

SEGUNDA LEI DA TERMODINÂMICA: UM ESTUDO DE SEU ENTENDIMENTO POR PROFESSORES DO ENSINO MÉDIO *

Reginaldo Castro [rcaastro@cce.ufes.br]

Laércio Ferracioli [laercio@npd.ufes.br]

Laboratório de Tecnologias Aplicadas à Modelagem Cognitiva
Departamento de Física
Universidade Federal do Espírito Santo
[<http://www.modelab.ufes.br>]

1. INTRODUÇÃO

A Segunda Lei da Termodinâmica está intrinsecamente relacionada a fenômenos do cotidiano tais como um gás em expansão, a geração de Calor pelo atrito ou um objeto quente esfriando ao ar livre. No entanto, como mostra a literatura, alunos e professores nem sempre têm o real entendimento desta relação.

Desta forma, este estudo tem como objetivo investigar como a Segunda Lei da Termodinâmica é entendida por professores de Ensino Médio, uma vez que estes são os responsáveis pelo ensino deste tópico e a maneira de entenderem essa lei reflete diretamente na maneira de ensiná-la. O estudo foi realizado por professores participantes do programa Pró-Ciências/ES durante o segundo semestre de 2001.

Dessa forma, este Trabalho inicialmente apresentará, a descrição de algumas idéias sobre a Segunda Lei da Termodinâmica, uma breve revisão de literatura sobre este tema, seguido do relato do estudo realizado.

2. TEORIZAÇÃO E CONCEITOS ENVOLVIDOS NA PRIMEIRA E SEGUNDA LEI

2.1 Introdução

Termodinâmica é a ciência que trata das transformações de Energia e pode ser estudada a partir de suas leis básicas. A primeira Lei da Termodinâmica estabelece que Energia é sempre conservada em qualquer processo da natureza e é a base para a compreensão da natureza do Calor e do Trabalho como processos. A segunda Lei, através de seus enunciados determina uma assimetria fundamental na natureza. (Ferracioli 2001). Portanto a combinação da Primeira e Segunda Lei da Termodinâmica afirma que embora a *quantidade* total de Energia tem de ser conservada em qualquer processo, a distribuição desta Energia é alterada de uma maneira irreversível (Ferracioli 1994).

2.2 Os conceitos envolvidos na Primeira e Segunda Leis

Para um entendimento global da Segunda Lei da Termodinâmica, há de se levar em consideração os conceitos que fazem parte desta lei. Desta forma, os conceitos de Energia, Entropia, Temperatura, Calor e Trabalho fazem parte do contexto de estudo que levará ao Princípio da Segunda Lei.

Conforme estudos relatados por Martinez, J.M. e Perez (1997), a idéia de que Calor é a quantidade de Energia presente nos corpos e temperatura uma escala desta quantidade, faz parte das concepções prévias dos alunos. De acordo com os autores, estas concepções estariam ligadas ao fato de que Calor permanece como uma forma de Energia e diretamente relacionado às diferenças de temperatura.

Na conceituação de Trabalho há também algumas dificuldades em seu entendimento, principalmente a relacionada à sua definição que diz que Trabalho é o produto da Força pela distância. Para esta definição, por exemplo, o ato de lixar um pedaço de madeira tem coerência de sentido, mas quando se leva em conta o aquecimento da madeira pela lixa, uma conceituação, mais apurada, em termos de trocas de Energia sem mudança de Entropia será necessária (Ogborn 1986).

O conceito de Energia, na óptica das concepções do senso comum, está relacionado geralmente a algum tipo de combustível, que por sua vez está associado a diversos eventos e movimentos, revelando desta maneira uma confusão entre o conceito de Energia e Energia Livre. Sendo este último atrelado às propriedades do combustível (Ogborn 1986).

Desta forma, seria necessária uma estratégia de estudo voltada para os conceitos de Temperatura, Calor, Trabalho e Energia, com ênfase em seus aspectos de conservação, degradação, transferência e transformação para que haja um pleno entendimento das idéias relacionadas a Primeira e Segunda Lei da Termodinâmica.

