se aplica à análise de textos escritos ou de qualquer comunicação (oral, visual ou gestual) reduzida a um texto ou documento”* (Chizzoti, 1991, p. 98).

Ainda, Bardin (1977), entende a Análise de Conteúdo como um conjunto de técnicas de análise das comunicações utilizando procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens. Ressalta ainda, a dificuldade de se compreender a Análise de Conteúdo como um método

uniforme, alertando para o fato de que antes de tudo, trata-se de *“um leque de apetrechos (...) adaptável a um campo muito vasto: as comunicações”*.

Nesta pesquisa, fizemos uso da análise temática, que segundo Bardin (1977), é uma das formas que melhor se adequa à investigação qualitativa, pois consiste em descobrir os núcleos de sentido que compõem uma comunicação cuja presença signifique alguma coisa para o objetivo analítico visado. Posteriormente, classificamos os dados em categorias:

*“As categorias são [...] rubricas ou classes que reúnem um grupo de elementos sob um título genérico, agrupamento esse, efetuado em razão dos caracteres comuns desses elementos [...] (opus. cit., p.117)”*.

Bardin (1977) propõe três etapas relativas à aplicação desta técnica de análise: 1) Pré-análise, 2) Exploração do material de estudo e finalmente 3) Tratamento dos resultados e interpretação.

A pré-análise consiste na organização, no estabelecimento de um programa capaz de conduzir as operações sucessivas num plano de análise, a partir da escolha do material que será examinado. Esse estágio, *“corresponde a um período de intuições”* com o objetivo de obter uma sistematização preliminar das idéias. Para tanto, o processo tem início com o que Bardin (1977) chama de *“leitura flutuante”*, atividade esta cujo objetivo é a geração de impressões a partir do estabelecimento de um contato com os documentos que serão analisados – em nosso caso, o “corpus de análise” resultou das informações obtidas através dos questionários de pré-teste e pós-teste. A partir daí, a tarefa seguinte é a elaboração de um conjunto de categorias temáticas que possibilitem algumas inferências.

A etapa de exploração do material incide na análise propriamente dita de acordo com as regras previamente formuladas. Esse processo pressupõe o tratamento das informações contidas no material através da codificação, isto é, a transformação dos dados brutos do texto, que permite atingir uma representação do conteúdo. Assim sendo, é preciso recortar o texto buscando unidades de codificação ou de registro. Nesta pesquisa, conforme dito anteriormente, optamos pelo tema partindo-se do pressuposto de que esta unidade de significação, como

alusão ou afirmação acerca do conceito que desejamos revelar, liberte-se naturalmente do texto analisado.

Finalmente, na fase de tratamento dos dados obtidos, *“o analista, tendo à sua disposição resultados significativos e fiéis, pode então propor inferências e adiantar interpretações a propósito dos objetivos previstos, ou que digam respeito a outras descobertas inesperadas”* (Bardin, 1977, p. 101).

Após o recorte, classificamos os dados em categorias de respostas, que não foram preestabelecidas mas, resultaram do agrupamento progressivo dos elementos e seus títulos só foram definidos no final do processo. Importante lembrar que Bardin (1977) recomenda alguns critérios para a definição das categorias entre os quais, procuramos atentar para dois deles de modo especial:

- A exclusão mútua: cada elemento não pode existir em mais de um agrupamento, ou seja, não pode ter aspectos que permitam sua classificação em mais de uma categoria.
- A pertinência: quando a categoria está adaptada ao material de análise, procurando refletir as intenções da investigação e / ou corresponder às características da mensagem.

Selecionamos esses dois critérios descritos acima, como forma de garantir a coerência interna dos dados, bem como adaptá-los aos objetivos deste estudo.

A partir da categorização do pré e pós-teste, pôde-se inferir conhecimentos sobre os emissores das mensagens e interpretar os seus significados. Optamos por um tratamento descritivo dos resultados.

#### **4.2- O Desenvolvimento da Pesquisa:**

Com vistas à coleta de dados que serviram como fonte de análise para o nosso problema, desenvolvemos um mini curso sobre o conceito de entropia destinado a alunos do Ensino Médio. A proposta em questão buscou contemplar as discussões mais recentes sobre o Ensino de Ciências incluindo um levantamento bibliográfico sobre concepções prévias, processos de mudança

conceitual e evolução histórica do conceito de entropia, descritos anteriormente no capítulo 3. Deste modo, esteve apoiada nos seguintes aspectos metodológicos:

- a. Investigação das concepções que esses indivíduos têm a respeito de conceitos associados à entropia, utilizando para isso, um questionário semi-estruturado (pré-teste).
- b. Apresentação de atividades de ensino com o propósito de levar a uma desestruturação ou mesmo um questionamento das concepções defendidas pelos alunos.
- c. Avaliação final objetivando a verificação de evolução conceitual ou não (pós-teste).

Utilizamos basicamente duas fontes de dados durante as aulas no mini curso:

1. Registros escritos dos alunos (questionários de levantamento de concepções/ conclusões de discussões em grupos e questionário de avaliação);
2. Bloco de notas do pesquisador.

## 5 - O MINI CURSO PROPOSTO:

Aqui, pretendemos contemplar a forma como o mini curso foi elaborado e desenvolvido em sala de aula, objetivando-se fornecer elementos para a sua compreensão.

### 5.1 – Estrutura do Mini Curso e Metodologia em Sala de Aula.

É muito comum, que os cursos de Física em geral, apresentem uma estrutura, de certo modo rígida, condicionada até mesmo pela seqüência em que os assuntos aparecem nos livros didáticos. No curso de Física Térmica, a exemplo disso, inicia-se pelo estudo das escalas termométricas, passando pelo conteúdo de dilatação dos sólidos e líquidos, estudo dos gases perfeitos e quantidade de calor (em alguns casos, invertem-se os dois últimos). As Leis da Termodinâmica, devido à grande quantidade de conteúdos, nem sempre são trabalhadas no Ensino Médio (Silva, 1995).

Sendo assim, é compreensível, que muitos estudantes tivessem dificuldades em elaborar qualquer relação com o conceito de entropia. Surgiu então o nosso desafio: *“que tipo de questões ou situações problematizadoras poderiam ser abordadas a fim de se coletar as idéias dos alunos, sem contudo, esbarrar na exigência de um conhecimento mais aprofundado do assunto?”*

Importante observar que o conceito de entropia aparece inserido numa estrutura que compreende as Leis da Termodinâmica. Estas, por sua vez, são definidas em função de um amplo leque conceitual envolvendo por exemplo, conceitos de calor, temperatura, trabalho, energia, entre outros e que de acordo com as pesquisas relatadas anteriormente no capítulo 3, se destacam pela complexidade de tratamento no ensino formal. Desse modo, nossa preocupação foi centrar o foco das discussões do mini curso na relação existente entre o conceito de entropia e processos irreversíveis que não somente relativos à Física Térmica, mas também, nos fenômenos facilmente encontrados no dia a dia. Com

base nos aspectos descritos, para a nossa tomada de dados, estruturamos o mini curso de forma que o aluno pudesse associar a entropia com o aumento da desordem nos processos espontâneos e irreversíveis presentes de maneira geral no seu cotidiano, fossem os fenômenos mecânicos, físicos, químicos ou biológicos. Decidimos, portanto, partir de situações simples e sobretudo, observáveis, pois entendemos que quando o aluno se aproxima das formas de conhecimento que já vivenciou, é capaz de explicitar mais facilmente suas próprias idéias.

Os termos científicos associados aos fenômenos térmicos foram apresentados em dois textos, tomando-se os devidos cuidados para que não se perdesse de vista o contexto original do conceito de entropia. Sendo assim, tratamos por exemplo, do calor como energia em trânsito, do princípio de conservação de energia, do equilíbrio térmico quando dois corpos atingem a mesma temperatura a partir das trocas de energia em forma de calor do corpo de maior para o de menor temperatura, até chegarmos no ponto em que relacionamos a entropia com a 2ª Lei da Termodinâmica pela definição de Clausius e também com a abordagem microscópica de Boltzmann.

A seguir, de acordo com os aspectos anteriormente citados, estaremos abordando a sistemática seguida durante a aplicação do mini curso em sala de aula.

Vale a pena esclarecer que a intervenção em classe foi realizada pela pesquisadora com o devido consentimento da professora da classe que concordou em ceder as aulas necessárias para o desenvolvimento do mini curso. Sendo assim, para minha maior liberdade na condução do processo como orientadora do mini curso, a professora da sala optou por não participar das aulas.

Num primeiro encontro, através de questionários<sup>15</sup> individuais foram coletadas de forma indireta<sup>16</sup> as concepções que os alunos apresentavam sobre fenômenos associados à entropia. Seis questões investigativas, envolvendo

---

<sup>15</sup> *“Nesse sentido, sem que isso suponha excluir os restantes, os questionários, diagramas e mapas podem ser um recurso útil para explorar os conhecimentos prévios de tipo conceitual [...]”* (Coll, et. al. 1996, p. 74).

<sup>16</sup> Admitimos que o aluno nesse estágio da educação formal, não tenha ainda conhecimento do conceito de entropia, embora possa apresentar noções sobre fenômenos associados, bem como idéias sobre processos reversíveis e irreversíveis.

noções de equilíbrio térmico, processos espontâneos e irreversíveis, com o propósito de levantar as concepções preliminares dos alunos, foram elaboradas. A necessidade de fazer com que os alunos explicitassem essas idéias prévias, se justifica pela importância que essas noções representam como ponto de partida para uma possível produção de conflitos. Por isso, esta fase que estamos considerando aqui deve ser eminentemente individual, para permitir o levantamento de elementos para o trabalho em grupo.

As atividades subseqüentes foram determinadas em parte por esse levantamento inicial das noções dos estudantes e também pelo estudo e discussões dos textos em classe.

Num segundo momento, os alunos trabalharam em pequenos grupos e foram motivados pelo professor a debaterem as questões respondidas por eles no primeiro encontro. Nosso objetivo foi verificar se o grupo entraria em consenso em relação às noções que foram coletadas individualmente na primeira aula. Ao final da atividade, duas questões foram apresentadas com vistas a dar continuidade no debate, de modo que as respostas pudessem compor a noção do grupo.

Quanto à nossa opção pelo trabalho em grupo, podemos dizer que o próprio Piaget (1969) defendia o trabalho em grupo na escola, afirmando que a cooperação entre os indivíduos é *“tão importante para o progresso do conhecimento como a ação dos adultos e que as situações de discussão entre pares, por permitir um verdadeiro intercâmbio de pontos de vista, são insubstituíveis como meio de incentivar a formação do espírito crítico e de um pensamento cada vez mais objetivo”* (Castorina, et. al, 1998, p. 101).

No terceiro encontro, iniciou-se propriamente o mini curso, com a apresentação e discussão simultânea de dois textos sobre irreversibilidade e entropia. Neste momento, o objetivo era apresentar o novo conteúdo a fim de que os estudantes pudessem estabelecer analogias com as experiências que estão presentes no seu repertório. Nesse sentido:

*“Os professores podem apresentar o novo conceito ou informação já elaborado, tal como se quer que os alunos o aprendam, em um texto escrito, ou em uma explicação oral [...] Em qualquer caso, trata-se de ajudá-los no esforço de*

*atribuir significado à nova informação que lhes chega por diferentes meios”* (Coll, et al. 1996, p. 108).

Desse modo, os textos apresentados foram baseados no paradidático “*A Termodinâmica e a invenção das máquinas térmicas*” (Quadros, 1996). Nossa maior preocupação em relação a eles, foi utilizar uma linguagem simples e acessível, procurando no entanto, manter o formalismo aceito cientificamente. Além disso, utilizamos alguns trechos históricos em que os próprios cientistas comentam suas formulações.

O primeiro texto abordou questões sobre processos irreversíveis, transformação e conservação da energia e sua relação com a Primeira Lei da Termodinâmica, processos naturais espontâneos e a Segunda Lei da Termodinâmica. Já o segundo texto, tratou a entropia como sendo uma “medida de desordem” associada aos processos irreversíveis e como essa grandeza se associa à Segunda Lei da Termodinâmica.

Foi possível também chamar a atenção nesses textos, para a necessidade de preservação dos recursos energéticos, uma vez que embora a energia se conservasse, aquela que é convertida em calor, torna-se inaproveitável. No momento em que os estudantes tomam contato com os termos e conceitos científicos que aparecem nos textos, a idéia era que ocorresse uma insatisfação com as noções apresentadas por eles na primeira fase dos trabalhos, pois esta atitude seria indicativa de algum progresso que esses alunos começam a fazer na construção de novas formulações.

Nesses dois encontros, (2 horas/aula no total), a atividade de leitura e discussão dos textos, também ocorreu em pequenos grupos. É importante notar que esses debates não foram deixados “ao acaso” mas ao final de cada leitura, foram propostas duas questões semi-abertas onde os estudantes poderiam, com base na reflexão proporcionada pelos textos, estabelecer pontes entre esses conteúdos e aqueles necessários para se responder às questões sugeridas.

Finalmente, procuramos avaliar individualmente as concepções dos estudantes, mais uma vez, através de questionário semi-estruturado a fim de verificarmos se houve ou não alguma evolução das suas idéias prévias em relação ao conceito de entropia.

Com o intuito de avaliarmos a evolução das concepções dos alunos, organizamos o pós-teste com questões que diferem um pouco na forma daquelas formuladas no pré-teste mas que, em sua essência, tinham o mesmo objetivo de investigar noções acerca do conhecimento da entropia.

Ao professor dentro desta proposta, coube a tarefa de orientador do processo, favorecendo a troca de idéias nos grupos e criando situações conflitantes que permitissem a reflexão dos estudantes. Sobre este aspecto, Astolfi e Peterfavi (1993) entendem que um ensino que permita aos alunos superar os seus obstáculos epistemológicos, não pode estar apoiado em apenas uma atividade pontual e distante da realidade e que também não seja consentida uma flexibilidade extremada, a fim de que não se perdesse de vista, o contexto central dos conteúdos.

## **5.2 – Atividades Realizadas em Sala de Aula:**

As atividades foram preparadas de acordo com os pontos já mencionados anteriormente e serão retomados durante a descrição das mesmas. Desse modo, estaremos, a partir de agora, apresentando os elementos utilizados para a tomada de dados.

### **1ª AULA:**

Iniciamos a primeira aula com a aplicação do questionário (segue abaixo) que levantou as concepções prévias dos estudantes. O roteiro das questões foi por nós elaborado tendo em vista o nosso objetivo de conhecer as noções dos alunos sobre:

1. O sentido em que ocorre um processo espontâneo, através das questões 1, 3 e 5.
2. A impossibilidade de reversão espontânea após a ocorrência de um processo espontâneo, através das questões 2, 4 e 6.

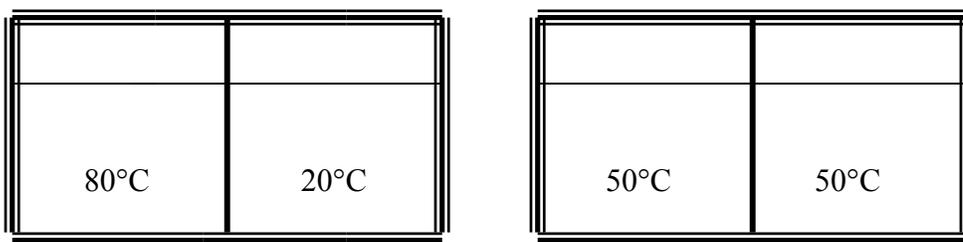
### **QUESTÕES:**

**Este questionário tem o objetivo de entender como você pensa certas idéias. Ele não será usado para avaliação. Procure respondê-lo com**

**suas palavras. Você estará nos ajudando a melhorar o ensino. Muito obrigada!**

**1** – Duas barras de aço a temperaturas diferentes  $20^{\circ}\text{C}$  e  $100^{\circ}\text{C}$ , são colocadas em contato. O que se verifica após certo tempo? Explique.

**2** - Temos duas canecas de alumínio ligadas e revestidas com isopor, uma com 1 litro de água a uma temperatura de  $80^{\circ}\text{C}$  e outra, também com 1 litro de água a uma temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$ . Encostando uma na outra, verifica-se que após certo tempo, ambas encontram-se a uma temperatura média de  $50^{\circ}\text{C}$ .



De acordo com o enunciado acima, você acredita que o processo inverso possa ocorrer espontaneamente, ou seja, que as massas de água, ambas agora a  $50^{\circ}\text{C}$ , voltem às temperaturas que anteriormente eram de  $80^{\circ}\text{C}$  e  $20^{\circ}\text{C}$ ? Justifique.

**3** – Na caixa abaixo, de um lado, há um gás e do outro foi retirado tudo que havia, produzindo vácuo. Se retirarmos a separação, o que irá acontecer com as moléculas do gás? Faça desenhos representativos nos espaços abaixo, mostrando como as partículas do gás estavam antes, imediatamente após termos removido a separação e depois de um minuto. Explique com suas palavras o que significam os seus desenhos.

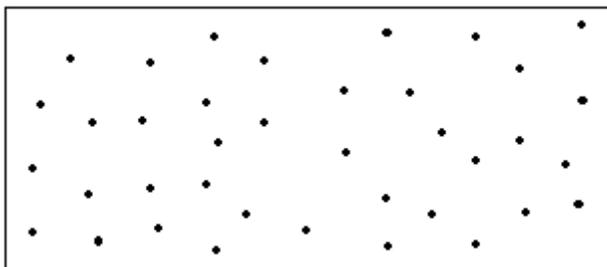


Antes de remover a  
Separação

Imediatamente depois de  
removida a separação

Após 1 minuto

4 – Considerando que as moléculas de um certo gás ocupam todo o volume da caixa abaixo, é possível que elas espontaneamente se concentrem todas de um único lado do recipiente como na situação descrita no item anterior? Explique.



5. Imagine que em um terreno grande, cercado e abandonado, há um monte de areia. Com o passar do tempo, mesmo sem a intervenção de seres humanos ou mesmo de outros animais, o que você espera que aconteça? Explique.

6. Agora imagine a mesma areia espalhada pelo chão. Você acredita que ela poderia vir a ser reunida sem intervenção humana e formar um monte novamente? Explique.

Em sua página inicial, o questionário referente ao pré-teste continha recomendações sobre “a informalidade” com a qual deveria ser respondido. O intuito principal era argumentar sobre a importância das respostas não no que se refere a objeto de “avaliação” ou “prova” na concepção dos estudantes, mas no sentido de fornecer dados que se aproximassem realmente do entendimento dos alunos.

Ainda assim, alguns estudantes estavam muito ansiosos e preocupados em apresentar “respostas corretas”, alegando que “*não se lembravam mais daquele assunto*”. No entanto, mais uma vez foram incentivados pela professora a responder as questões sem se preocuparem com erros ou acertos, mas com base na idéia concebida por eles em cada situação.

A atividade foi realizada individualmente com o intuito de permitir que os estudantes iniciassem um processo de formulação de hipóteses que como já dissemos aqui, deveriam servir como elementos para a etapa seguinte.