2.3 Conceituação da Primeira Lei da Termodinâmica

A Primeira Lei da Termodinâmica relaciona o conceito de Trabalho ao de Calor através de sua expressão que define o conceito de Energia Interna:

$$\Delta U = Q + W \quad (1)$$

Assim: ΔU representa as trocas de Energia do sistema termodinâmico que caminha para um estado de equilíbrio como resultado de uma interação entre o sistema e suas vizinhanças; Q é a quantidade de Calor fornecida ou retirada do corpo e W é a quantidade de Trabalho realizado pelo sistema, neste caso recebendo sinal positivo, ou sobre o sistema, que para este caso recebe sinal negativo.

2.4 Conceituação da Segunda Lei

O enunciado de Kelvin (1824-1907) – Plank (1858-1947) estabelece a assimetria entre Trabalho e Calor definindo que é impossível construir uma máquina, operando em ciclos, cujo único efeito seja retirar Calor de uma fonte e convertê-lo integralmente em Trabalho ou seja nenhuma máquina converte Calor em Trabalho com eficiência total, alguma Energia é sempre perdida por dissipação para uma região de menor temperatura.

O enunciado de Clausius da Segunda Lei da Termodinâmica mostra uma implicação na direção dos processos naturais: O Calor não pode nunca passar de um corpo mais frio para um corpo mais quente sem que ocorram ao mesmo tempo mudanças associadas, pois o Calor em toda parte manifesta uma tendência em igualar diferenças de temperaturas ou seja o Calor sempre flui de objetos quentes em direção aos frios.

Desta forma segue que a combinação da Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica mostra que embora a *quantidade* total de Energia tem de ser conservada em qualquer processo, a *distribuição* dessa Energia é alterada de uma maneira irreversível. Em outras palavras, a Primeira Lei nega a possibilidade da Energia ser criada ou

destruída, enquanto que a Segunda Lei nega a possibilidade da Energia ser distribuída de qualquer maneira sem maiores conseqüências (Ferracioli 2001).

2.5 O Conceito de Entropia

A análise de alguns processos espontâneos tais como a expansão de um gás, aumento de temperatura de um corpo colocado em contato com outro de temperatura maior, concentração e diluição de uma solução ou deslizamento de um bloco sobre uma superfície com atrito, mostram que esses fenômenos ocorrem de forma espontânea sempre em um único sentido e nunca de forma contrária.

Porque nunca observamos o processo inverso espontâneo em alguns fenômenos?

O processo no sentido contrário de alguns fenômenos implicaria uma ordenação no movimento aleatório das moléculas, o que significaria a conversão da Energia Interna em Trabalho. Considerando o exemplo de um bloco que desliza em uma superfície com atrito, a Energia usada para aumentar a temperatura da superfície de contato no deslizamento do bloco seria recuperada de tal forma que à medida que a superfície alcança sua temperatura inicial, o bloco deveria se mover no sentido contrário, dirigindo-se a sua posição primitiva. Evidentemente isto não acontece na realidade (Aurani, 1986).

Portanto, a partir do que foi descrito, pode-se explicitar que enquanto a Primeira Lei introduz Energia como propriedade do sistema, a qual determina quais os estados que um sistema pode atingir, a Segunda Lei também possui uma quantidade associada, a Entropia, uma grandeza definida de forma que seu valor nunca decresce, sendo relacionada ao fato de um estado ser espontaneamente acessível (Ferracioli 2001).

5. REVISÃO DE LITERATURA

Kesidou e Duit (1993) investigaram o entendimento da Segunda Lei da Termodinâmica por estudantes de faixa etária entre 15-16 anos, sendo inicialmente entrevistados 34 estudantes e posteriormente outros 14.

Os autores relataram uma grande dificuldade de alunos em diferenciar os conceitos de Temperatura e Calor, sendo que o conceito de Energia não é entendido de maneira apropriada. É realçado também que os aspectos de *transporte, transformação, conservação e degradação* de Energia não são reconhecidos pelos estudantes que vêem Energia como algo relacionado à ação de um agente e o efeito provocado por essa ação

Em relação à Segunda Lei da Termodinâmica as conclusões dos autores foram baseadas na análise das respostas dos estudantes em relação à reversibilidade/irreversibilidade dos eventos estudados.

Desta forma em estudo feito sobre a irreversibilidade das oscilações do pêndulo constatou-se que a maioria dos estudantes não tem a idéia de que estas oscilações possam ser iniciadas espontaneamente, pois desconhecem o fato de que o pêndulo pode começar a oscilar por si mesmo com o resfriamento do ar de suas vizinhanças. Mostra-se com isso que os estudantes mantêm as idéias que se refletem suas concepções.

Assim os autores, em relação aos fenômenos da Irreversibilidade de um processo e do equilíbrio de temperatura entre dois ou mais corpos, afirmam que tem de haver um entendimento científico destes eventos para que estes possam ser levados em conta no processo de ensino da Segunda Lei já nos primeiros anos de ensino de ciências.

Em consideração ao aprendizado básico obtido na escola sobre as idéias da Segunda Lei, os autores levantam as seguintes questões:

1 - Os estudantes aprendem as idéias básicas da Segunda Lei durante a instrução de Física ?

Quando se focalizou o ensino da irreversibilidade com a atenção na degradação de Energia e desordem do sistema, os estudantes, a partir de suas concepções, ficaram convencidos que estes processos ocorrem por si mesmos em uma única direção. Neste sentido, o modelo de partículas se mostrou limitado na explicação destes eventos.

2 - Os estudantes adquiriram uma concepção sólida que os habilita para o entendimento das idéias relativas à irreversibilidade ?

O estudo mostrou que os estudantes não estruturaram o processo de entendimento de uma forma científica do conceito de Calor e Temperatura, não podendo, desta forma, descrever as interações térmicas como uma quantidade extensiva transferida de um corpo para o outro, como o Calor.

Os autores chegam à conclusão que os estudos e as idéias abordadas sobre a Segunda Lei no currículo tradicional de Física de nível médio não são bem sucedidas. O entendimento da irreversibilidade requer um entendimento adequado de equilíbrio térmico e transformação de Energia nos processos

Para isso, os conceitos de Temperatura, Calor e Energia, sendo esta abordada com ênfase às idéias de transformação, conservação, transferência e degradação, têm que compor as idéias básicas e partes integrais do ensino.

Solomon (1982), a partir de estudo elaborado com crianças londrinas, define alguns estágios no processo de ensino:

1. Mostrar através de exemplos a diferença entre Energia livre e Energia, realçando a transformação, degradação e armazenagem de Energia;
2. Responder as questões referentes à crise de Energia;
3. Definir alguns conceitos básicos quantitativamente, como força, atrito e peso. Mostrar uma relação com o conceito de Trabalho e definir suas unidades;
4. Mostrar processos de reversibilidade e conservação de Energia;
5. Mostrar que parte da Energia se torna inútil através do Calor, luz ou som em um sistema como a Terra. Apresentar uma versão simplificada da Segunda Lei.

Estes devem ser levados em conta no aprendizado do conceito de Energia, assim como suas propriedades de transformação, conservação, degradação e suas relações com a Segunda Lei da Termodinâmica

A autora enfatiza que o aprendizado sobre a Segunda Lei deve ser feito de uma maneira mais simplificada que o adotado em mecânica estatística. Para isso ela sugere que seja adotado um enunciado em que os estudantes tenham melhor acesso às idéias da Segunda Lei, podendo ser descrito como segue:

“As trocas de Energia ocorrem apenas em uma determinada direção, na qual a Energia nestas condições não pode ser mais utilizada”