**2ª AULA:**

Iniciamos esta segunda aula com a devolução dos pré-testes dos estudantes. Em seguida, foi solicitado que os alunos fossem divididos em pequenos grupos a fim de discutirem as idéias contidas no questionário da aula anterior. Nesse momento, a professora percorreu os grupos ora respondendo as questões solicitadas, quando essas eram importantes para o avanço das discussões, ora devolvendo a mesma pergunta de uma forma mais específica. Para que não perdêssemos de vista o foco das discussões, após alguns minutos de debate, três questões mais específicas sobre processos reversíveis e irreversíveis foram propostas para os grupos.

### **Questões propostas para discussão:**

**1** – Dentre os fenômenos descritos a seguir, existe algum que seja reversível?

- a) Quebra de uma garrafa de vidro vazia.
- b) A mistura de um coquetel.
- c) Pessoa andando em uma esteira de ginástica.
- d) Derretimento de um cubo de gelo num copo de refrigerante.
- e) A queima de um pedaço de lenha.

**2** – Com base na sua experiência cotidiana, dê alguns exemplos de processos irreversíveis que ocorrem na natureza.

**3** – Sua mãe acabou de retirar do forno “quente”, um delicioso bolo de chocolate e o deixou por um tempo sobre a pia. Então você chega na cozinha e nota que o bolo já está frio. Na sua opinião, porque isso acontece?

Para o fechamento da atividade, cada grupo foi solicitado a relatar suas conclusões para toda a classe.

### **3ª AULA:**

Neste momento do curso, passamos à formalização dos conceitos científicos. Para tanto, os alunos fizeram a leitura de dois textos (o primeiro deles, nesta terceira aula) e em grupos, iniciaram as discussões a partir de algumas questões norteadoras que achamos conveniente apresentar ao final de cada texto.

## **TEXTO 1: “PROCESSOS IRREVERSÍVEIS E LEIS DA TERMODINÂMICA”**

Os processos irreversíveis são aqueles que possuem um sentido preferencial no tempo, não havendo meios de serem executados “de trás para frente”. Quando um mergulhador pula em uma piscina, sua energia<sup>17</sup> de movimento (**energia cinética**) é convertida em calor, aquecendo a água. O processo é irreversível, pois o resfriamento da água não é capaz de fazer com que o mergulhador volte ao trampolim. Também é irreversível o resfriamento de uma xícara de café ou a queima de lenha em uma lareira. Seria possível observar a fumaça voltando pela chaminé, enquanto a sala se resfria e a lenha sendo reconstituída a partir das cinzas?

---

<sup>17</sup> Etimologicamente, Energia é um vocábulo formado por *em* (em, dentro) e *ergon* (ação), ou seja, ação interior. Esta palavra aparece pela primeira vez nos escritos de Kepler (1571 – 1630) e somente pouco mais de um século depois é que este conceito aparece associado ao de **trabalho**, o que acontece em 1755 nos trabalhos de Euler (1707 – 1783).

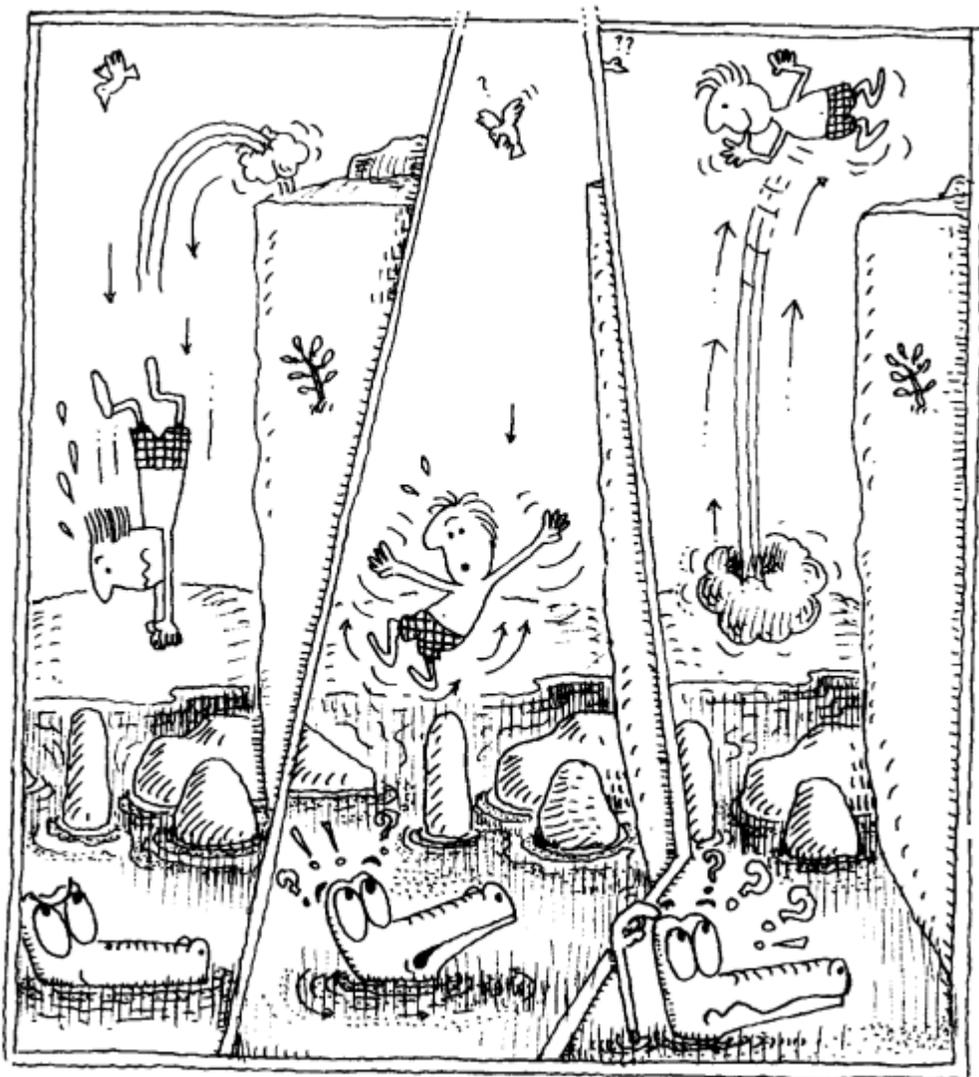


Fig. 1: extraída de Quadros, 1996.

Podemos citar uma série de processos como esses: copos que se quebram ao cair no chão, pilhas de lanterna que se descarregam, gelo que derrete no copo de refrigerante, enfim. E o que todos eles têm em comum? Eles só ocorrem espontaneamente em um sentido.

Estes processos, no entanto, poderiam acontecer nos dois sentidos, sem contrariar a **1ª Lei da Termodinâmica**, isto é, sem violar o princípio da conservação da energia. Este princípio foi enunciado primeiramente por Julius F. Mayer (1814 – 1878) sob a seguinte forma:

*“Quando uma quantidade de energia de qualquer natureza desaparece numa transformação, então produz-se uma quantidade igual em grandeza de uma energia de outra natureza”* (Gilbert, p. 234, 1982).

Se, no processo do movimento mecânico, a energia do corpo diminui devido à ação das forças de atrito (por exemplo, um tijolo deslizando sobre uma superfície), isso ocorre porque esta se transforma em calor; os corpos que se atritam se aquecem. Transforma-se em calor a energia elétrica, a energia da luz, a energia das reações químicas etc. Qualquer forma de energia, no processo de transformação, pode passar através de muitas formas de energia, contudo, o resultado final de todas essas transformações inevitáveis é a energia térmica.

Embora, de acordo com a 1ª Lei, a energia seja conservada enquanto ocorrem as transformações, **ela perde a sua utilidade à medida que o calor se difunde pelo ambiente.**

Voltando ao questionário introdutório deste curso, veja, por exemplo, o caso das canecas com mesmo volume de água: uma certa quantidade de energia térmica (calor<sup>18</sup>) passa da água mais quente (a 80°C), para a outra mais fria (a 20°C) até que ambas se encontrem à mesma temperatura (50°C), isto é, até que atinjam o **equilíbrio térmico**. Como o calor cedido por uma caneca foi recebido pela outra, garante-se aí a conservação da energia. No entanto, não há como reverter espontaneamente esse processo. A energia trocada entre as canecas, na forma de calor, não pode ser colocada em uso novamente, tornando-se irreversível.

A **2ª Lei da Termodinâmica** expressa um sentido para os processos naturais espontâneos. Existem algumas formas diferentes de se enunciar esta Lei e uma delas, apresentada em meados do século XIX, por Rudolf Clausius (1822 – 1888) em um trabalho publicado em 1850, dizia ser impossível haver transferência espontânea de calor de um objeto frio para outro mais quente. Nas palavras do próprio Clausius:

---

<sup>18</sup> Vale lembrar que Calor é energia em trânsito que flui de um corpo para outro devido exclusivamente a uma diferença de temperatura entre eles, sempre no sentido do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura. O fluxo de energia térmica (calor) cessa imediatamente depois de estabelecido o equilíbrio térmico entre os corpos, isto é, até que suas temperaturas tornem-se iguais.

*“O calor não pode nunca passar de um corpo mais frio para um corpo mais quente, sem que ocorram mudanças associadas. Tudo o que sabemos em relação às trocas de calor entre dois corpos de temperaturas diferentes confirma isso, pois o calor em toda parte manifesta uma tendência em igualar diferenças de temperatura e conseqüentemente, em passar numa direção contrária, isto é, do corpo mais quente para o mais frio”* (“From Watt to Clausius”, 1971, apud. Aurani, 1986).

Observe a condição “espontânea”. Em sua geladeira, por exemplo, a todo instante, calor é transferido dos tubos em seu interior (no congelador), à sua vizinhança (cozinha), necessitando para isto que o refrigerador esteja ligado à tomada e funcionando, ou seja, consumindo energia elétrica. Sendo assim, o processo não é espontâneo, mas sim induzido.

Da mesma forma, retornando ao exemplo das canecas com água, ambas a 50°C, seria necessária uma “contribuição externa”, uma “dose de energia” para que estas voltassem à condição inicial de 80°C e 20°C. Uma delas deveria receber energia térmica (calor) de uma fonte externa, enquanto que a outra deveria perder energia térmica até que sua temperatura voltasse a ser 20°C.

Como saber se um processo viola ou não a 2ª Lei da Termodinâmica? Em outras palavras: como decidir se esse processo está na mão certa e é um processo natural ou não? Clausius, em 1865, distinguiu processos *reversíveis* de processos *irreversíveis* e introduziu o conceito de **entropia**: uma grandeza que aumenta com a dissipação e atinge o seu valor máximo, quando todo o potencial de transformação da energia está esgotado. Sendo assim, todo processo que ocorre naturalmente deve ser acompanhado de um aumento de entropia.

#### **Bibliografia do Texto:**

AURANI, K.M. **Ensino de Conceitos: Estudo das Origens da 2ª Lei da Termodinâmica e do Conceito de Entropia a Partir do Século XVIII**. 1986. Dissertação de **Mestrado**. Instituto de Física/Faculdade de Educação da USP.

GILBERT, A. **Origens Históricas da Física Moderna**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1982.

QUADROS, S. **A Termodinâmica e a invenção das Máquinas Térmicas**. São Paulo: E. Scipione, 1996.

A partir da leitura, sugerimos então duas questões que sintetizavam as idéias mais relevantes contidas no texto, no contexto desta pesquisa, tais como o reconhecimento do sentido num processo espontâneo e a total irreversibilidade de determinados fenômenos.

#### **Questões norteadoras das discussões:**

**1** - Sua mãe fez o almoço e o colocou bem “quentinho” à mesa mas como você demorou um tempo para ir até a cozinha e “fazer o seu prato”, ao destampar as panelas, percebeu que os alimentos já estavam frios.

- a) Explique porque isso aconteceu;
- b) Qual o sentido do fluxo de calor neste caso?
- c) Esse processo é reversível espontaneamente, ou seja, é possível que a comida volte à temperatura que estava quando sua mãe a colocou na mesa? Explique.

**2** – Você já deve ter assistido a filmes que contam histórias em que os personagens “voltam no tempo”. Na sua opinião, a “volta no tempo” viola o Segundo Princípio da Termodinâmica? Explique.

#### **4ª AULA:**

A aula iniciou com um breve resgate das discussões feitas na aula anterior e na seqüência dando prosseguimento à etapa de sistematização dos conteúdos, os estudantes passaram à leitura e discussão do segundo texto que apresentou a idéia de entropia numa escala microscópica.

#### **TEXTO 2: “ENTROPIA: A ROTA PARA A DESORDEM”**

Num dos exemplos de processos irreversíveis, citados no texto anterior, vimos o caso de um tijolo que desliza numa superfície com atrito e sua energia cinética converte-se em calor. Com isso, é possível pensar que o movimento inicialmente **ordenado** de suas partículas vai aos poucos sendo

transformado num movimento **caótico**, **desordenado** de suas moléculas constituintes. Essa transição **ordem – desordem** caracteriza todos os processos irreversíveis, e está relacionada ao conceito de entropia. O termo **entropia** é geralmente associado à **desordem** nos processos.

Este é o significado da imperfeição expressa na 2ª Lei da Termodinâmica: a desordem total do Universo sempre aumenta. As campanhas de economia de energia, intensificadas com a crise, não têm sentido quando vistas sob a luz da 1ª Lei da Termodinâmica, pois se a energia total do Universo é sempre constante, porque economizar? A 2ª Lei explica: em um processo irreversível, a energia transformada em calor é irrecuperável espontaneamente.

Para entender melhor a associação do conceito de entropia com a desordem, vamos utilizar um exemplo. Suponha que temos água azul, com tinta e água pura, sem tinta, em um tanque, com uma separação entre elas. Removendo delicadamente a separação, a água vai gradativamente misturando-se e, ao final, temos uma água azulada, com a tinta uniformemente distribuída. Mesmo que observemos a mistura por um longo período de tempo, ela não irá separar-se espontaneamente.

Vamos ver o que ocorreu com as moléculas neste exemplo. Suponha que tenhamos filmado a mistura de água azul e incolor. Passar o filme ao contrário nos remete a uma situação absurda: uma separação espontânea das águas azul e incolor. Dando um *zoom* neste filme, a fim de assistirmos a cada colisão molecular, perceberíamos moléculas de dois tipos, “brancas” e “azuis”, movendo-se aleatoriamente. Passando o filme no sentido correto, vemos, no início, as moléculas distintas separadas, de um lado e do outro. Estão em grande agitação, bilhões e bilhões delas e, após a retirada da separação, vão se misturando aos poucos até que a água esteja azulada, mais ou menos uniformemente.

Concentremos nossa atenção em uma colisão específica: uma molécula azul vem daqui, uma branca vem de lá, chocam-se e tomam direções distintas. Esse pequeno pedaço do filme, exibido ao contrário, vai mostrar moléculas colidindo com seus movimentos invertidos e tudo estará de acordo com as leis da Física. As leis da colisão molecular são reversíveis, mas como é

possível que um processo irreversível (no caso, a mistura das águas de diferentes cores), possa ser decomposto em uma sucessão de processos totalmente reversíveis? Para entender esta questão, devemos imaginar que, se o movimento das moléculas é aleatório, não existe um comportamento preferencial. As moléculas vão colidindo, vindo de quaisquer direções, e após muitas dessas colisões espera-se que fiquem uniformemente distribuídas. O filme visto ao contrário mostra as colisões invertidas, e uma a uma parecem razoáveis. Só que o passar do tempo mostra que vão se separando, brancas de um lado e azuis do outro. O estranho é que as moléculas parecem escolher preferencialmente as colisões que conduzem à separação e, isso, seria como se “uma força superior” selecionasse, dentre as possíveis colisões, aquelas capazes de realizar a separação, ou seja, um processo nada natural. A essência da irreversibilidade é uma tendência natural à desordem.

Poderíamos pensar então, que a diminuição da entropia não é proibida, mas somente pouco provável. Com apenas poucas moléculas, brancas e azuis em uma caixa, não causaria tanta estranheza se, em alguns momentos, ocorresse a separação, mas se o número de moléculas é muito grande, a chance de ocorrer uma separação é nula na prática: pode ser considerada impossível.

Essa desordem molecular foi definida quantitativamente na Termodinâmica Estatística, por Ludwig Boltzmann (1844 – 1906) por volta de 1866. Importante dizer que isso se deve ao fato de que, no final do século XIX, a teoria mecânica do calor recebeu novo impulso com os trabalhos de Maxwell (1831 – 1879) sobre distribuição de velocidade das moléculas de um gás e com os do próprio Boltzmann sobre a introdução da teoria das probabilidades e da entropia no estudo da teoria cinética dos gases.

Maxwell deu uma importante contribuição para a abordagem deste tipo de processo ao descrever o estado de *equilíbrio termodinâmico*: em 1860, ele propôs como resultado geral que, após uma série de colisões, a energia cinética das partículas tende a se equalizar.

Adotando a linha de raciocínio empregada por Clausius e Maxwell, Boltzmann reconheceu que:

*“Como resultado das colisões, muitas moléculas adquirirão maiores velocidades, e outras obterão menores velocidades, até que finalmente é estabelecida uma distribuição de velocidades entre as moléculas, tal que não seja alterada por novas colisões”* (Boltzmann, apud. Pereira Jr., 1997, p. 43).

Desse modo, a *Segunda Lei da Termodinâmica* passa a ter uma interpretação de Boltzmann, como significando que, nos movimentos espontâneos de energia, como por exemplo, a conversão de energia mecânica em calor, ou na refrigeração de corpos aquecidos, as moléculas do sistema envolvido tendiam para uma distribuição aleatória de suas energias. Essa distribuição desordenada, era a mais provável, enquanto que outras mais organizadas, possuíam menor probabilidade de ocorrência. Com isso, Boltzmann concluiu que o crescimento espontâneo da *entropia* de um sistema poderia ser relacionado com o aumento da distribuição ocasional das energias moleculares do mesmo sistema.

A primeira formulação do conceito de entropia, no entanto, não explicitava uma conexão com estados microscópicos. Sua definição era exclusivamente aplicada ao comportamento global ou macroscópico. Como vimos, a entropia de um sistema aumenta quando este recebe calor de sua vizinhança, e sua relação com a escala microscópica foi feita por Boltzmann. Nas palavras do próprio Boltzmann:

*“A relação entre a Segunda Lei da Termodinâmica e a teoria das probabilidades foi inicialmente mostrada quando eu provei que uma demonstração analítica desta Lei pode ser fundamentada apenas a partir da teoria das probabilidades. [...] podemos calcular o estado de equilíbrio investigando a probabilidade de diferentes possíveis estados do sistema. O estado inicial será, na maioria dos casos, muito improvável e, a partir dele, o sistema irá evoluir em direção a estados mais prováveis, isto é, ao estado de equilíbrio do calor. Se aplicarmos isto na Segunda Lei, podemos relacionar a quantidade que comumente designamos como entropia com a propriedade do estado atual. Pensando num sistema isolado de corpos que não troca energia com o meio externo, por exemplo, um corpo de alta temperatura e outro de baixa temperatura, colocados em contato e isolados do exterior, permitindo-se a troca de calor somente entre eles (...) O sistema de corpos que pensamos, pode ter no início*

*qualquer estado; através da troca entre os corpos, este estado muda; de acordo com a Segunda Lei esta mudança deve sempre ocorrer de modo que a entropia de todos os corpos aumente cada vez mais; o sistema de corpos caminhará de um estado mais improvável, para um estado mais provável”* (Magie, 1935).

O grande trabalho de Boltzmann foi mostrar que as duas definições, aparentemente distintas, são equivalentes. Quando um sistema recebe calor, aumenta a agitação de suas partes constituintes e conseqüentemente aumenta sua desordem microscópica.

### **Bibliografia do Texto:**

MAGIE, W.F. **A Source Book in Physics**. New York: McGraw-Hill Book Co., Inc., 1935.

PEREIRA JR., A. **Irreversibilidade física e ordem temporal na tradição Boltzmaniana**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1997.

QUADROS, S. **A Termodinâmica e a invenção das Máquinas Térmicas**. São Paulo: E. Scipione, 1996.

Procuramos apoiar os debates relativos ao texto através de duas questões com a finalidade de que os alunos refletissem sobre a irreversibilidade espontânea da energia térmica e sobre a relação existente entre irreversibilidade e desordem.

### **Questões norteadoras das discussões:**

- 1** – Se, de acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica, a energia total do Universo se conserva, explique porque são feitas campanhas de racionamento<sup>19</sup>.
- 2** - Imagine um mundo onde os processos naturais tendessem a um estado de maior organização. Suponhamos: se você deixasse seu quarto bagunçado pela manhã e à noite o encontrasse organizado; atirando para o ar um punhado de pedras, estas cairiam formando um montinho, ao invés de ficarem espalhadas. Como seria viver nesse mundo? Dê um exemplo.

---

<sup>19</sup> Vale lembrar que, no momento em que o mini curso foi desenvolvido com os estudantes, as campanhas de racionamento de energia estavam em voga, de modo que, achamos pertinente associarmos nosso tema ao contexto da época.

Vale lembrar que durante a 3ª e a 4ª aula, da mesma forma que na 2ª aula, estivemos percorrendo os grupos, procurando estimular o debate e orientando as discussões.

Foi solicitado que os grupos entregassem por escrito todas as suas respostas. Ao final de cada uma dessas aulas, os grupos brevemente em função do pouco tempo, relataram suas conclusões para toda a classe.

### **5ª AULA:**

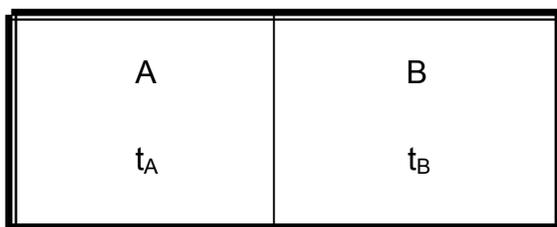
Esta última aula aconteceu um pouco fora do que fora previsto inicialmente, pois no dia programado para ela, os alunos se dirigiram para o ginásio esportivo da escola a fim de assistirem a um jogo de final de campeonato de futebol. Para não perdermos esses dados, acabamos combinando a aula para a semana seguinte.

Procedendo de forma análoga à primeira aula do mini curso, os alunos foram solicitados a responder individualmente o questionário que segue abaixo, com vistas a avaliar uma possível evolução das concepções que estes apresentaram no primeiro momento do curso. Esse pós-teste foi, da mesma maneira que o pré-teste, elaborado de modo que pudéssemos perceber que noções os estudantes iriam apresentar sobre processos espontâneos, processos reversíveis através de uma ação, processos totalmente irreversíveis e especialmente aqui, que tipo de relações estabeleceriam entre esses fenômenos e o conceito de entropia.

### **Questões Finais:**

**1** – Temos duas barras de ferro: uma a 20°C e a outra a 70°C. Sabendo-se que essas barras são colocadas em contato, o que se verifica após certo tempo? Explique.

**2** – Considere o seguinte sistema, formado por dois corpos A e B que se encontram a diferentes temperaturas. O sistema está isolado (não há trocas entre os corpos com o ambiente externo).



Dado que a temperatura do corpo B é maior que a do corpo A, ( $t_B > t_A$ ), indique na figura o sentido do fluxo de calor trocado entre esses dois corpos.

**3** – Considere as seguintes situações:

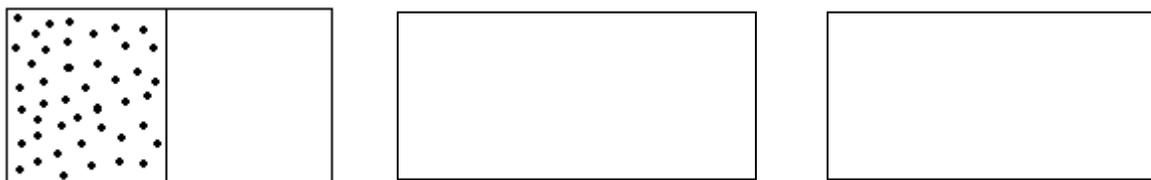
- a) Sorvete derretendo;
- b) A coca-cola que fica choca;
- c) Uma vela que derrete;
- d) Um homem envelhecendo;
- e) Uma planta crescendo;
- f) Café esfriando na xícara.

**A** – Podemos afirmar que os exemplos acima citados, tratam de processos irreversíveis?

**B** – Das situações anteriormente descritas, quais representam fenômenos que podem ser revertidos através de uma ação? Qual tipo de ação? Explique.

**C** – Quais representam fenômenos totalmente irreversíveis?

**4** – Na caixa abaixo, de um lado, há um gás e, do outro, foi retirado tudo que havia, produzindo vácuo. Se retirarmos a separação, o que irá acontecer com as moléculas do gás? Faça desenhos representativos nos espaços abaixo, mostrando como as partículas do gás estavam antes, imediatamente após termos removido a separação e depois de um minuto. Explique com suas palavras o que significam os seus desenhos.



Antes de remover a  
Separação

Imediatamente depois de  
removida a separação

Após 1 minuto

**5** – Seu quarto, hoje, passou por uma faxina geral: além de limpo, os objetos estão todos em seus devidos lugares. Levando-se em consideração que somente daqui a uma semana, ele será arrumado novamente, imagine-se tirando uma fotografia dele por dia, durante estes próximos sete dias.

- a) O que você provavelmente irá notar ao final desses sete dias?
- b) Podemos dizer neste caso que a entropia do *sistema quarto* aumentou? Explique.
- c) Considerando que as modificações ocorridas em seu quarto, não foram abruptas, mas gradativas ao longo desses sete dias, é possível afirmar que a medida da entropia nos três primeiros dias foi menor que no decorso de uma semana inteira? Justifique sua resposta.

Em pesquisas de aprendizagem, é comum que as questões de pré e pós-teste sejam idênticas (Silva, 1990). No entanto, optamos por fazer algumas modificações, em primeiro lugar, pela proximidade com que esses testes foram realizados e também porque julgamos conveniente abordar mais diretamente a relação do conceito de entropia com o aumento da desordem em processos espontâneos (questão 5). Somente assim, seria possível averiguar se os alunos estabelecem as devidas associações do conceito ao contexto em questão.

## **6 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS OBTIDOS**

Neste capítulo, estaremos apresentando os dados obtidos através da intervenção realizada em sala de aula, ou seja, do desenvolvimento do mini curso e suas discussões.

Para tal, organizamos a apresentação em função de uma seqüência que nos pareceu adequada. Assim, iniciamos o sub-tópico 6.1, falando sobre os sujeitos desta pesquisa e principalmente, que critérios utilizamos para a sua escolha. Na seqüência, (sub-tópico 6.2) tratamos a forma como foram concebidas as categorias de análise de dados para podermos finalmente a partir do sub-tópico 6.2.1 fazer a apresentação dos dados e análise do pré-teste. Fizemos também uma rápida discussão acerca dos momentos intermediários à coleta do pré e pós-teste em 6.2.2 e finalizamos o capítulo com a apresentação dos resultados e análise do pós-teste no sub-tópico 6.2.3.

### **6.1 – Descrição da Amostra:**

Para a nossa tomada de dados, estabelecemos um contato inicial com a escola cerca de dois meses antes do início dos trabalhos. Pretendíamos aplicar o mini curso logo no começo do último bimestre de 2002 a fim de que pudéssemos garantir a presença se não de todos, mas da maior parte dos estudantes. No entanto, a professora da classe justificou que estaria com problemas na agenda em decorrência da grande quantidade de feriados no terceiro bimestre, ficando impossibilitada de ministrar as aulas previstas para este grupo de alunos e por isso, autorizou que a nossa intervenção ficasse somente para o final do bimestre, ao que concordamos.

Iniciamos o trabalho em sala de aula aplicando o mini curso para um grupo de 29 alunos da 2ª série do Ensino Médio de uma Escola Estadual da Cidade de Campinas.

Optamos por trabalhar com estudantes do 2º ano do Ensino Médio, por entendermos que neste estágio, seria muito provável que estes já tivessem algumas noções a respeito dos conceitos de Física Térmica, uma vez que, de maneira geral, fazem parte do currículo para esta série.

Nosso objetivo inicial era acompanhar todos os alunos regularmente matriculados nesta classe, mas durante o desenvolvimento do trabalho, nos deparamos com alguns obstáculos que nos impossibilitou de realizarmos o que exatamente pretendíamos. Com a proximidade do final do bimestre e do ano, uma parte dos estudantes estava envolvida com avaliações de diversas disciplinas o que fez com que parte desses alunos optassem por ficar fora da sala de aula, em alguns períodos coincidentes com as nossas aulas.

Além da *prova*, alguns estudantes, que já haviam “fechado as notas”, deixaram de freqüentar as aulas; outros ainda, estavam participando de um campeonato de futebol de salão e quando não estavam jogando, permaneciam treinando na quadra da escola. Essa seqüência de fatores, fez com que nossa amostra ficasse reduzida a 10 estudantes, que efetivamente estiveram presentes em todos os momentos do mini curso, ou seja, nas 5 aulas programadas.

Os alunos participantes estudavam no período vespertino e situavam-se na faixa etária de 15 – 16 anos. Provenientes de distintos bairros da cidade eram em geral estudantes de classe média baixa não apresentando nenhuma característica marcante de comportamento.

## **6.2 – As Categorias de Análise**

Nesta etapa de análise objetivamos estabelecer uma comparação entre o pré e o pós-teste com o intuito de verificar se a ação pedagógica proposta foi capaz de conduzir os estudantes a uma aprendizagem significativa. Para tanto, analisamos conjuntamente as respostas dos alunos e para elas, estabelecemos categorias. Segundo Bardin (1977),

*“Classificar elementos em categorias, impõe a investigação do que cada um deles tem em comum com os outros. O que vai permitir o seu agrupamento, é a parte comum existente entre eles”.*

Decidimos criar um conjunto de categorias hierárquicas em função do nível de elaboração das respostas apresentadas pelos estudantes do nível de respostas conceitualmente menos elaboradas para o nível mais elaborado. Essa hierarquização foi inspirada no modelo utilizado por outros pesquisadores da área de ensino de Ciências, tais como Teixeira (1992) e Silva (1995)<sup>20</sup>, e permite compor um panorama geral dos acontecimentos no sentido de perceber a evolução individual de cada estudante.

Nesse processo, as categorias não foram inicialmente definidas mas, elaboradas a partir de um referencial interno após a leitura e análise prévia do material referente ao pré-teste e ao pós-teste (procedimento por “milha”)<sup>21</sup> dos 10 estudantes que compuseram a nossa amostra. Desse modo, identificamos três categorias resultantes do exame feito nas seis questões que constituíram o pré-teste e quatro categorias criadas de forma análoga em relação às questões do pós-teste.

### **6.2.1 – Classificando os Alunos em Categorias no Pré-teste**

É importante mais uma vez esclarecer que estas categorias, foram elaboradas levando-se em conta a sua pertinência dentro da nossa pesquisa, ou seja, a partir de uma análise prévia das respostas dos estudantes e adaptadas às intenções desta investigação.

Após a leitura exaustiva do material, vimos que seria possível conhecer através do pré-teste, as noções dos alunos no que se refere à assimetria na direção dos processos naturais e ao reconhecimento de processos irreversíveis espontaneamente. Com isso, dividimos o pré-teste em dois grupos de análise: as

---

<sup>20</sup> Em seu trabalho, Teixeira (1992) classificou as respostas escritas dos estudantes em relação à diferenciação dos conceitos de calor e temperatura em dois momentos de um curso de Física Térmica (pré e pós-teste). Já Silva (1995), utilizou modelo análogo em uma intervenção que objetivou conhecer as trajetórias cognitivas de estudantes do Ensino Médio na diferenciação dos conceitos de calor e temperatura, não se concentrando contudo, em apenas dois momentos, mas durante todo o transcorrer do curso.

<sup>21</sup> Bardin (1997), esclarece que a categorização pode empregar dois processos inversos: o procedimento por “caixas”, onde a partir de um sistema de categorias, repartem-se da melhor maneira possível os elementos à medida em que são encontrados ou ainda o procedimento por “milha”, em que o sistema de categorias não é fornecido, mas sim resultado da classificação progressiva dos elementos e definido no final da operação.

questões 1, 3 e 5, (respectivamente correspondentes ao caso das barras a diferentes temperaturas, do gás confinado num dos lados da caixa e finalmente a questão do monte de areia), deveriam levantar concepções sobre o **sentido dos processos espontâneos** e as questões 2, 4 e 6 (canecas com água, gás difundido por todo o volume de uma caixa e areia espalhada pelo terreno), deveriam revelar a **compreensão dos alunos acerca dos fenômenos irreversíveis espontaneamente**.

Passaremos então, à apresentação das três categorias de respostas definidas no pré-teste. Atribuímos a nomenclatura A, B e C às categorias de modo que pelo esquema de hierarquização anteriormente mencionado, a categoria C corresponde ao maior nível de elaboração das respostas enquanto que a categoria A representa o menor nível.

#### **CATEGORIA A**

Incluímos nesta categoria as respostas de modo geral incoerentes, sem justificativas e carregadas de impressões do senso comum.

#### **CATEGORIA B**

Agrupamos aqui, os estudantes que apresentaram algumas respostas indicativas de suas noções corretas, porém imprecisas acerca do sentido na ocorrência de um processo natural espontâneo mas que não reconhecem os processos reversíveis através de uma ação; ou ainda, aqueles que reconhecem a reversibilidade de alguns processos através de uma ação mas não distinguem o sentido em que ocorre um fenômeno espontâneo.

#### **CATEGORIA C**

As respostas agrupadas nesta categoria, embora apresentem indícios de concepções do senso comum, assim como nas categorias anteriores, são as mais elaboradas e incluem noção de sentido correto em processos naturais espontâneos bem como o reconhecimento de fenômenos passíveis de reversão por um caminho não natural.

Para facilitar a compreensão do leitor, estaremos na seqüência, apresentando exemplos de respostas dos estudantes já classificados por

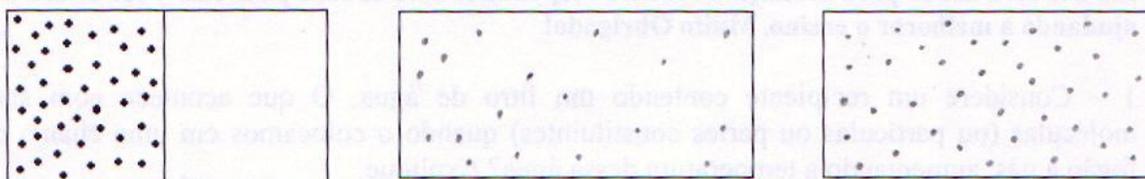
categorias e procedendo à análise ao mesmo tempo. As respostas utilizadas como exemplos ilustrativos de cada categoria foram transcritas em sua totalidade e os nomes dos estudantes, foram trocados a fim de que fosse preservada a individualidade dos mesmos. Para uma maior veracidade dos relatos, não se corrigiu nenhum tipo de erro de linguagem ou de expressão eventualmente cometidos, mantendo-se a forma original.

## CATEGORIA A

Nesta categoria, classificamos **3** estudantes da nossa amostra: **Alex, Regina e Cilene**. Quando indagados sobre o **sentido nos processos espontâneos** reportando-nos às questões 1, 3 e 5 do pré-teste ou ainda respectivamente, caso das barras a diferentes temperaturas, gás confinado e monte de areia no terreno, algumas respostas desses estudantes foram:

**Regina - (Questão 1):** “Acho que as barras de aço devem sofrer transformações, pois as temperaturas estão bem diferentes”.

**(Questão 3):** “As partículas estavam bem unidas; as partículas estão meio separadas, caminhando para uma nova junção; as partículas voltam a se juntar, tomando conta da caixa”.

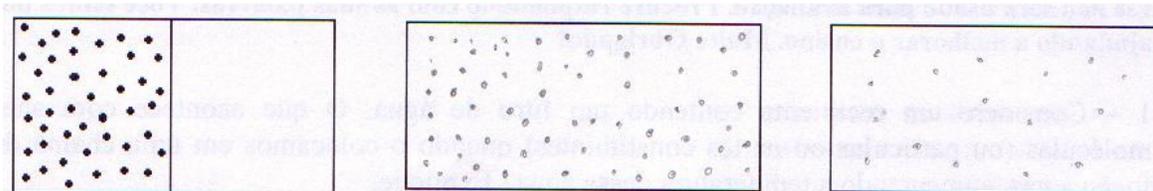


**Fig. 1:** Esquema do comportamento das moléculas do gás – aluna Regina.

**(Questão 5):** “Penso que o terreno sendo grande, cercado e abandonado, sem a intervenção de seres humanos ou de outros animais, continuará intacto com o passar do tempo, apenas mudará algumas aparentes características”.

**Cilene – (Questão 1):** “Elas (as barras) entortam, pois a diferença de temperatura entre elas causa um choque térmico”.

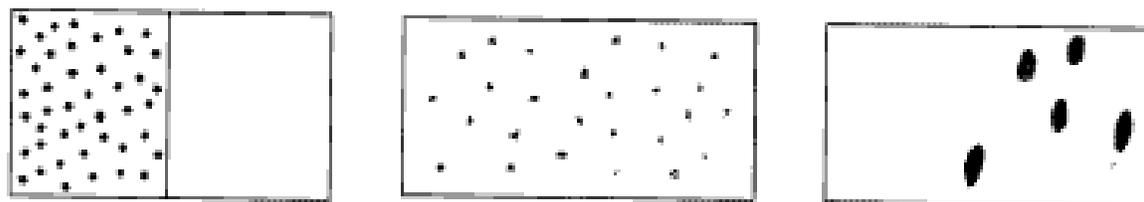
**(Questão 3):** “O gás se espalha por todo o recipiente (imediatamente após a retirada da separação); ao entrar em contato com o ar (refere-se 1 minuto após) o gás diminui”.



**Fig. 2:** Esquema do comportamento das moléculas do gás – aluna Cilene.

**Alex – (Questão 1):** “As duas barras irão ter a mesma temperatura após um tempo”.

**(Questão 3):** “Essas partículas (no caso do gás confinado) irão se juntar e ficarão em tipo de um montinho”.



**Fig. 3:** Esquema do comportamento das moléculas do gás – Aluno Alex.

De um modo geral, vê-se que esses alunos apresentam respostas relacionadas ao senso comum no que se refere ao sentido dos processos espontâneos.