Esta versão prática da Segunda Lei é mais intuitiva e fácil de usar, ao invés de máquinas que causam fenômenos em movimentos uniformes em uma única direção, resfriando o Calor da fonte e aquecendo as vizinhanças. Fenômenos como o atrito que reduz o movimento de um corpo, bolas que pulam até parar, um fluxo de água que desce a montanha até um reservatório ou a crise de Energia no mundo são exemplos de processos irreversíveis que auxiliam no aprendizado da Segunda Lei, atentando-se, porém, ao fato de que os alunos podem, a partir destas definições, não privilegiar o aprendizado da conservação de Energia, uma vez que podem pensar a Energia como algo que sempre toma um caminho para inutilidade.

A aplicação simples da Segunda Lei segundo autora, pode ajudar os alunos a aceitar a existência de processos endotérmicos, onde o Calor é retirado da vizinhança do sistema para a ocorrência do fenômeno, ou ainda o

esfriamento produzido pelo escape do ar através de uma diferença de pressão, tal como acontece no pneu da bicicleta.

Esta versão da lei não corrobora a perspectiva de se obter cálculos diretos e eficientes, mas em compensação, indicam diferentes caminhos que os alunos possam reconhecer seu uso.

O papel da Segunda Lei da Termodinâmica no ensino do conceito de Energia é abordado por Haber-Schaim (1983) que verifica um dilema entre os alunos quanto ao princípio conservação de Energia e o fato de que Energia nunca ser criada nem tampouco destruída. O autor afirma que uma possível causa desse dilema é a definição de Energia como a “capacidade de realizar Trabalho”, uma vez que esta definição pode provocar confusão entre os conceitos de Energia e Energia livre. A introdução de outros conceitos tais como Entropia e Energia Livre se faz necessário para um entendimento mais generalizado do conceito de Energia.

No mesmo caminho, no sentido de um entendimento mais genérico, seguiria a conceituação da Segunda Lei da Termodinâmica, que segundo o autor, deveria ser abordada através da utilização de eventos e sistemas encontrados no cotidiano das pessoas.

O autor também descreve alguns modelos e processos condicionados ao uso da Energia. Para isso ressalta a ligação estabelecida por estudantes mais novos entre a palavra combustível e as substâncias que queimam. Para isso ele sugere a adoção e a explicação de experimentos em que o aluno tenha uma noção mais abrangente do conceito de combustível, podendo usar para isso a relação de custo e escassez que ajudará no questionamento de como se pode ter processos em que são gerados mais produtos e menos subprodutos e com isso obter um conhecimento mais abrangente do conceito de Energia.

Conclui que uma outra maneira seria a de discutir a manifestação da Segunda Lei da Termodinâmica na linguagem cotidiana para depois seguir com o entendimento da Primeira Lei que aborda a conservação de Energia. Com isto os alunos mais adiantados terão possibilidades de discutir sobre assuntos relacionados a combustíveis e seu uso, em uma abordagem mais científica.

Ben-Zvi (1999), em seu estudo sobre a orientação dos estudantes em relação a temas relacionados à existência da vida humana e sobre a Segunda Lei da Termodinâmica descreve as dificuldades de aprendizado do conceito de Energia.

A autora ainda, no mesmo sentido de investigação e em revisão a outros artigos, analisa a relação existente entre as concepções das crianças com o caráter científico do conceito de Energia, verificando que as duas principais características de Energia abordadas foram a conservação e a transformação.

Dessa forma verifica em seus estudos que as pessoas não crêem no princípio da conservação de Energia ensinado na escola devido ao fato da existência de um custo financeiro em relação a esta quantidade. Para justificar essa afirmação, a autora fez a seguinte pergunta a um grupo de estudantes Israelitas da faixa etária 14 a 16 anos:

“É possível construir máquinas que realizam Trabalho sem a adição de combustível ?”

Os resultados são apresentados na Tabela 01.