Para estes estudantes, o terreno permanece intacto quando não há intervenção física humana ou animal, mas não consideram a ação projetada em entidades (Ferracioli, 2000), como por exemplo, intempéries.

Além disso, não reconhecem a transferência de energia em forma de calor (não fazem menção a essa troca de energia, nem utilizam o termo calor) de uma barra para a outra seguida do equilíbrio térmico entre elas (embora o estudante Alex, no nosso entender, de forma intuitiva, revela que as barras após certo tempo deverão apresentar temperaturas iguais), mas em geral, recorrem a explicações associadas a modificações físicas nas barras, considerando a

diferença de temperatura entre elas, ou ainda, o “choque térmico” neste caso capaz de provocar essas alterações físicas nas barras.

No que se refere à evolução do fenômeno em que a passagem de um gás inicialmente confinado em um dos lados de uma caixa é liberada, por vezes, o processo de espalhamento das moléculas do gás ocorre instantaneamente na concepção dos alunos (as moléculas, imediatamente após a remoção da separação, se dissipam pela caixa e sofrem alterações físicas após certo tempo) e não de forma gradativa.

Exemplos de respostas que revelam **noções sobre processos irreversíveis espontaneamente**, no caso das canecas de água, gás difundido por todo volume de uma caixa e areia espalhada pelo terreno:

**Alex – (Questão 2):** “Não, pois as duas (referindo-se às canecas com água após o equilíbrio térmico) sempre estarão a mesma temperatura mesmo ela subindo ou diminuindo”.

**(Questão 4):** “Sim” (referindo-se à possibilidade das moléculas do gás voltarem a se concentrar espontaneamente em um dos lados do recipiente).

**(Questão 6):** “Sim, o vento poderá levar a areia e encurralar essa areia pelo chão, fazendo um monte de areia”.

**Regina – (Questão 2):** “Não, pois acho que a temperatura tende a cair e não a voltar a temperatura anterior” (referindo-se às canecas com água).

**(Questão 6):** “Acredito que sim, pois ela poderá ser levada através do vento em um certo canto, podendo assim unir-se novamente, formando um novo monte de areia”.

**Cilene – (Questão 2):** “Não, pois antes uma estava quente e a outra fria (no caso das canecas com água); ao entrarem em contato a que estava fria fez com que a quente esfriasse e vice-versa; Se fizesse o inverso não alterariam pois as temperaturas de ambas estariam iguais e não seria possível esfriar ou esquentar”.

**(Questão 4):** “Sim, (referindo-se à possibilidade de que as moléculas espalhadas pela caixa, voltem espontaneamente para um dos cantos) elas podem se concentrar na parede da caixa depois de um tempo em contato com o ar”.

De acordo com as respostas aqui exemplificadas, fica claro que embora os estudantes concordem que não seja possível reverter espontaneamente a temperatura de cada uma das canecas com água, não apresentam explicações condizentes para que isso seja viabilizado de outra forma (sendo este processo reversível a partir de novas trocas de calor).

A aluna Cilene revela indícios do modelo substancialista do calor, bem como o desconhecimento do sentido do fluxo de calor, ao afirmar que, ao entrarem em contato, “a que estava fria (referindo-se à caneca com água) fez com que a quente esfriasse e vice-versa”.

Com relação a este último raciocínio, Vosniadou (1994) explica que os modelos criados pelos alunos ao interpretarem suas observações sustentam-se em pressupostos ontológicos e epistemológicos. No caso dos fenômenos térmicos, as teorias de domínio dos estudantes sustentam-se, do ponto de vista ontológico, na crença de que os objetos têm propriedades e de que calor e frio são propriedades dos objetos. No que diz respeito à visão epistemológica, derivam da convicção de que as coisas são como aparentam ser e que algo existe apenas se é detectável por nossos sentidos. Sendo assim, a aluna concebe que essa transferência (de calor) pode ocorrer nos dois sentidos, ou seja, tanto da caneca quente para a fria, quanto da caneca mais fria para a quente. Isso evidencia sua noção de que os corpos podem também emitir calor frio, já que a caneca fria, é capaz de esfriar a que estava quente. Essa interpretação pode lhe parecer plausível, pois não compromete “os efeitos observáveis”, ou seja, o resultado final de qualquer forma, continua sendo o equilíbrio térmico atingido pelas duas canecas.

Alguns estudantes entendem que as moléculas do gás que se encontram espalhadas pela caixa na questão 4, podem espontaneamente, voltar a se concentrar novamente num dos cantos do recipiente e que a areia espalhada no terreno seja capaz de se reunir num monte através da ação dos ventos. Sendo

assim, percebemos na grande parte das respostas dos alunos aqui classificados, a predominância apenas de elementos de interpretação cotidiana do senso comum e de caracterização dos observáveis macroscópicos.

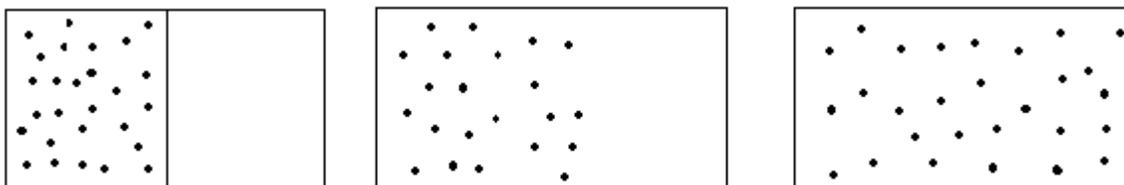
## CATEGORIA B

Aqui, identificamos 6 estudantes: **Anne, Héliida, Joseane, Sheila, Laís e Hudson**. Inicialmente, mais uma vez faremos menção às respostas destes alunos, quando indagados sobre o **sentido nos processos** no caso das barras a diferentes temperaturas, do gás confinado e do monte de areia:

**Anne – (Questão 1):** “A barra que estiver quente passará energia para a barra fria em forma de calor”.

**(Questão 5):** “O monte de areia se espalha sozinho, com o vento ou com as chuvas”.

**Héliida – (Questão 3):** “As moléculas (referindo-se às moléculas que se espalham gradativamente pela caixa) vão se separando e depois de algum tempo – um minuto – elas já estarão separadas e (...) tomaram todo o espaço aos poucos.”



**Fig. 4** – Esquema do comportamento das moléculas do gás – Aluna Héliida.

**(Questão 5):** “Essa areia poderá se ‘dissolver’ aos poucos e ficar espalhada por todo o terreno, pois poderá ter chovido ou mesmo ventado”.

**Joseane – (Questão 1):** “Eu acho que as duas barras irão se juntar por causa da temperatura”.

**(Questão 3)** “Antes de haver a separação (gás confinado em um lado da caixa) elas estão todas juntas e depois de removida a separação há poucas partículas e após um minuto estão todas espalhadas”.

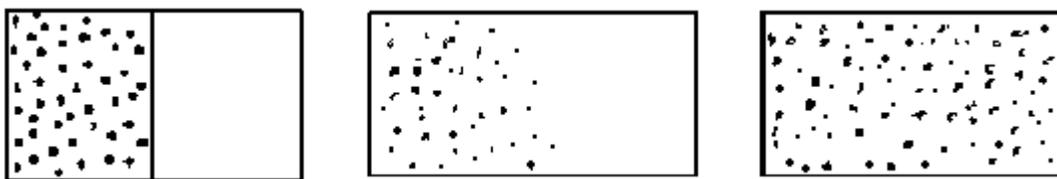


Fig. 5 - Esquema do comportamento das moléculas do gás – Aluna Joseane.

**Hudson – (Questão 1):** “Verifica que a de temperatura de  $100^{\circ}\text{C}$  (referindo-se a uma das barras) começa a passar o calor para a de temperatura de  $20^{\circ}\text{C}$  (referindo-se à outra barra), pois a de  $100^{\circ}\text{C}$  é mais quente que a de  $20^{\circ}\text{C}$ ”.

**(Questão 5):** “Começa a crescer mato (no caso do terreno com o monte de areia), o vento começa a espalhar a areia”.

**Laís – (Questão 1):** “Que a barra de  $100^{\circ}\text{C}$  aqueceu a de  $20^{\circ}\text{C}$  e ambas alcançarão a mesma temperatura”.

**(Questão 5):** “Esse monte (de areia) poderá ser desfeito pelas rajadas de ventos”.

**Sheila – (Questão 1):** “Elas (as barras) irão fundir-se por causa da diferença de temperatura”.

**(Questão 3):** “Eu acredito que imediatamente as partículas (no caso do gás confinado) irão ficar menos concentradas e depois elas se dispersam por todo o recipiente”.

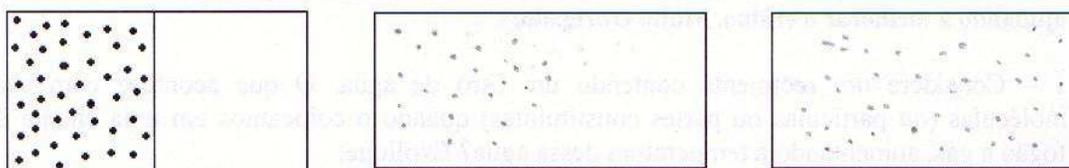


Fig. 5: Esquema do comportamento das moléculas do gás – aluna Sheila.

**(Questão 5):** “Esse monte de areia vai se espalhando com a ação da chuva e ventos”.

As respostas apresentadas anteriormente indicam que, de modo geral, os estudantes possuem noções um pouco mais elaboradas que os estudantes classificados na categoria A, em relação ao sentido em que ocorrem os fenômenos naturais espontâneos.

É possível notar por exemplo, que embora algumas noções sejam ainda bastante espontâneas quanto ao comportamento das barras que se encontram inicialmente a diferentes temperaturas quando são colocadas em contato (Joseane e Sheila, que atribuem modificações físicas nas barras), há outras que apesar de também utilizarem elementos substancialistas e características macroscópicas, explicam “de maneira mais plausível” a transferência de calor da barra mais quente para a mais fria (Hudson e Laís) e uma última concepção que faz referência ao calor como sendo uma forma de energia (Anne).

No caso da areia amontoadada, pelos exemplos de respostas, verificamos que o processo natural para esses indivíduos é o espalhamento da areia por todo o terreno justificado pelas intempéries sendo desnecessária a intervenção humana no processo para que ele ocorra. Essa concepção de sentido no fenômeno espontâneo, também aparece de forma mais elaborada na questão do gás inicialmente confinado que a partir da remoção da separação, flui gradativamente até ocupar todo o volume do recipiente.

A seguir passaremos aos exemplos de respostas que revelam **noções sobre processos irreversíveis espontaneamente**, no caso das canecas de água, gás difundido por todo volume de uma caixa e areia espalhada pelo terreno:

**Anne – (Questão 2):** “Não, acho que as temperaturas tendem a cair” (referindo-se às canecas com água).

**(Questão 6):** “Não, (referindo-se à areia espalhada pelo terreno) porque ela está espalhada por todo o terreno e não só num ponto”.

**Hélida – (Questão 4):** “Sim, pois elas podem se movimentar e se agrupar em um único espaço” (no caso da possibilidade do gás espalhado por

todo o volume da caixa espontaneamente voltar a se concentrar em um único lado do recipiente).

**(Questão 6):** “Não, pois o tempo pode não ajudar, principalmente se estiver ventando” (argumentando sobre a impossibilidade de que a areia espalhada pelo terreno, volte a ser reunida sem intervenção humana).

**Joseane – (Questão 4):** “Não, não é possível porque já houve a remoção da separação” (referindo-se ao gás espalhado pela caixa).

**(Questão 6):** “Não, pois sem a intervenção humana será impossível reuni-las novamente” (areia espalhada pelo terreno).

**Hudson – (Questão 2):** “Não. Porque se a temperatura modificou por causa de um certo elemento, ela não voltará à mesma temperatura” (respondendo negativamente à possibilidade das canecas com água agora em equilíbrio térmico voltarem espontaneamente às temperaturas iniciais de 80°C e 20°C).

**(Questão 4):** “Não. Conforme vai passando o tempo, as moléculas vão se separando ainda mais e não vão para um lado, vão se espalhando” (no caso do gás espalhado pela caixa).

**Laís – (Questão 2):** “Eu acho que automaticamente não. Precisar ser aquecido novamente” (canecas de água).

**(Questão 6):** “Sim, com a ajuda do vento, ela poderá ser espalhada e logo ajuntada novamente” (referindo-se à areia espalhada pelo terreno).

**Sheila – (Questão 2):** Referindo-se às canecas com água – “Acredito que não porque elas estabilizaram nesta temperatura; seria difícil voltar à temperatura anterior, a menos que uma delas fosse aquecida novamente”.

**(Questão 4):** “Não. Porque elas só irão se concentrar (moléculas do gás espalhado) caso seja aplicada a elas alguma ação”.

Quanto às noções levantadas acerca dos processos irreversíveis espontaneamente, observamos de maneira geral, uma predominância de elementos de interpretação cotidiana. As respostas por vezes apresentam a forma correta sem contudo, virem acompanhadas de justificativas que as corroborem.

Na questão referente às canecas com água, por exemplo, notamos que embora haja uma concordância sobre a irreversibilidade espontânea no processo, ela muitas vezes, aparece de forma intuitiva: *“acho que as temperaturas tendem a cair”*; *“(...) porque elas estabilizaram esta temperatura; seria difícil voltar à temperatura anterior”*. Outras respostas “arriscam” uma argumentação vaga: *“um certo elemento”* capaz de alterar a temperatura das canecas (na resposta de Hudson) e na necessidade de *“ser aquecido novamente”* na concepção de Juliana, e que, portanto, não contemplam um modelo explicativo consistente.

Situação semelhante acontece nas respostas envolvendo a questão da areia espalhada no terreno e do gás que ocupa todo o volume da caixa. Exceto pela aluna Héliida, que diz acreditar que as moléculas do gás são capazes de *“voltar espontaneamente”* a se concentrar em um único lado do recipiente, os demais estudantes concordam que há irreversibilidade espontânea do processo mas não apresentam justificativas para suas respostas.

De acordo com a análise anterior, é importante reafirmar que apesar de verificarmos indícios de concepções cotidianas, as respostas aqui consideradas, são qualitativamente melhores que aquelas classificadas na categoria A.

Dos seis alunos classificados nesta categoria, pudemos observar que quatro deles (Anne, Héliida, Laís e Hudson), de certo modo, apresentaram noções relativamente coerentes em relação ao sentido em que se processa um fenômeno natural espontâneo. Contudo, esses mesmos estudantes tiveram dificuldades de apresentar argumentos consistentes que corroborassem suas noções a respeito de processos irreversíveis espontaneamente.

Por outro lado, ainda que de forma intuitiva às vezes, esses alunos reconhecem a irreversibilidade espontânea de alguns processos.

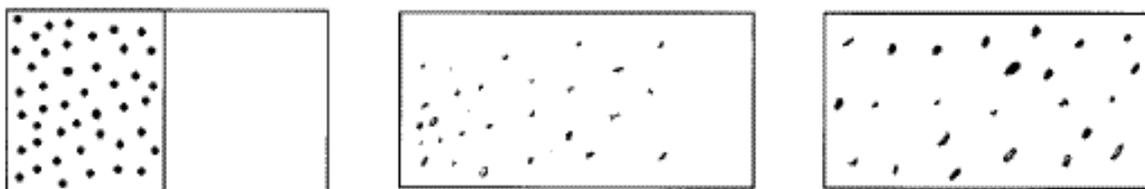
Situação análoga à relatada anteriormente ocorre com as estudantes Joseane e Sheila: apresentam uma idéia intuitiva sobre a irreversibilidade espontânea dos fenômenos (já que suas respostas carecem de justificativa plausível). No que se refere à noção de sentido dos processos naturais, apresentam concepções difusas: enquanto julgam acertadamente que as moléculas do gás preenchem gradativamente toda a caixa aumentando a dispersão do sistema, não fazem referência à transferência de calor entre as barras de ferro no sentido da barra “mais quente” para a “mais fria”, elaborando um modelo alternativo que prevê transformações físicas nas barras durante o contato entre elas.

### CATEGORIA C

Encontramos nesta categoria apenas 1 estudante – **Thomaz**. Seguindo o mesmo padrão de análise, quando indagado sobre o **sentido nos processos** no caso das barras a diferentes temperaturas, do gás confinado e do monte de areia, algumas das respostas foram:

**Thomaz – (Questão 1):** “Após certo tempo, as barras entram em equilíbrio térmico, ou seja, a mais quente transmite calor ao mais frio até que se encontrem em temperaturas iguais” (referindo-se às barras após certo tempo em contato).

**(Questão 3):** “Logo após a separação (refere-se à remoção da separação que confinava o gás num único lado da caixa) os espaços serão levemente preenchidos; após um minuto todo o espaço terá sido preenchido”.



**Fig. 6:** Esquema do comportamento das moléculas do gás – Aluno Thomaz

**(Questão 5):** “A areia se espalhará com a ação das chuvas e ventos”.

O aluno apresenta noções corretas do sentido em que ocorrem os fenômenos naturais. Reconhece a transferência de calor do corpo de maior para o de menor temperatura, ainda que fazendo uso do modelo macroscópico e intuitivamente adota que o sentido desses processos se dá para o estado de maior desordem nos sistemas, considerando as moléculas do gás que progressivamente ocupam todo o volume da caixa e o monte de areia que se desfaz.

Já no caso das respostas que revelam **noções sobre processos irreversíveis espontaneamente**, (canecas de água, gás difundido por todo volume de uma caixa e areia espalhada pelo terreno), alguns exemplos são:

**Thomaz – (Questão 2):** “Não. Só voltarão a ter as temperaturas iniciais ao meu ver, se forem separadas e uma delas for aquecida novamente” (no caso das canecas com água).

**(Questão 4):** “Não. Apenas se alguma pressão for feita dentro da caixa” (moléculas do gás na caixa).

**(Questão 6):** “Acredito que não. Somente a ação do homem poderia reunir a areia formando um monte” (areia espalhada pelo terreno).

Aqui, o aluno entende corretamente que, a reversão de todos esses processos está condicionada ao estabelecimento de ações específicas que envolvem um novo consumo de energia: aquecimento de uma das canecas com água, “pressão dentro da caixa” e finalmente trabalho físico humano para que a areia pudesse ser reunida novamente.

Não resta dúvida portanto, que as respostas apresentadas por Thomaz têm uma qualidade melhor que as noções dos participantes classificados nas categorias anteriores.

Desse modo, coube-nos então a tarefa de intervir nos esquemas conceituais que esses alunos apresentaram oferecendo-lhes inicialmente, a oportunidade de rever suas noções, ampliando a seguir, suas experiências sobre o tema, procurando assim ajudá-los a atribuir significados ao novo conhecimento.

De acordo com a classificação feita anteriormente, obtivemos portanto os seguintes alunos em cada categoria:

**QUADRO 1 – Classificação dos alunos em categorias (Pré-teste)**

<b>Aluno</b>	<b>Categoria A</b>	<b>Categoria B</b>	<b>Categoria C</b>
<b>Alex</b>	x		
<b>Anne</b>		x	
<b>Cilene</b>	x		
<b>Hélida</b>		x	
<b>Hudson</b>		x	
<b>Joseane</b>		x	
<b>Láis</b>		x	
<b>Regina</b>	x		
<b>Sheila</b>		x	
<b>Thomaz</b>			x

Para termos uma idéia do número de alunos por categoria, apresentamos o resumo a seguir:

**QUADRO 2 – Número de alunos por categoria de análise (Pré-teste)**

<b>Categorias</b>	<b>Número de Alunos</b>
<b>A</b>	<b>3</b>
<b>B</b>	<b>6</b>
<b>C</b>	<b>1</b>

O pré-teste revelou dados, em um certo sentido, semelhantes aos encontrados em trabalhos anteriores (Sciarretta, Stili e Missoni, 1990, Kesidou et. al. 1995; Silva, 1995, entre outros), com relação aos conceitos de calor e temperatura. De modo geral, os alunos não fazem distinção clara entre esses dois conceitos; calor (e por vezes também o frio) é expresso em função da teoria do calórico, ou seja, como sendo uma substância capaz de “caminhar de um corpo ao outro”, assim, como se acreditava até o final do século XVIII. Além disso, em

nenhum momento houve menção ao modelo microscópico (cinético de partículas). Também a questão da irreversibilidade, gera dúvidas e confusões: não é consenso que o aumento da desordem, é uma tendência natural após a ocorrência de fenômenos espontâneos. Assim, para darmos um exemplo, seria muito improvável (ainda que estatisticamente possível) que a areia espalhada por todo o terreno voltasse a se concentrar num único monte novamente, através da ação de chuvas e ventos (como sugeriram Alex, Laís e Regina).

Cabe aqui lembrar que embora tivéssemos optado por desenvolver nosso mini curso com estudantes do 2º ano do Ensino Médio, por acreditarmos que os mesmos pudessem ter algumas “noções escolarizadas” de conceitos como calor, temperatura, equilíbrio térmico, entre outros, acabamos descobrindo que os alunos tinham acabado de encerrar o tópico sobre Leis de Newton e ainda não haviam iniciado o programa de Termologia. Essa informação foi mais tarde confirmada pela própria professora da classe que justificou o “atraso do conteúdo”, com base na quantidade de feriados e atividades diversas na escola, coincidentes com as aulas de Física.

Essas constatações vieram nortear nossa opção por uma abordagem mais geral dos conceitos relativos à entropia, ou seja, através da utilização de eventos e sistemas encontrados no cotidiano das pessoas bem como pela apresentação dos conceitos de Física Térmica numa escala macroscópica. Os dados extraídos do pré-teste sugerem que não devemos minimizar os obstáculos com os quais os alunos se defrontam ao lidar com esse modelo da Termodinâmica (Aguiar, Jr. 2002), mas diante das nossas possibilidades especialmente no que se refere ao pouco tempo que nós dispúnhamos, não haveria como abordar o modelo microscópico e promover ao mesmo tempo intervenções didáticas capazes de levar os estudantes ao estabelecimento de relações entre os planos macro e microscópicos na análise dos fenômenos térmicos propostos em nosso mini curso.

### **6.2.2 – Os Momentos da Intervenção:**

Após a aplicação do pré-teste, tivemos mais três momentos de efetiva intervenção com este grupo de alunos antes da coleta de dados finais (pós-teste). Estas etapas de ensino foram apresentadas no capítulo 5, e de acordo com elas, estaremos aqui comentando algumas situações registradas em seu decurso, que de alguma maneira, foram pertinentes à nossa análise.

**2º Momento:** Esta aula teve a duração de 50 minutos<sup>22</sup>, e dela participaram 24 estudantes, que estiveram reunidos em pequenos grupos (máximo de 4) para a discussão das questões abordadas no pré-teste. Sendo assim, os questionários da aula anterior foram entregues para que os alunos pudessem fazer considerações e comparar suas respostas com as dos outros integrantes do grupo.

Praticamente todos os grupos mostravam-se engajados nas discussões mas havia também por parte deles, a preocupação com uma avaliação de Biologia que fariam na seqüência dessa aula. Para nortear as discussões, foram feitas as seguintes questões:

**1 –** Dentre os fenômenos descritos a seguir, existe algum que seja reversível?

- a) Quebra de uma garrafa de vidro vazia.
- b) A mistura de um coquetel.
- c) Pessoa andando em uma esteira de ginástica.
- d) Derretimento de um cubo de gelo num copo de refrigerante.
- e) A queima de um pedaço de lenha.

**2 –** Com base na sua experiência cotidiana, dê alguns exemplos de processos irreversíveis que ocorrem na natureza.

**3 –** Sua mãe acabou de retirar do forno “quente”, um delicioso bolo de chocolate e o deixou por um tempo sobre a pia. Então você chega na cozinha e nota que o bolo já está frio. Na sua opinião, por que isso acontece?

---

<sup>22</sup> Vale notar que entre as “trocas de aulas” é comum os estudantes em geral se dispersarem por alguns minutos, afetando com isso a duração das mesmas que acabam ficando em torno de 40 min.

Devemos chamar a atenção para o fato de que, apesar de termos esses registros escritos, não pudemos classificar as respostas por estas terem surgido de discussões coletivas. Desse modo, não teríamos como saber o nível de participação de cada um dos alunos que compõe nossa amostra. Nosso intuito em apresentá-las é verificar se o perfil das respostas de modo geral, em cada momento do mini curso, aponta no sentido de uma evolução nas elaborações dos estudantes.

Analisando as respostas, foi possível notar que, em relação à primeira questão, a maior parte dos estudantes não vê reversibilidade em nenhuma das situações apresentadas:

*“Não, nenhum, porque são fenômenos que são irreversíveis, não podem ocorrer no sentido contrário”.*

No entanto alguns, concebem o exercício na esteira (situação c) como reversível:

*“Sim. O fenômeno (...) na alternativa c é reversível pois uma pessoa pode realizar essa atividade no sentido contrário”.*

Em relação à questão número 2, o que nos chamou a atenção foi o fato de que praticamente todos os grupos relacionaram os “processos irreversíveis que ocorrem na natureza”, como sendo de caráter biológico, especialmente associados à vida e morte:

*“Corte de uma árvore, morte de animais”.*

*“As folhas que caem, (...) a metamorfose de insetos, a morte de um animal”.*

Quanto à questão 3, notamos na grande parte dos grupos, a dificuldade e a confusão que os estudantes fazem em relação aos conceitos de calor e temperatura:

*“Isso acontece porque o bolo estava dentro do forno quente e quando saiu entrou em **choque térmico**, fazendo assim, com que o bolo esfriasse”.*

*“Porque o bolo estava no forno (em um ambiente muito quente). Foi retirado e transportado para um ambiente com total temperatura oposta. Assim, o*

*bolo vai perdendo a temperatura quente e chegando a obter a temperatura onde está, a pia”.*

Outros grupos utilizam o conceito de calor, com atributos da teoria substancialista:

*“Porque a pia está fria e o bolo quente. O bolo passa calor para a pia”.*

Ao final da aula, os alunos foram solicitados a compartilhar as conclusões do grupo com toda a classe. A interação coletiva, embora rápida, permitiu que os estudantes se manifestassem em relação às respostas dos outros grupos, especialmente àquelas que diziam respeito às suas próprias concepções.

**3º momento:** A terceira aula foi destinada à introdução dos conceitos a partir da leitura do texto: **Processos irreversíveis e Leis da Termodinâmica.**

Participaram desta atividade, 26 estudantes que se dividiram novamente em pequenos grupos para a leitura e discussão do texto a partir das questões:

**1** - Sua mãe fez o almoço e o colocou bem “quentinho” à mesa mas como você demorou um tempo para ir até a cozinha e “fazer o seu prato”, ao destampar as panelas, percebeu que os alimentos já estavam frios.

a) Explique porque isso aconteceu;

b) Qual o sentido do fluxo de calor neste caso?

c) Esse processo é reversível espontaneamente, ou seja, se você ficar esperando de braços cruzados, é possível que a comida volte à temperatura que estava quando sua mãe a colocou na mesa? Explique.

**2** – Você já deve ter assistido a filmes que contam histórias em que os personagens “voltam no tempo”. Na sua opinião, a “volta no tempo” viola o Segundo Princípio da Termodinâmica? Explique.

Encontramos para a questão 1, basicamente duas categorias de respostas:

A - Utilização de uma linguagem de senso comum e de elementos do modelo substancialista do calor e não distinção entre os conceitos de calor e temperatura:

*“Porque o calor que estava na comida (idéia de substância) foi transferido para o ambiente, ficando em equilíbrio térmico”.*

*“Isso ocorre por causa da temperatura ambiente, que é abaixo da temperatura da comida” .*

*“O sentido do fluxo de calor do prato de comida irreverteu para a temperatura do ambiente, que estava com uma temperatura razoavelmente igual a do ambiente, que era mais fria do que a temperatura da comida”.*

B - A linguagem é um pouco mais elaborada e os estudantes começam a relacionar em algumas situações, ainda que de forma indireta o enunciado de Clausius para a Segunda Lei, que implica na assimetria na direção dos processos naturais, ao reconhecerem a irreversibilidade do processo após a troca de energia entre sistemas. No entanto, ainda estão presentes apenas considerações macroscópicas em relação ao calor (da forma como aparece no texto), e a distinção entre os conceitos de calor e temperatura não é explícita:

*“A panela no caso, está quente e ao entrar em contato com a mesa que está fria, transmite seu calor até que os dois se equilibrem”.*

*“Vai fluir no sentido do corpo de maior temperatura para o corpo de menor temperatura” (considerando o sentido do fluxo de calor).*

*“Obviamente que não, pois é um processo irreversível e só voltará a temperatura anterior (no caso da comida que já ‘esfriou’) se for aquecida novamente”.*

*“Não. Porque a segunda lei da termodinâmica já dizia que a temperatura mais fria não passa para a mais quente sem que ocorram mudanças associadas, como no caso, esquentar a comida de novo”.*

Para a segunda questão, os grupos justificaram a violação da Segunda Lei na “volta do tempo”, por tratar-se de um fenômeno irreversível:

*“Sim, viola porque o processo não ocorre naturalmente”.*

*“Sim, viola porque esse processo é irreversível”.*

*“Sim, a ‘volta no tempo’ viola o 2º Princípio, porque não é um processo natural espontâneo. É impossível viajar no tempo”.*

Essa análise nos permite perceber que os alunos não aprofundaram muito as discussões e explicaram grande parte das situações ainda com base em concepções do senso comum.

Temos que considerar neste momento que, a apresentação do primeiro texto ofereceu uma série de novos elementos desconhecidos para os estudantes, perfeitamente capazes de gerar perturbações no sistema cognitivo dos mesmos. De acordo com a teoria da equilibração de Piaget (1976), os conflitos são fonte de progressos no desenvolvimento do conhecimento pois, obrigam o sujeito a ultrapassar o seu nível atual de conhecimento numa tentativa de ampliá-lo em novas direções e novos sentidos. Devemos considerar portanto que não há integração automática de novos conceitos, mas que o indivíduo aos poucos elabora e constrói seu sistema cognitivo.

**4º momento:** Nossa aula teve início com 10 minutos de atraso em função de uma avaliação de Geografia que os alunos tiveram na aula anterior. Além disso, especialmente nesse dia, notamos uma certa resistência por parte dos estudantes em realizar as atividades propostas sob a alegação de que naquele momento do bimestre, eles estavam voltados à entrega de trabalhos e realização de avaliações e recuperações.

Participaram da atividade, 17 estudantes que mais uma vez se dividiram em grupos para a leitura e discussão do segundo texto: **Entropia: a rota para a desordem.** :

**1** – Se, de acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica, a energia total do Universo se conserva, explique porque são feitas campanhas de racionamento de energia.

**2** - Imagine um mundo onde os processos naturais tendessem a um estado de maior organização. Suponhamos: se você deixasse seu quarto bagunçado pela manhã e à noite o encontrasse organizado; atirando para o ar um punhado de pedras, estas cairiam formando um montinho, ao invés de ficarem espalhadas. Como seria viver nesse mundo? Dê um exemplo.

Nas respostas encontradas para a questão 1, os grupos desta vez sentiram a necessidade de argumentar e apresentar os termos discutidos através da leitura do texto. Contudo, não é possível afirmar se houve a real “construção” desses conceitos ou se os alunos, fizeram uso da resposta apresentada no texto:

*“Há racionamento, porque uma parte da energia é transformada em calor, que é irrecuperável espontaneamente”.*

*“A energia do universo é sempre constante, mas segundo a 2ª Lei a energia transformada em calor é irrecuperável espontaneamente, por isso é necessário economizar”.*

*“As campanhas de racionamento são feitas porque a energia transformada em calor é irrecuperável espontaneamente”.*

As formulações para a questão 2, envolveram de modo geral, a descrição de situações cotidianas para a convergência da ordem nos processos naturais:

*“Seria possível voltar no tempo, não haveria morte, não haveria gasto de energia”.*

*“No começo até que seria bom ter um quarto sempre organizado,(...) mas se pensarmos bem, tudo estaria ao contrário. Já pensou se você quer regar uma planta, mas a água sempre voltasse para o regador? Ou se cavasse um buraco e esse se fechasse? Por esse lado, seria horrível”.*

*“(...) Seria um mundo prático e fácil. Um exemplo bom: Se por acaso ocorrer uma batida de carro, segundos depois a lataria (...) se desamassaria e não teríamos prejuízo com gastos. O lado ruim: tudo o que faríamos iria ser desfeito, sem o nosso consentimento; isso seria estressante”.*

De certo modo, os alunos reconhecem que se os fenômenos fossem todos reversíveis, a desordem diminuiria com tempo ou ainda como explica Hawking, 1988, é como se os seres humanos possuíssem uma seta psicológica do tempo invertida, onde seria possível lembrarmos de eventos futuros, mas não teríamos a recordação do passado.

### **6.2.3 – Classificando os Alunos em Categorias no Pós-teste**

Tendo como ponto de partida o objetivo de estabelecermos um paralelo entre os dois momentos da nossa intervenção (pré e pós-teste), formulamos este último com situações semelhantes às do pré-teste de modo que as categorias de análise de ambos os testes, fossem comparáveis.

Uma pré-análise das respostas fornecidas pelos estudantes através do pós-teste permitiu-nos levantar suas concepções sobre o **sentido dos processos espontâneos** (questões 1, 2, 4, e 5), sobre **processos irreversíveis espontaneamente** (questão 3, tópicos a e b) e finalmente, se são capazes de **diferenciar fenômenos totalmente irreversíveis daqueles passíveis de reversão através de ações** (questões 3 - tópicos b e c, e 5), sendo este último, um aspecto que não foi possível revelar no pré-teste.

Com base nas noções apresentadas pelos alunos, elaboramos desta vez 4 categorias de análise: A, B, C e D, que serão apresentadas a seguir. De maneira análoga à categorização das respostas do pré-teste no que diz respeito ao esquema de hierarquização mencionado no início deste capítulo (especificamente em 6.2), devemos considerar que a categoria D corresponde ao maior nível de elaboração das respostas, enquanto que a categoria A representa o menor nível.

### **CATEGORIA A**

Incluímos nesta categoria as respostas de modo geral incoerentes, sem justificativas e carregadas de impressões do senso comum.

### **CATEGORIA B**

Agrupamos aqui, os estudantes que apresentaram algumas respostas indicativas de suas noções corretas, porém imprecisas acerca do sentido na ocorrência de um processo natural espontâneo mas que não reconhecem os processos reversíveis através de uma ação; ou ainda, aqueles que reconhecem a reversibilidade de alguns processos através de uma ação mas não distinguem o sentido em que ocorre um fenômeno espontâneo.

### **CATEGORIA C**

As respostas agrupadas nesta categoria, embora apresentem indícios de concepções do senso comum, são um pouco mais elaboradas que as anteriores. Incluem noção do sentido correto em processos naturais espontâneos, o reconhecimento de fenômenos passíveis de reversão por um caminho não natural além de algum reconhecimento na distinção entre fenômenos totalmente irreversíveis e os reversíveis através de uma ação.

#### **CATEGORIA D**

Nesta categoria, incluímos os alunos que foram capazes de diferenciar em algumas situações, fenômenos totalmente irreversíveis daqueles passíveis de reversão através de ações específicas; além disso, de forma direta ou indireta, conseguiram associar aumento da desordem de um sistema a um aumento de entropia do mesmo.

Procedendo de modo análogo ao pré-teste, apresentamos a seguir os exemplos de respostas dos estudantes classificados por categorias. Mantivemos também aqui, a forma original dos relatos.

#### **CATEGORIA A**

Classificamos aqui **1** estudante da nossa amostra: **Alex**. Em princípio, quando perguntado sobre o **sentido dos processos naturais** no caso das barras de ferro, do fluxo de calor trocado entre os dois corpos A e B, do gás confinado e do aumento da “desordem” no quarto, suas respostas foram:

**Alex – (Questão 1):** “As duas (considerando as barras de ferro) vão ficar na mesma temperatura após um tempo”.

Este aluno deixou de indicar o sentido do fluxo de calor no caso da **questão 2** e também não desenhou as moléculas do gás na **questão 4**.

**(Questão 5a):** “O pó toma conta do quarto” (referindo-se ao que irá acontecer ao quarto no final de uma semana).

**(Questão 5b):** “Não, pois será arrumado de novo” (discordando que houve aumento de *entropia* no quarto).

A exemplo das respostas apresentadas pelo aluno, podemos notar que suas idéias não oferecem uma generalização quanto ao sentido dos processos espontâneos. As barras entram em equilíbrio térmico mas essa noção não vem acompanhada de uma justificativa teórica, da mesma forma que é apresentada no pré-teste. Também verificamos que o conceito de entropia, como sendo uma medida de desordem, não foi ainda construído pelo aluno: essa medida pode ser revertida pela ação de uma nova “faxina” no quarto.

Exemplos de respostas que revelam **noções sobre processos irreversíveis espontaneamente**, através dos itens A e B da questão 3:

**Alex – (Questão 3A):** “Não” (quando perguntado sobre a possibilidade de os fenômenos relacionados na questão serem irreversíveis).

**(Questão 3B):** “A vela, pois a parafina pode ser reaproveitável” (considerando este como sendo o único fenômeno reversível através de uma ação).

Analisando conjuntamente as duas últimas respostas, notamos a incoerência expressa nas idéias do aluno: este não acredita que os exemplos de fenômenos naturais trazidos na questão sejam irreversíveis; contudo, quando é solicitado a apontar as “situações” que representam fenômenos reversíveis através de uma ação, é capaz de reconhecer equivocadamente um único processo – o derretimento da vela.

Exemplos de respostas que apontam a **existência ou não de diferenciação por parte do estudante, dos fenômenos totalmente irreversíveis daqueles passíveis de reversão através de ações**. Essas noções foram investigadas através dos itens B e C da questão 3.