Tabela 01: Respostas a respeito do conceito de Energia relacionada à Segunda Lei.

Resposta	Justificativa	% de Respostas
Sim	Pode ser usada a Energia do sol..	7,8
Sim	Através de Energia de uma reação	41,2
Não	Porque a Energia é sempre dissipada	2,0
	Respostas sem lógica	25,5

O estudo ainda verifica que quando explorado o conceito de Energia em torno da conservação, não há resultado satisfatório na direção de um esclarecimento do conceito de Energia Livre e Entropia como definido pela Segunda Lei da Termodinâmica. Justifica-se este resultado pelo fato de que a Energia pode ser convertida de uma forma em outra, mas nunca com 100% de eficiência, sendo que parte da Energia é sempre dissipada no processo

6. A CONCEPÇÃO DO ESTUDO

O objetivo deste estudo é investigar o entendimento de professores de Ensino Médio em relação à Segunda Lei da Termodinâmica. Como relatado no item anterior, os resultados de estudos realizados sobre este tema revelam o pouco entendimento desta lei e de conceitos correlatos por parte de estudantes de ensino médio. Assim, a escolha de professores de ensino médio para a realização deste estudo é baseada no fato de que estes são os responsáveis pelo ensino deste tópico e que a maneira de entenderem e explicarem este conteúdo refletirá diretamente no modo de ensiná-lo. Assim, durante as realizações do programa Pró-Ciências/ES foi aplicado um questionário com questões discursivas aos professores participantes.

6.1 O Questionário

O questionário, em sua página inicial, continha algumas recomendações a respeito de como deveria ser respondido, propiciando uma situação em que o professor respondesse às questões sem preocupação com erros e com isso conseguir respostas que se aproximem mais do entendimento dos professores sobre a Segunda Lei da Termodinâmica.



As páginas seguintes apresentavam 7 questões abertas, onde os professores eram questionados, de forma indireta sobre seus conhecimentos a respeito da Segunda lei da Termodinâmica.

Para isso o questionário foi estruturado a partir de um fenômeno de interesse científico, para o qual a explicação dos professores pudesse diferenciar-se de explicações científicas, além do fato de ser familiar e facilmente encontrado no cotidiano. O fenômeno escolhido foi o resfriamento de um líquido.

Dessa forma, a primeira questão consistiu na apresentação gráfica do evento seguido de uma frase que o descrevia e da pergunta “Uma maneira de ir de A para B”. A Segunda questão apresentava esta repetição gráfica do fenômeno ao inverso com a pergunta “Uma maneira de ir de B para A”. Estas duas questões tinham o objetivo de levar o professor a refletir sobre processos ocorrendo de modo natural e não natural.

Na seqüência foram apresentadas mais 5 questões cujos objetivos são apresentados na Tabela 02.

Tabela 02: Descrição das Questões do Questionário

Questões	Objetivos
<p>1 Uma maneira de ir de A para B.</p> 	<p>Refletir sobre um processo termodinâmico ocorrendo de modo natural.</p>
<p>2 Uma maneira de ir de B para A:</p> 	<p>Levar o sujeito a refletir que o processo anterior só é passível de reversibilidade por um caminho não natural</p>
<p>3 Descreva com suas próprias palavras as possíveis razões que explicam os processos de A para B</p>	<p>Levar o sujeito a explicar, com suas próprias palavras, os processos descritos na primeira situação.</p>
<p>4 Descreva com suas próprias palavras as possíveis razões que explicam os processos de B para A</p>	<p>Levar o sujeito a explicar, com suas próprias palavras, os processos descritos na segunda situação.</p>
<p>5 Existem leis da física que explicam os processos A para B ?</p>	<p>Levar o sujeito a descrever uma lei física ou uma forma alternativa de entendimento que justifique o fenômeno ocorrido na primeira situação</p>
<p>6 Existem leis da física que explicam os processos B para A ?</p>	<p>Levar o sujeito a descrever uma lei física ou uma forma alternativa de pensamento que justifique o fenômeno ocorrido na segunda situação.</p>
<p>7 Caso você se recorde, escreva com suas próprias palavras, um enunciado da Segunda lei da Termodinâmica.</p>	<p>Levar o sujeito a descrever, com suas próprias palavras, a Segunda Lei da Termodinâmica.</p>