**Alex – (Questão 3C):** “O envelhecimento do homem” (reconhecendo este como sendo o único processo irreversível).

Ao reconhecer como sendo irreversível o processo de envelhecimento do homem, poderíamos esperar que além desse, considerasse também a irreversibilidade da planta crescendo, já que são fenômenos de mesma natureza. Portanto, ao que parece, o aluno não estabeleceu uma relação entre esses processos. De acordo com Ferracioli (1999), *“temos consciência do crescimento das plantas e animais e de nosso envelhecimento. Mas esses processos são lentos [...] nos dando a impressão de que o mundo e nós mesmos nos mantemos constantes ao invés de estarmos continuamente mudando. Dessa forma, simultaneamente temos a consciência da inexorável direção do tempo e ao mesmo tempo, tendemos a considerar este fato como não nos afetando”*. Uma possível interpretação para esta dificuldade de estabelecer relações entre duas situações que ilustram igualmente processos totalmente irreversíveis seria a de que, a idéia do envelhecimento humano (de certo modo associada à morte) tenha um caráter mais marcante do que o crescimento da planta, por estar mais presente nas situações cotidianas vivenciadas pelo aluno.

As respostas (e as lacunas) conferidas pelo aluno Alex às questões que se reportam ao sentido dos processos naturais, evidenciam de alguma forma a ausência de um conflito entre suas concepções prévias e posteriores ao desenvolvimento do mini curso, procurando apenas descrever fenômenos observáveis, sem contudo, preocupar-se com elaborações teóricas.

## **CATEGORIA B**

Incluimos nesta categoria **2** estudantes: **Hélida e Laís**. Quando perguntadas sobre o **sentido dos processos** no caso das barras de ferro, do fluxo de calor trocado entre os dois corpos A e B, do gás confinado e do aumento da “desordem” no quarto, algumas respostas foram:

**Hélida – (Questão 1):** “Que essas barras tem a mesma temperatura (50°C e 50°C)”.

Com relação à **questão 2**, a aluna deixa de indicar o sentido do fluxo de calor.

**(Questão 4):** “Elas estão juntas (referindo-se às moléculas do gás confinado num dos lados de uma caixa); elas estão caminhando para a ocupação de todos os espaços (depois de removida a separação); ela completa a caixa” (após 1 minuto).

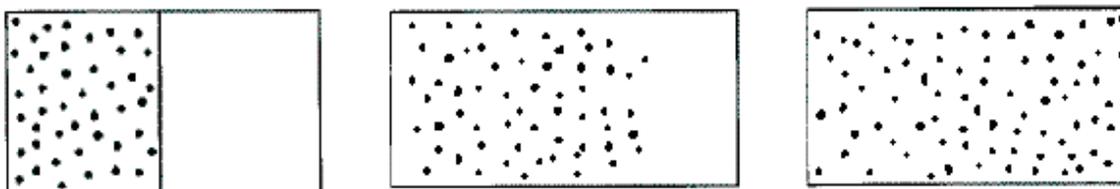


Fig. 7 – Esquema do comportamento das moléculas do gás – aluna Héliida

**(Questão 5a):** “Que todos os objetos estão fora do lugar” (justificando a desordem no quarto após 7 dias).

**Laís – (Questão 2):** “A figura B com a temperatura maior passa para o corpo A e ambos se encontram no equilíbrio térmico” (explicando o sentido do fluxo de calor na **questão 2**).

**(Questão 5a):** “Que ele voltou lentamente dia-a-dia bagunçado como antes da faxina” (referindo-se ao quarto após uma semana).

**(Questão 5c):** “Não, porque o andamento foi o mesmo durante a semana inteira” (desconsiderando que a medida da entropia no quarto nos três primeiros dias tenha sido menor do que ao final de uma semana).

Notamos através desses discursos, que as concepções sobre o sentido dos processos espontâneos revelados através dessas diferentes situações, aparecem muitas vezes, de maneira intuitiva já que as justificativas em torno delas, passam pelo senso comum. A idéia de equilíbrio térmico nas barras, por exemplo, citada na fala da aluna Héliida, é ingênua por carecer de argumentos que a suportem: como esse equilíbrio térmico ocorre? Situação parecida surge na resposta da estudante Laís que, ao invés de indicar (como pedido na questão 2) na figura o sentido do fluxo de calor, tenta explicar que a “figura B com a temperatura maior passa para o corpo A” até que ocorra o equilíbrio térmico, de

certo modo deixando margem a diferentes interpretações sobre o que quer que se transmita de um corpo ao outro. A noção de entropia como uma medida associada à desordem também não é clara nos discursos apresentados pelas alunas, embora reconheçam que o sentido do processo natural nesse caso, aponta para a desorganização do cômodo, transcorrido os sete dias.

Exemplos de respostas que revelam **noções sobre processos irreversíveis espontaneamente**, através dos itens A e B da questão 3:

**Hélida – (Questão 3A):** “Sim, pois não teria como voltar” (resposta dada sobre a possibilidade de os fenômenos relacionados na questão serem irreversíveis).

**(Questão 3B):** “Café esfriando na xícara, se você colocar numa boca do fogão e aquecer” (reconhecendo este como sendo o único processo reversível através de uma ação).

**Laís – (Questão 3A):** “São irreversíveis”.

**(Questão 3B)** “(...) o café esfriando na xícara, pode ser aquecido novamente” (referindo-se a este como processo reversível através de uma ação).

Aqui, há um consenso de ambas as alunas, de que os processos exemplificados pelas situações da questão 3, são irreversíveis. No entanto, reconhecem como sendo reversível através de uma ação, unicamente o café que esfriou na xícara.

Exemplos de respostas que apontam a existência ou não de **diferenciação** por parte dos estudantes, **dos fenômenos totalmente irreversíveis daqueles passíveis de reversão através de ações**. Essas noções foram investigadas através dos itens B e C da questão 3.

**Hélida - (Questão 3C):** “Planta crescendo, homem envelhecendo, sorvete, coca-cola” (listando os fenômenos totalmente irreversíveis).

**Laís – (Questão 3C):** “Sorvete derretendo, uma vela que derrete, um homem envelhecendo, uma planta crescendo, a coca-cola choca” (exemplificando os processos totalmente irreversíveis).

Observando essas duas respostas, percebemos que não há uma distinção muito clara entre os fenômenos passíveis de reversão, daqueles totalmente irreversíveis, já que além da situação do café que esfriou na xícara e pode voltar à temperatura inicial se for aquecido, também o sorvete derretido pode voltar à consistência e temperatura que possuía anteriormente se voltar para o congelador.

Comparando as noções apresentadas pelas alunas Héliida e Laís no pré e pós-teste, percebemos que não há mudanças significativas: as estudantes alternam em alguns momentos, respostas corretas do ponto de vista formal, com explicações sem fundamento; permanece a dificuldade de generalizar o comportamento dos fenômenos espontâneos no que diz respeito a reconhecer o seu sentido. O mesmo ocorre no momento de diferenciar os fenômenos reversíveis através de uma ação daqueles totalmente irreversíveis.

## **CATEGORIA C**

Encontramos **3** estudantes nesta categoria – **Cilene, Joseane e Hudson** e na seqüência estaremos apresentando alguns exemplos de respostas que denotam noções sobre o **sentido dos processos espontâneos** no caso das barras de ferro, do fluxo de calor trocado entre os dois corpos A e B, do gás confinado e do aumento da “desordem” no quarto:

**Cilene – (Questão 1):** “Elas vão trocar energia (referindo-se às barras) em forma de calor e vão se estabilizar ficando à mesma temperatura”.

Em relação à **questão 2**, a aluna aponta na figura o sentido correto do fluxo de calor, sendo este do corpo B para o corpo A.

**(Questão 4):** “As moléculas do gás se concentram no espaço reservado para elas (referindo-se ao gás confinado num dos lados da caixa). Elas

começam a se espalhar, mas ainda não estão totalmente distribuídas (imediatamente após a remoção da separação). Agora elas se encontram distribuídas uniformemente na caixa” (após 1 minuto).

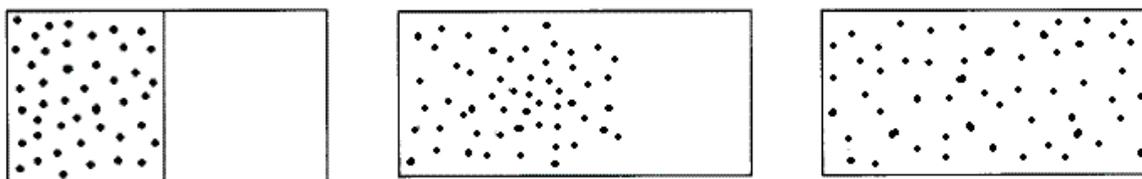


Fig. 8 – Esquema do comportamento das moléculas do gás – aluna Cilene

**(Questão 5b):** “Sim” (respondendo positivamente, sem, contudo justificar, sobre o aumento de entropia no quarto após os dias em que o mesmo ficou sem arrumar).

**(Questão 5c):** “Não, continua a mesma coisa, pois a forma de arrumar o quarto não mudou” (discordando que a medida da entropia em três dias seria menor do que durante toda uma semana).

**Joseane – (Questão 1):** “A barra de ferro com temperatura maior quando entra em contato com a barra de temperatura menor elas se igualam” (referindo-se à temperatura final de ambas).

O sentido do fluxo de calor aparece indicado corretamente pela aluna na figura da **questão 2**.

**(Questão 5a):** “Que o quarto vai estar bagunçado” (referindo-se ao aumento da desordem no quarto).

**(Questão 5b):** “Sim, porque a cada dia, o quarto fica mais desarrumado” (justificando que o aumento de *entropia* no cômodo está associado à desordem).

**Hudson – (Questão 1):** “Após um certo tempo o calor de 70°C passa para a barra de 20°C, pois a barra de 70°C tem um calor maior que a barra de 20°C”.

O aluno também indica corretamente o sentido do fluxo de calor entre os corpos A e B da **questão 2**.

**(Questão 5a):** “Irei notar que cada dia os objetos estarão fora dos lugares” (referindo-se ao quarto).

**(Questão 5c):** “Sim, pois em uma semana inteira a desordem será maior do que em três dias” (explicando que a medida da entropia depois de uma semana, é maior do que depois de três dias).

As concepções de sentido dos processos naturais destes três alunos são mais sofisticadas do que as idéias dos estudantes classificados anteriormente nas categorias A e B, apesar de utilizarem alguns argumentos imprecisos, especialmente, quanto aos conceitos de calor e temperatura. Esses equívocos aparecem no discurso da aluna Joseane, quando esta não define com exatidão o que se transfere no contato entre as barras, embora o que pareça estar nas entrelinhas, seja a transferência de temperatura de uma para a outra e, na resposta do estudante Hudson quando utiliza o modelo substancialista para justificar o fluxo de energia da barra mais quente para a mais fria, alegando que a barra que está a  $70^{\circ}\text{C}$  “tem um calor maior que a barra de  $20^{\circ}\text{C}$ ”. Essas imprecisões especificamente desaparecem na resposta da aluna Cilene que associa o conceito de calor ao de energia; no entanto, ela não chega a explicitar o sentido em que essas trocas de calor (energia) acontecem. Este fato porém, não é indicativo de que a aluna desconheça o sentido do fluxo de energia entre corpos que estejam a diferentes temperaturas, pois responde corretamente a questão seguinte que simula uma situação análoga à das barras.

O reconhecimento do sentido em que ocorrem fenômenos espontâneos por esses alunos, foi também evidenciado em outros contextos, como no comportamento das moléculas de um gás após a remoção da separação que o confinava em um dos cantos de uma caixa e na situação que envolvia a desordem gradual do quarto. Diferentemente da estudante Cilene, que apresenta em seu discurso uma confusão no que se refere ao conceito de entropia, podemos observar uma melhor qualidade nas respostas dos alunos Hudson e

Joseane, que foram capazes de relacionar a desordem gradual do quarto a um aumento de entropia.

Exemplos de respostas que revelam **noções sobre processos irreversíveis espontaneamente**, através dos itens A e B da questão 3:

**Cilene – (Questão 3A):** “Sim” (afirmando serem irreversíveis os processos listados).

**(Questão 3B):** “Sorvete no congelador, o café pode ser esquentado no microondas ou fogão” (reconhecendo corretamente os processos reversíveis através de ações).

**Joseane – (Questão 3B):** “Sorvete derretendo, café esfriando; pondo na geladeira (referindo-se ao sorvete) e esquentando (referindo-se ao café)”.

**Hudson – (Questão 3A)** “Sim” (reconhecendo como sendo irreversíveis os processos relacionados).

**(Questão 3B):** “Café esfriando na xícara, pois o café pode ser esquentado; e o sorvete que pode voltar para o congelador”.

As respostas aqui destacadas deixam evidente o consenso existente entre os três alunos no que se refere ao correto reconhecimento dos processos irreversíveis espontaneamente.

Exemplos de respostas que apontam a existência ou não de **diferenciação** por parte dos estudantes, **dos fenômenos totalmente irreversíveis daqueles passíveis de reversão através de ações**. Essas noções foram investigadas através dos itens B e C da questão 3.

**Cilene – (Questão 3C):** “A coca-cola que fica choca, uma vela que derrete, uma planta crescendo e um homem envelhecendo” (apontando corretamente os fenômenos totalmente irreversíveis)

**Joseane – (Questão 3C):** “b, c, d, e” (respondendo sobre quais fenômenos são totalmente irreversíveis, sendo: a coca-cola que fica choca, uma vela que derrete, um homem envelhecendo e uma planta crescendo).

**Hudson – (Questão 3C):** “A vela que derrete, a coca-cola choca, o homem envelhecendo e a planta crescendo”.

Notamos que os três alunos mantiveram a coerência que utilizaram para responder o item B da questão 3, visto que lá, deveriam mencionar os processos passíveis de reversão através de determinadas ações e aqui, apontar os fenômenos totalmente irreversíveis. Assim sendo, permanece a concordância entre os três estudantes que indicaram acertadamente os fenômenos totalmente irreversíveis.

É sensível que os alunos que aparecem nesta categoria, mostram uma evolução em seus esquemas conceituais. O caso mais notório, é o da estudante Cilene que aparecia classificada na categoria A do pré-teste. Sua concepção de que as barras a diferentes temperaturas sofreriam modificações físicas durante o tempo em que permanecessem em contato, evoluiu para um argumento mais elaborado do ponto de vista científico. A aluna menciona a troca de energia entre as barras em forma de calor até que ambas atinjam a mesma temperatura. Além disso, ela reconhece acertadamente em outras situações (figura que ilustra os corpos A e B na questão 2 e moléculas do gás que se espalham gradativamente pela caixa), o sentido dos processos naturais espontâneos, bem como é capaz de diferenciar fenômenos passíveis de reversão, daqueles totalmente irreversíveis.

Foi possível notar, contudo, que a aluna não conseguiu elaborar o conceito de entropia, deixando de associá-lo ao crescimento da desordem que ocorre nos processos espontâneos.

Os alunos Hudson e Joseane classificados na categoria B do pré-teste, também apresentaram algum progresso em suas concepções. Inicialmente, a estudante Joseane sugere que após o contato das barras, as mesmas deveriam sofrer alterações em suas formas físicas (a mesma idéia sugerida pela estudante Cilene). No pós-teste, a aluna reconhece que as barras, ao final do processo, ficarão com a mesma temperatura mas não esclarece como isso ocorre, ficando evidente a confusão entre os conceitos de calor e temperatura. Por sua vez, o estudante Hudson mostra-se confuso na distinção entre os conceitos de calor e temperatura. Com relação à questão das barras em contato, no pré-teste o estudante afirma que o calor vai se transferir da barra mais quente para a mais fria e no pós-teste, responde a mesma questão utilizando um argumento do calor como substância (pois a barra que está a  $70^{\circ}\text{C}$  tem “mais calor” que a barra de  $20^{\circ}\text{C}$ ). Contudo, na 2ª questão, esses mesmos estudantes apontam corretamente na figura, o sentido do fluxo de calor como sendo do corpo de maior para o de menor temperatura. Também foram capazes de distinguir os fenômenos reversíveis através de ações daqueles totalmente irreversíveis e finalmente, associaram o conceito de entropia com o aumento de desordem.

#### **CATEGORIA D**

Identificamos nesta categoria **4** estudantes – **Anne, Regina, Sheila e Thomaz** e de início, vamos apresentar alguns exemplos de respostas que denotam noções sobre o **sentido dos processos** no caso das barras de ferro, do fluxo de calor trocado entre os dois corpos A e B, do gás confinado e do aumento da “desordem” no quarto:

**Anne – (Questão 1):** “A barra que estiver mais quente, passará calor para a barra que estiver mais fria, igualando a temperatura”.

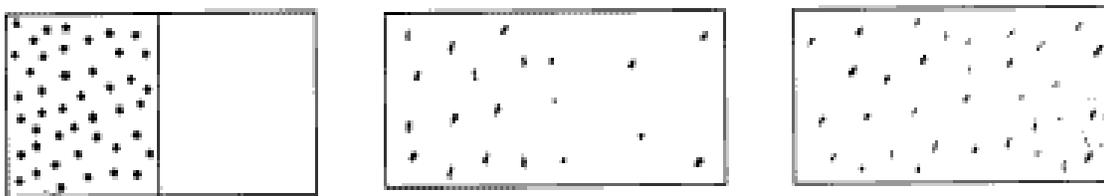
A aluna indica corretamente o sentido do fluxo de calor na figura da **questão 2**, no caso, de B para A.

**(Questão 5a):** “Com o passar dos dias, ele (referindo-se ao quarto) vai ficando bagunçado”.

**(Questão 5b):** “Sim, porque o quarto vai ficar totalmente desorganizado e a entropia é uma medida da desordem” (considerando que houve aumento de entropia após uma semana).

**Regina – (Questão 1):** “Que haverá transferência de calor da barra que está a  $70^{\circ}\text{C}$  para a barra mais fria que está a  $20^{\circ}\text{C}$ ”.

**(Questão 4):** “As moléculas do gás tomavam conta de meia caixa (fazendo menção ao gás confinado); as moléculas vão lentamente voltando a tomar conta da caixa (imediatamente após a remoção da separação); as moléculas tomam conta de toda a caixa” (após 1 minuto).



**Fig. 9** – Esquema do comportamento das moléculas do gás – aluna Regina

**(Questão 5a):** “Que no 1° dia o quarto está bem arrumado e a partir do 2° dia, o quarto passará a sofrer algumas modificações”.

**(Questão 5c):** “Sim, pois quanto maior a desordem, maior será a entropia” (justificando porquê a *entropia* após uma semana é maior que aquela medida nos três primeiros dias).

**Sheila – (Questão 1):** “A barra que está à temperatura de  $70^{\circ}\text{C}$  vai transmitir energia na forma de calor para a outra barra de ferro, de forma que ambas se equilibrem”.

A aluna indica corretamente na figura da **questão 2**, o sentido do fluxo de calor (de B para A).

**(Questão 4):** “As partículas estavam dispersas e após a separação (referindo-se à remoção da separação que confinava o gás), elas ficaram mais desordenadas; **a entropia aumenta**” – aqui a aluna consegue associar a

dispersão das moléculas do gás a uma maior desordem no sistema e conseqüentemente, a um aumento de entropia.

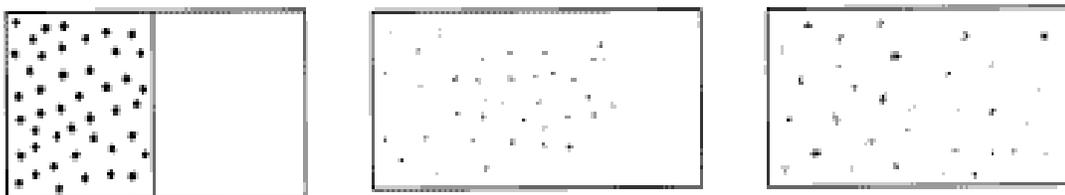


Fig. 10 – Esquema do comportamento das moléculas do gás – aluna Sheila

**Thomaz – (Questão 1):** “A barra com maior temperatura transfere calor para a barra com temperatura mais baixa ocorrendo o equilíbrio térmico (quando as temperaturas se igualam)”.

O fluxo de calor é indicado corretamente pelo estudante na **questão 2**.

**(Questão 5a):** “Que ele ficou desarrumado” (referindo ao quarto depois de sete dias).

**(Questão 5b):** “Sim, pois entropia significa desordem” (associando o aumento de entropia a um aumento de desordem no quarto).

**(Questão 5c):** “Sim, pois a desordem (entropia) será maior no decurso de uma semana inteira” (justificando porque a entropia após 7 dias é maior).

A análise destas respostas, nos leva a afirmar que o sentido dos processos espontâneos nas situações colocadas dentro das atividades do mini curso, aparece de maneira clara para os alunos considerados nesta categoria: o calor flui no sentido da barra de maior temperatura a de menor temperatura; assim também ocorre com os corpos A e B que são colocados em contato; as moléculas do gás se espalham progressivamente pela caixa e finalmente, o quarto caminha naturalmente para um estado de desordem com o passar dos dias.

Nos chama a atenção nessas formulações que embora os alunos utilizem elementos macroscópicos em fenômenos ligados à transferência de calor como no caso das barras, é notório que suas noções tiveram um salto qualitativo especialmente evidenciado pelas alunas Sheila e Regina: suas concepções

iniciais, envolviam prováveis modificações “físicas” nas barras durante o contato, por se encontrarem a diferentes temperaturas, descrevendo agora como sendo o calor uma forma de energia que se transfere de um corpo a outro quando existe uma diferença de temperatura entre eles, no sentido do corpo “mais quente” para o mais “frio”. A concepção de entropia aparece nas respostas dos estudantes, como sendo uma medida associada à desordem; assim, quanto maior a desordem do sistema (quarto), maior será a entropia.

Exemplos de respostas que revelam **noções sobre processos irreversíveis espontaneamente**, através dos itens A e B da questão 3:

**Anne – (Questão 3A):** “Sim” (reconhecendo os processos listados como sendo irreversíveis).

**(Questão 3B):** “Café esfriando na xícara; sorvete. Você pode esquentar o café e ele vai receber calor e vai esquentar; Você pode colocar o sorvete de volta no congelador” (apontando corretamente os fenômenos como sendo reversíveis através de uma ação).

**Regina – (Questão 3A):** “Sim” (reconhecendo como sendo irreversíveis os fenômenos da questão 3).

**(Questão 3B):** “A e F (respectivamente sorvete derretendo e café esfriando na xícara), que através de uma ação humana pode se reverter a situação como colocar o sorvete novamente no congelador e esquentar novamente o café”.

**Sheila – (Questão 3A):** “Sim” (os fenômenos são irreversíveis).

**(Questão 3B):** “O sorvete que derreteu se for congelado novamente pode voltar a seu estado inicial; o café que está esfriando pode ser aquecido”.

**Thomaz – (Questão 3A):** “Podemos” (reconhecendo que os fenômenos da questão 3A são irreversíveis).

**(Questão 3B):** “Café esfriando – aquecer novamente; sorvete derretendo – coloque-o no congelador”.

Nas respostas acima, observamos que todos os alunos foram capazes de identificar corretamente os fenômenos irreversíveis espontaneamente, mas que, contudo, podem ser revertidos através de ações específicas que envolvem novos gastos de energia.

Exemplos de respostas que apontam a existência ou não de **diferenciação** por parte dos estudantes, **dos fenômenos totalmente irreversíveis daqueles passíveis de reversão através de ações**. Essas noções foram investigadas através dos itens B e C da **questão 3**.

**Anne – (Questão 3C):** “Alternativas b, c, d, e” (respondendo corretamente como sendo processos totalmente irreversíveis).

**Regina – (Questão 3C):** “As letras B, C, D e E” (apontando corretamente os fenômenos totalmente irreversíveis como sendo respectivamente: coca-cola choca, vela que derrete, homem envelhecendo e planta crescendo).

**Sheila – (Questão 3C):** “A coca-cola, um homem envelhecendo a planta e a vela” (fenômenos totalmente irreversíveis).

**Thomaz – (Questão 3C):** “B, C, D, E” (reconhecendo estes como sendo os fenômenos totalmente irreversíveis: coca-cola, vela que derrete, homem envelhecendo e planta crescendo).

Analisando as respostas que envolveram as duas últimas situações onde pedíamos inicialmente, que os estudantes apontassem fenômenos passíveis de reversão e depois, onde reconhecessem aqueles totalmente irreversíveis, pudemos notar que houve clara distinção entre os fenômenos aqui relacionados.

É possível reconhecer também nesta categoria, uma melhora conceitual dos alunos aqui classificados. A aluna Regina, por exemplo, saltou da categoria A no pré-teste para a categoria D no pós-teste; suas idéias, a princípio,

bastante intuitivas, apresentaram uma melhora no que se refere aos conceitos envolvidos; sendo assim, foi capaz de reconhecer o sentido dos processos naturais, atribuir o equilíbrio térmico das barras à transferência de calor de uma para a outra (ainda que utilizando o modelo macroscópico), distinguir os fenômenos espontâneos reversíveis através de ações daqueles totalmente irreversíveis e relacionar a entropia como sendo uma medida da desordem que aumenta seu valor depois de uma transformação.

O mesmo ocorre com as estudantes Anne e Sheila, ambas classificadas na categoria B durante o pré-teste.

Procedendo de forma análoga quando da análise do pré-teste, estaremos relacionando na tabela abaixo, os alunos e as categorias correspondentes.

**QUADRO 3** – Classificação dos alunos em categorias - (Pós-teste)

<b>ALUNO</b>	<b>CATEGORIA A</b>	<b>CATEGORIA B</b>	<b>CATEGORIA C</b>	<b>CATEGORIA D</b>
<b>Alex</b>	x			
<b>Anne</b>				x
<b>Cilene</b>			x	
<b>Hélida</b>		x		
<b>Hudson</b>			x	
<b>Joseane</b>			x	
<b>Laís</b>		x		
<b>Regina</b>				x
<b>Sheila</b>				x
<b>Thomaz</b>				x

O resumo a seguir oferece um panorama da quantidade de alunos por categoria:

**QUADRO 4** – Número de alunos por categoria de análise.

<b>CATEGORIAS</b>	<b>NÚMERO DE ALUNOS</b>
<b>A</b>	<b>1</b>
<b>B</b>	<b>2</b>
<b>C</b>	<b>3</b>
<b>D</b>	<b>4</b>

Comparando as tabelas do pré-teste e pós-teste, pudemos observar a transição de alguns estudantes das categorias menos elaboradas para as mais elaboradas o que nos leva a concluir que, de alguma forma, os alunos apresentaram uma evolução, ora mais, ora menos significativa, no nível de suas concepções em relação aos conceitos que trabalhamos durante o mini curso.

Acreditamos, no entanto que, os dados obtidos aqui podem ser melhorados já que foram tomados quase que imediatamente após um período de possível conflito nas concepções e se fomos capazes de provocar conflitos, deve haver segundo Piaget, (1976), um período de reequilibração, ou seja, de uma melhor estruturação dos conceitos pelos estudantes.

Para termos uma idéia melhor do comportamento dos participantes, resumimos no quadro a seguir, a evolução de cada um em relação às categorias referentes ao pré e pós-teste.

QUADRO 5 – Evolução dos alunos por categorias

CATEGORIAS	PRÉ-TESTE	PÓS-TESTE
D		Thomaz Sheila Regina Anne
C	Thomaz	Joseane Hudson Cilene
B	Anne Héliida Hudson Joseane Laís Sheila	Héliida Laís
A	Cilene Regina Alex	Alex

Importante que se diga que não estamos, contudo, esgotando e encerrando com essa nossa estratégia didática, as discussões acerca desses conteúdos, pois frente à sua complexidade, estaríamos sendo muito simplistas:

*“As aprendizagens sobre conteúdos de conceitos e princípios nunca podem ser consideradas definitivas, pois novas experiências, novas situações*

*permitirão novas elaborações e enriquecimentos do conceito ou princípio”* (Coll, et. al. 1996, p. 168).

Particularmente, com relação aos dados que obtivemos neste estudo devemos enfatizar que, embora fosse possível perceber um determinado avanço nas concepções dos estudantes na perspectiva de associar a entropia ao aumento de desordem e à irreversibilidade dos processos, é preciso destacar que, fazer evoluir suas noções de entropia especialmente com atenção à degradação de energia, exigiria que fossem elaboradas estratégias de aprendizagem mais específicas e adequadas ao ensino de conceitos termodinâmicos como calor, temperatura, equilíbrio térmico, trabalho, energia entre outros. Portanto, é importante levar em consideração o caráter nunca acabado mas sim, sempre passível de aprimoramento de conceitos e princípios dependendo da profundidade que se deseja destinar a eles.

Estas considerações, no entanto, não desmerecem a evolução observada nesta amostra em particular, levando-se em conta a existência de estudos que apontam dificuldades de mudança ou aprimoramento das concepções dos alunos. Contudo, consideramos que a estratégia utilizada na condução do mini curso foi um fator decisivo para a sua eficiência, uma vez que, os próprios estudantes relataram as dificuldades e o cansaço que estavam enfrentando naquela época do ano em relação às aulas tradicionais.

## 7 – CONSIDERAÇÕES FINAIS:

Iniciamos este trabalho procurando verificar a ocorrência de uma aprendizagem significativa do conceito de entropia, a partir de estratégias de ensino elaboradas com base em elementos do construtivismo.

Para a realização de tal intento, organizamos um texto sobre o desenvolvimento dos conceitos de Física Térmica ao longo da história até chegarmos à formulação de Boltzmann para a entropia. Na seqüência apresentamos algumas tendências no Ensino de Ciências pautadas na construção ativa do conhecimento, que ocorre a partir de uma elaboração pessoal do sujeito levando-se em consideração suas noções intuitivas iniciais.

O que nos chamou a atenção durante o levantamento bibliográfico, foi uma visível carência de pesquisas voltadas especificamente para o ensino deste conceito, sobretudo orientadas para estudantes do nível que planejamos trabalhar. Contudo, constatamos que investigações semelhantes à nossa no que diz respeito à metodologia e focadas em uma série de conceitos que envolvem as Leis da Termodinâmica (calor, temperatura, energia, trabalho, entre outros), são unânimes em afirmar que dada a reputação de complexidade e dificuldade de compreensão desses conceitos, especialmente aqueles que envolvem a Segunda Lei da Termodinâmica, a abordagem dos mesmos deveria ser feita de uma forma mais genérica primeiramente, através da utilização de eventos e sistemas encontrados no cotidiano das pessoas (Solomon, 1982; Haber-Schaim, 1983; Kesidou e Duit, 1993, Ben-Zvi, 1999; entre outros). Segundo esses autores, a maior dificuldade dos alunos reside na compreensão do princípio de conservação de energia e a indisponibilidade desta mesma energia após a ocorrência de sua transformação, prevista pela Segunda Lei da Termodinâmica.

Essas constatações nos fizeram perceber que perseguir o conceito de entropia unicamente com base nas formulações de Clausius e Kelvin para a Segunda Lei da Termodinâmica poderia inviabilizar nossas ações, pois esbarraríamos inicialmente no problema da compreensão do conceito de energia. Sendo assim, embora os textos trabalhados em sala de aula formalizassem entre

outros, o conceito de energia, procuramos apoiar nosso estudo na análise das respostas dos estudantes em relação aos conceitos de ordem/desordem, reversibilidade/irreversibilidade presentes nos eventos cotidianos estudados dentro do mini curso.

Outro ponto a ser considerado diz respeito à nossa abordagem dos conceitos de calor e temperatura, extremamente importantes para a compreensão das Leis da Termodinâmica. O pré-teste evidenciou que os alunos da nossa amostra apresentaram explicações mais superficiais e arraigadas ao senso comum em relação a esses conceitos. Desta forma, além de introduzimos o conceito de energia através dos textos que trabalhamos em sala de aula, assim o fizemos com os conceitos de calor e temperatura, sem, contudo, utilizarmos o modelo cinético molecular em sua perspectiva microscópica pela complexidade que o trabalho exigiria e pelo conhecimento das nossas limitações de tempo. Fizemos portanto, uso do modelo macroscópico, procurando no entanto, tomar os devidos cuidados para que o formalismo científico fosse mantido.

Essa abordagem pareceu-nos também mais prática, pois seria inviável trabalhar o modelo microscópico e em tão curto espaço de tempo, acreditar que os alunos pudessem fazer a transferência do modelo macroscópico da Termodinâmica para o modelo microscópico. A idéia aqui presente sugere que o descompasso entre esses dois modelos só poderá ser equacionado através de uma série de intervenções (Aguilar Jr. 2002).

Sendo assim, para iniciarmos o trabalho com os alunos, atentamos às recomendações dos estudiosos da área de ensino de Ciências (Driver, 1988; Santos, 1991, Kesidou & Duit, 1993; Silva, 1995; Castro & Ferracioli, 2002) e procuramos partir de suas pré-concepções sobre processos espontâneos, fenômenos reversíveis através de ações e totalmente irreversíveis. Durante esta coleta (pré-teste), foi possível conhecer suas idéias sobre calor, temperatura e equilíbrio térmico. Estas últimas noções corroboraram aspectos levantados em pesquisas anteriores (Sciarretta, Stili e Missoni, 1990; Kesidou et. al. 1995; Silva, 1995; Silva, Fernandez e Carvalho, 1998; Greebowe & Meltzer, 2001) que evidenciam a dificuldade dos estudantes em relação a esses conceitos.

Utilizamos elementos da História da Ciência com duplo objetivo: como pano de fundo nos textos com intuito de contextualizar os conhecimentos trabalhados numa ordem temporal e identificar, quando possível, semelhanças entre as noções intuitivas iniciais dos estudantes e concepções cientificamente aceitas num determinado período da História. De fato, constatamos que em seus discursos, os estudantes tendem a confundir os conceitos de calor e temperatura, idéia essa, que permaneceu nebulosa até meados do século XVIII, quando Joseph Black, por volta de 1760, estabeleceu a diferença entre esses dois conceitos ao observar que eram necessárias diferentes quantidades de calor para se variar igualmente as temperaturas de substâncias distintas de mesma massa. Outra idéia presente nas respostas de alguns alunos, é a do calor como uma substância que “sai de um corpo e caminha para outro” – noção integrante da teoria substancialista do calor, surgida no início do século XVIII e que se tornou dominante quase meio século depois, quando Lavoisier adotou o termo de calórico para a “substância do calor”. Essa concepção permaneceu inabalada até o final do século XVIII, quando Benjamin Thompson (também conhecido como conde Rumford) passa a realizar uma série de experiências que o permite concluir que o calor é uma forma de movimento mecânico.

De qualquer forma, as reflexões e análises desenvolvidas neste trabalho têm a nosso ver, muito em comum com pesquisas nesta área do conhecimento, pois mostram a similaridade de concepções dos estudantes neste nível da educação formal em relação aos conceitos de Física Térmica.

Embora não seja possível afirmar que os alunos da nossa amostra, tenham adquirido uma sólida concepção que os habilitem para a compreensão das idéias relativas à Segunda Lei da Termodinâmica, ainda assim, consideramos positivo o resultado a que chegamos. Dada às circunstâncias em que a intervenção ocorreu (praticamente final de ano, época de avaliações, recuperações, campeonato esportivo), conseguimos em apenas cinco aulas, verificar uma evolução nas concepções de 7, de um total de 10 estudantes.

A evolução mais expressiva ocorreu com a aluna Regina, que inicialmente classificada na categoria A, pulou para a categoria D após o processo de ensino. Verificamos progresso significativo também no caso de Anne e Sheila,

que saltaram da categoria B no pré-teste, para a categoria mais elaborada D, após o mini curso. Além destes casos, pudemos comprovar também uma qualidade maior nas respostas dos alunos Cilene (que saiu da categoria A para C no pós-teste) e mais discretamente, Hudson e Joseane que classificados na categoria B do pré-teste, subiram para a categoria C após a intervenção.

Ainda gostaríamos de chamar a atenção para o caso dos participantes Alex, Héliida e Laís. Ao que tudo indica, ou estes estudantes não foram tocados pelo processo do conflito cognitivo ou de alguma forma não tiveram tempo suficiente para estabelecerem uma reequilibração. Com relação a isso, Coll et. al. (1996) lembra que:

*“Embora nem sempre o conflito conduza a um avanço na reorganização do próprio conhecimento, pode desempenhar a função de fazer os alunos refletirem sobre as próprias concepções, tornando-as explícitas”* (Coll, et. al., 1996, p.100).

Neste contexto, é bom lembrarmos que, o conhecimento não se apresenta como um amontoado de idéias e noções, mas sim como pontes que o indivíduo constrói a fim de modificar sua interação com o objeto, dependendo da amplitude e do momento da interação (Silva, 1990). Assim sendo, a aprendizagem não ocorre “via apreensão” de conceitos, mas através de uma representação pessoal de uma realidade objetiva. Não é totalmente improvável portanto, que os indivíduos participantes de uma mesma situação de ensino, tenham representações distintas do ocorrido num momento comum a todos (Coll, et al., 1996). Neste caso, poderíamos adotar como uma possível solução, trabalhar isoladamente com estes estudantes, na tentativa de extrair elementos que nos fizessem perceber quais foram os impedimentos no alcance do objetivo almejado.

Outro aspecto que desejamos enfatizar, é que para a realização desta pesquisa, optamos por dispensar o uso de um grupo de controle, uma vez que não era nosso intuito comprovar se o enfoque metodológico por nós utilizado na condução do processo, seria o único capaz de levar o aluno a uma aprendizagem significativa. Até mesmo porque, os resultados da adoção exclusiva de estratégias tradicionais de ensino, pautadas na pura e simples transmissão e

recepção passiva de conteúdos, são bem conhecidos por qualquer profissional preocupado com a coerência da sua prática.

Finalmente, acreditamos que esta investigação contribui para a área de ensino de Ciências, além de fornecer subsídios para estudos complementares. Entendemos que os resultados aqui discutidos bem como a proposta pedagógica envolvendo o mini curso para o ensino de entropia, possam ser utilizados por docentes do Ensino Médio como ponto de partida para outras experiências.

De modo geral, ainda acreditamos ser possível trabalhar através da metodologia aqui sugerida, não apenas conteúdos relacionados à disciplina de Física, mas também, conteúdos das diversas áreas das Ciências.

Por tudo o que foi dito, é preciso lembrar sempre que aprendizagem é um processo gradual e que a elaboração de novos conceitos depende em partes daquilo o que o indivíduo conhece e da profundidade que se deseja dar ao novo conhecimento. Isso significa que o educador, conhecendo as concepções prévias dos estudantes, deve ser capaz de planejar a sua intervenção de acordo com o nível de compreensão pretendido para os mesmos, em determinada ocasião. A tarefa do educador, portanto, deve ser sempre a de um agente provocador de desequilíbrios no esquema inicial dos educandos, desempenhando também um papel significativo no reequilíbrio posterior.

Como falamos anteriormente, não encerramos as possibilidades para um ensino de entropia com esta nossa proposta didática, mas ao contrário, constatamos através dela, que uma série de indícios merecem ser explorados e aprofundados.

## 8 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AGUIAR, JR., O. **As relações entre modelos micro e macroscópico na análise de fenômenos térmicos: superando contradições na sala de aula.** 2002. Disponível em: <[http://www.sbf1.if.usp.br/eventos/viii-epef/PDFs/COCD2\\_2.pdf](http://www.sbf1.if.usp.br/eventos/viii-epef/PDFs/COCD2_2.pdf)>. Acesso em 20/02/2003
- AURANI, K. M. Teorias do Calor no séc. XVIII: Flogístico, calórico, movimento. **Caderno sobre Ensino de Conceitos em Física II.** pp. 60 – 71, 1985.
- AURANI, K.M. **Ensino de Conceitos: Estudo das Origens da 2ª Lei da Termodinâmica e do Conceito de Entropia a Partir do Século XVIII.** 1986. Dissertação de **Mestrado**. Instituto de Física/Faculdade de Educação da USP.
- AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D. e HANESIAN, H. **Educational psychology: a cognitive view.** 2ª ed. New York, Holt, Rinehart e Winston, 1978.
- Bardin, L. **Análise de Conteúdo.** Lisboa: Edições 70, 1994. 225 p.
- BASSALO, J.M.F. A Crônica do Calor: Termometria. **Rev. de Ensino de Física,** v.13, n. 1, 135 -161, 1991.
- BASSALO, J.M.F. A Crônica do Calor: Calorimetria. **Revista Brasileira de Ensino de Física,** v. 14, n. 1, 29-38, 1992.
- BASSALO, J. M. F. **Crônicas da Física,** Tomo 5 Editora da UFPA, 1998. 288 p.
- BASTOS, F. Construtivismo e Ensino de Ciências. *In:* NARDI, Roberto (Org.) **Questões atuais no ensino de ciências.** São Paulo: Escrituras, 1998. p. 9 -26. 104p.
- BEN-ZVI, R. Non-science Oriented Students and the Second Law of Thermodynamics. **International Journal of Science Education,** v.21, n.12 pp. 1251 – 1267, 1999.
- BOGDAN, R.; BIKLEN, S. K. **Investigação em educação: uma introdução à teoria e aos métodos.** Porto: Porto Ed. 1994. 336 p.
- CARMO, L. A de C. **Perspectivas históricas e experimentais no desenvolvimento da equivalência calor – energia.** 1999. Dissertação de **Mestrado**. Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- CARVALHO, A.M.P. e BARROS, M.A. A História da Ciência iluminando o Ensino de Visão. **Revista Ciência & Educação,** v. 5, n. 1, pp. 83-94, 1998.

CARVALHO, A.M.P., GARRIDO, E., LABURU, C.E., MOURA, M.O., SANTOS, M.S., SILVA, D., ABIB, M.L.V.S., CASTRO, R.S., ITACARAMBI, R.R. e GONÇALVES, M.E.R. A História da Ciência, a Psicogênese e a Resolução de Problemas na Construção do Conhecimento em Sala de Aula. **Revista da Faculdade De Educação**, v. 19, n. 2, pp. 245-256, 1993.

CASTRO, R. S. & CARVALHO, A. M. P. The historic approach in teaching: analysis of an experience. **Science Education**. N. 4, pp. 65 – 85, 1995.

CASTRO, R. S. & CARVALHO, A. M. P. História da Ciência: como usá-la num curso de segundo grau. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 9, n. 3, pp. 225 – 237, 1992

CASTRO, R. & FERRACIOLI, L. (2002). Segunda Lei da Termodinâmica: Um estudo de seu entendimento por Professores do Ensino Médio. In: **CONGRESSO DE ENSINO DE FÍSICA DA SBF**, 8., 2001. Disponível em: [http://www.sbf1.if.usp.br/eventos.viii-epf/PDFs/CO19\\_3.pdf](http://www.sbf1.if.usp.br/eventos.viii-epf/PDFs/CO19_3.pdf) Acesso em 20/07/02

CHIZZOTTI, A. **Pesquisa em ciências humanas e sociais**. São Paulo, Cortez, 1991.

COHEN, L. & MANION, L. **Research methods in Education**. 4 ed. London and New York Routledge, 1994. 414 p.

COLL, C. et al. **Os conteúdos na reforma**: Ensino e aprendizagem de conceitos, procedimentos e atitudes. Porto alegre: Artes Médicas, 1998.182 p.

COLL, C. et al. **O construtivismo na sala de aula**. São Paulo: Ática, 1996, 221p.

COVENEY, P. & HIGHFIELD, R. **A flecha do tempo**. São Paulo: Siciliano, 1990.

COVOLAN, S. C. T. **Utilização dos preceitos da Teoria da Atividade**: a História da Ciência como instrumento na construção de conceitos científicos. 2002. Disponível em <http://chip.cchla.ufpr.br/caos/04-covolán.html>. Acesso em 05/12/2002.

CUNHA, A. M. O. **A mudança conceitual de professores num contexto de educação continuada**. Tese de **Doutorado**. Universidade de São Paulo, São Paulo, 479 p., 1999.

DIAS, P. M. C. A (Im) Pertinência da História ao Aprendizado da Física (Um Estudo de Caso). **Revista Brasileira de Ensino de Física**. v. 23, n. 2, 226 – 235, 2001.

DINIZ, R. E. S. Concepções e práticas pedagógicas do professor de ciências. **Educação para a Ciência**, n. 2, 27 – 32, 1998.

DREYFUS, A.; JUNGWIRTH, E.; ELIOVITCH, R. Applying the "cognitive conflict" strategy for conceptual change - some implications, difficulties and problems. **Science Education**, n. 74, 555 – 569, 1990.

DRIVER, R. & EASLEY, J. Pupils and paradigms: A review of literature related to concept development in adolescent science students. **Studies in Science Education**, v. 5, 61 – 84, 1978.

DRIVER, R. Psicología Cognoscitiva y Esquemas Conceptuales de los alumnos. **Enseñaza de las Ciencias**, v. 4, n. 1, 3-15, 1986.

DRIVER, R. Un Enfoque Constructivista para el Desarrollo del Currículo en Ciencias. **Enseñaza de las Ciencias**, v. 6, n. 2, 109-120, 1988.

DUIT, R., GOLDBERG, F. E NIEDDERER, H. Research in Physics Learning: Theoretical Issues and Empirical Studies. **Proceedings of an International Workshop held at the University of Bremen**. Bremen, Institut Für die Pädagogik der Naturwissenschaften an der Universität Kiel, 1991.

DRUYAN, S. Effect of the kinesthetic conflict on promoting scientific reasoning. **Journal of Research in Science Teaching**, n. 34, 1083-1099. 1997

DUSCHL, R.A.; GITOMER, D.H. Epistemological Perspectives on Conceptual Change: Implications for Educational Practice. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 28, n. 9, pp. 839-858, 1991.

EINSTEIN, A.; INFELD, L. **A Evolução da Física**. 4. ed. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1980.

FERRACIOLI, L. A. Modelagem do Raciocínio sobre a Reversibilidade de Processos. **Anais do III Seminário sobre Representações e Modelagem no Processo de Ensino-Aprendizagem**. Rio Grande, 2000.

FERRACIOLI, L. (2001). Aprendizagem, Desenvolvimento e Conhecimento na Obra de Piaget: Uma Análise do Processo de Ensino-Aprendizagem em Ciências. **Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos**, v. 80, n. 194, pp. 5 – 18, 2001.

GAGLIARDI, R. Cómo utilizar la historia de las Ciencias en la enseñanza de las ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 6, n. 3, pp. 291 – 296, 1998.

GIL PEREZ, D. & CARRASCOSA, J. Science learning as a conceptual and methodological change. **European Journal of Science Education**, v. 7, n. 3, pp. 231 – 236, 1985.

GIL PEREZ, D. Tres Paradigmas Básicos en la Enseñanza de las Ciencias. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 1, n. 1, pp. 26-33, 1983.

GIL PEREZ, D. Contribución de la Historia y de la Filosofía de las Ciencias al Desarrollo de un Modelo de Enseñanza/Aprendizaje como Investigación. **Enseñanza de la Ciencias**, v. 11, n. 2, pp. 197-212, 1993<sup>a</sup>.

GIL PEREZ, D., CARRASCOSA, J., DUMAS-CARRÉ, A., FURIÓ, C., GALLEGO, R., GENÉ, A., GONZÁLEZ, E., GUIASOLA, J., MARTÍNEZ TORREGROSA, J., PESSOA DE CARVALHO, A. M., SALINAS, J., TRICÁRICO, H. y VALDÉS, P. ¿Puede hablarse de consenso constructivistas en la educación científica? **Enseñanza de las Ciencias**, v. 17, n. 3, pp. 503-512. 1999.

GILBERT, A. **Origens Históricas da Física Moderna**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1982.

GIORDAN, A., VECCHI, G. de. **As Origens do Saber: das Concepções dos aprendentes aos conceitos científicos**. Porto Alegre: Artes Médicas, 1996. 223 p.

GREENBOWE, T. J. & MELTZER, D. E. Student Learning of Thermo chemical Concepts in the Context of Solution Calorimetry. A manuscript submitted to the **International Journal of Science Education**, 2001.

GUNSTONE, R.F., WHITE, R.T.; FENSHAM, P. Developments in Style and Purpose of Research on the Learning of Science. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 25, pp. 513-529, 1988.

HABER-SCHAIM, U. The role of second law of thermodynamics in energy education, **The Physics Teacher**, n. 17, 1983

HAWKING, S.W. **Uma Breve História do Tempo** - do Big Bang aos Buracos Negros. Rio de Janeiro, Rocco, 1988, 262p.

HEWSON, P. W., BEETH, M. E. e THORLEY N. R. Teaching for conceptual change. In B. J. Fraser & K. G. Tobin (Eds.), **International Handbook of Science Education**. Great Britain: Kluwer Academic Publishers, 1998.

KESIDOU, S.; DUIT, R. Students' Conceptions of the Second Law of Thermodynamics - An Interpretive Study. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 30, n. 1, pp. 85-106, 1993.

KESIDOU, S., DUIT, R.; GLYNN, S. M. Conceptual Development in Physics: Students' Understanding of Heat. **Learning Science in the Schools**, pp. 179 – 198, 1995.

LOPES, A.R.C. Contribuições de Gaston Bachelard ao Ensino de Ciências. **Enseñanza de las Ciencias**, v. 11, n. 3, pp. 324-330, 1993.

LOVERUDE, M. E.; KAUTZ, C. H. & HERON, P. R. L. Student understanding of the First Law of Thermodynamics: Relating work to the adiabatic compression of an ideal gas. **American Journal of Physics**, v. 70, n. 2, pp. 137 – 148, 2002.

MAGIE, W.F. **A Source Book in Physics**. New York: McGraw-Hill Book Co., Inc., 1935.

MARTINS, L. A. P. A História da Ciência e o ensino da Biologia. **Ciência & Ensino**, n. 5, pp. 18 – 21, 1998.

MARTINS, R. de A. Sobre o papel da História da Ciência no ensino. **Boletim da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, n. 9, pp. 3 – 5, 1990.

MASON, S. **História da Ciência**: As Principais Correntes do Pensamento Científico. Rio de Janeiro: Editora Globo, 1964.

MCDERMOTT, L. C. Research in conceptual understanding of mechanics. **Physics Today**, n. 37, pp. 23 – 32, 1984.

MCDERMOTT, L.C. What we Teach and What is Learned - Closing the Gap. **American Journal of Physics**, n. 59, pp. 301-315, 1991.

MONK, M.; OSBORNE, J. Placing the History and Philosophy of Science on the Curriculum: A Model for the Development of Pedagogy. **Science Education**, n. 81, pp. 405-424, 1997.

MOREIRA, M. A. **Aprendizagem significativa**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999.

MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science Education**, v. four, n. 3, pp. 262 – 287, 1995.

NEVES, M. A. D. & SAVI, A. A. A sobrevivência do alternativo: uma pequena digressão sobre mudanças conceituais que não ocorrem no ensino de física. **Ciência & Educação**, v. 6, n. 1, pp. 11 – 20, 2000.

PEREIRA JR., A. **Irreversibilidade física e ordem temporal na tradição Boltzmaniana**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1997.

PIAGET, J. **A Equilibração das Estruturas Cognitivas**. (Trad. M.M.S. Penna). Rio de Janeiro: Zahar editores, 1976.

PIAGET, J. e GARCIA R. (1987) - Psicogênese e História das Ciências. Trad. Maria F.M.R. Jesuíno. Lisboa, D. Quixote (original publicado em 1983).

PINTRICH et al. Beyond cold conceptual change: the role of motivational beliefs and classroom contextual factors in the process of conceptual change. **Review of Educational Research**, v. 63, n. 2, pp. 167 – 199, 1993.

POSNER, G.J., STRIKE, K.A., HEWSON, P.W. & GERTZOG, W.A. (1982). Accommodation of a Scientific Conception: Toward a Theory of Conceptual Change. **Science Education**, v. 66, n. 2, pp. 211-227, 1982.

QUADROS, S. **A Termodinâmica e a invenção das Máquinas Térmicas**. São Paulo: E. Scipione, 1996.

RESNICK, R.; HALLIDAY, D. **Fundamentos da Física**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 2. ed. 1993.

ROBILOTTA, M. R. O cinza, o branco e o preto – Da relevância da História da Ciência no Ensino de Física. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 5 (nº esp.), pp. 7 – 22, 1988.

ROBIN, N. & OHLSON, S. Impetus then and now: A detailed comparison between Jean Buridan and a single contemporary subject. **The History and Philosophy of Science in Science Teaching**. 1989. pp. 292-305.

RONAN, C. A. **História Ilustrada da Ciência** – Da Renascença à Revolução Científica. V. 4. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1995.

RONAN, C. A. **História Ilustrada da Ciência** – A Ciência nos Séculos XIX e XX. v. 4. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1987.

ROWELL, J. A. Piagetian Epistemology: Equilibration and the Teaching of Science. **Synthese**, n. 80, pp. 141-162, 1989.

ROWELL, J. A. e DAWSON, C.J. Equilibration, Conflict and Instruction: a New Class-Oriented Perspective. **European Journal of Science Education**. 7(4): 331-344, 1985.

SANMARTI, N.; CASADELLA, J. Semejanzas y diferencias entre las concepciones infantiles y la evolución histórica de las Ciencias: el ejemplo del concepto de fuerza y especialmente del de fuerza de gravedad. **Enseñanza de Las Ciencias**, v. 5, n. 1, pp. 53 – 58, 1987.

SANTOS, M.E.V. **Mudança Conceitual na Sala de Aula**. Lisboa: Livros Horizonte, 1991.

SELLTIZ, C., WRIGHTSMAN, L. S., COOK, S. W. **Métodos de Pesquisa nas Relações Sociais**. 2ª ed. V. 1. São Paulo: E. P. U., 1987

SCIARRETTA, M.R., STILI, R.; MISSONI, M.V. On the Properties of Materials: Common-Sense Knowledge of Italian Students and teachers. **International Journal of Science Education**, v. 12, n. 4, pp. 369-379, 1990.

SCOTT, P.H. Overtures and Obstacles: Teaching and Learning About Air Pressure in a High School Classroom. In: Novack, J.D. (org.) **Proceedings of Third International Seminar: Misconceptions and Educational Strategies in Science and Mathematics**. Ithaca, New York: Cornell University, in press, 1993.

SICHAU, C. Practicing Helps: Thermodynamics, History, and Experiment. **Science Education**, v. 9, 389 – 398, 2000.

SILVA, D. **O Ensino Construtivista da Velocidade Angular**. Livro da coleção Textos – Pesquisa para o ensino de ciências, n. 4 USP – Faculdade de Educação, 68 p, 1990.

SILVA, D.; FERNANDEZ NETO O conceito de Temperatura: Gênese, desenvolvimento e utilização. **Atas do XI Simpósio Nacional de Ensino de Física**. Niterói, Rio de Janeiro. pp. 380 – 385, 1995.

SILVA, D. **Estudo das trajetórias cognitivas de alunos no ensino da diferenciação dos conceitos de calor e temperatura**. Tese de doutorado. São Paulo. Faculdade de Educação da USP, 1995.

SILVA, D. E LATTOUF, R. Eletricidade: atividade de ensino coerente com um modelo construtivista. *Proposições*, Campinas SP, Special Issue: **Educação em Física**. v. 7 n. 19, pp. 41 – 57, 1996.

SILVA, D., FERNANDEZ NETO, V. & CARVALHO, A. M. P. Ensino da Distinção entre Calor e Temperatura: Uma visão construtivista. In: Nardi, R. (org.) **Questões Atuais no Ensino de Ciências**. São Paulo: Escrituras, pp. 61– 76 (Educação para Ciência 2), 1998.

SOLBES, J.; TRAVER, M. J. La utilización de la historia de las ciencias en la enseñanza de la física y la química. **Enseñanza de las Ciencias**, 14 (1), 103-112, 1996.

SOLOMON, J. How children learn about energy or does the first law come first? **School Science Review**, 63(224), 415-422, 1982.

VIENNOT, L. Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics. **European Journal of Science Education**, v.1, n. 2, pp. 202-222, 1979.

VIENNOT, L. **Experimental facts and ways of reasoning in Thermodynamics: Learner's common approach**, 1998. Disponível em: <<http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/C3.html>>. Acesso em 25/05/02

VILLANI, A. & BAROLLI, E. O Trabalho em grupos no laboratório didático: reflexões a partir de um referencial psicanalítico. **Ciência & Educação**, v. 6, n. 1, pp. 1 – 10, 2000.

VILLANI, A., BAROLLI, E., CABRAL, T. C. B., FAGUNDES, M. B. & YAMAZAKI, S. C. Filosofia da Ciência, História da Ciência e Psicanálise: Analogias para o Ensino de Ciências. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v.14, n. 1, pp. 37 – 52, 1997.

WHEATLEY, G. H. Constructivism perspectives on science and mathematics learning. **Science Education**, v. 75, n. 1, pp. 9 – 21, 1991.

ZAIN, A. N. MD. & SULAIMAN, F. (1998). Physics students' conceptions of Energy and Technological Development in Energy. **Renewable Energy**, v. 1 – 4, n. 14, pp. 415 – 419, 1998.