7. RESULTADOS

As respostas dos professores às questões foram analisadas através da utilização de redes sistêmicas (Bliss et al., 1983). As redes sistêmicas são instrumentos de análise de dados qualitativos através da categorização de seus principais aspectos, sendo seus principais componentes o *colchete* e a *chave*; um colchete é usado para representar um conjunto de escolhas exclusivas, ao passo que uma chave é usada para representar um conjunto de escolhas que ocorrem simultaneamente.

7.1. Análise e Resultados das Questões 5 e 6

Neste Trabalho serão relatados somente os resultados de análise das questões 5, 6 e 7 do questionário aplicado. Assim, primeiramente serão discutidos os resultados das questões 5 e 6 e a seguir serão analisadas as respostas dos professores em relação à questão 7, que os questiona diretamente sobre o conceito da Segunda Lei da Termodinâmica. Os aspectos categorizados neste estudo para as questões 5 e 6 são caracterizados a seguir.

7.1.1 Conceitos Termodinâmicos

Esta categoria inclui respostas que mostraram alguma relação com conceitos relacionados a Primeira e Segunda Lei, com isto Calor, Energia e Temperatura fizeram parte deste contexto.

- **Respostas categorizadas como *Conceitos Termodinâmicos* em relação ao processo de A para B:**

Calor: O processo ocorreu por absorção de Calor ou ainda por transferência do Calor devido a diferença de temperatura e ainda outros resultados conforme mostra a rede, sendo que 10 respostas foram registradas com relação a este conceito. As repostas dos professores (RP) foram exemplificadas como segue.

RP: *“Transferência de Calor de um corpo de temperatura mais elevada para um de temperatura mais baixa”*

RP: *“O corpo de maior temperatura perde Calor (Energia em trânsito) para o de menor temperatura.”*

Energia: O processo ocorreu pela conservação, transferência ou pelo fornecimento de Energia com aumento de temperatura, sendo que quatro professores usaram este termo de forma enfatizada em suas respostas.

RP: *“Sim. A que fala sobre equilíbrio térmico, isto é, dois corpos com temperaturas diferentes colocados em contato, vai haver troca de Energia (Calor), que flui do corpo de maior temperatura para o de menor temperatura”*

RP: *“Termodinâmica – Transferência de Energia”*

Temperatura: Respostas que foram dadas em termos de equilíbrio térmico, ou diferença de temperatura devido ao recebimento de Calor, ou que esta diferença ocasionou troca de Energia, sendo que 18 pessoas responderam neste sentido.

RP: *“Sim. O processo de Calorimetria, onde todos os corpos com temperaturas diferentes tendem a receber Calor de um corpo mais aquecido”*

RP: *“A troca de Energia térmica entre o sistema (líquido) e o meio acontece porque suas temperaturas são diferentes.”*

- **Respostas categorizadas como *Conceitos Termodinâmicos* em relação ao processo de B para A:**

Calor: Neste sentido foram apresentadas 13 respostas.

RP: *“Sim. Princípios da troca de Calor”*

RP: *“Trocadas de Calor”*

Energia: Foram descritas 6 respostas que continham em destaque o conceito de Energia.

RP: “*Sim. Quando fornecemos Energia a um corpo sua temperatura tende a aumentar*”

RP: “*O sistema receberá Energia de uma fonte e sua temperatura aumentará*”

Temperatura: Foram apresentadas 7 respostas que continham este conceito como característica principal.

RP: “*Sim. A lei que diz que dois corpos em contato tendem a igualar as temperaturas*”

RP: “*Sim. Equilíbrio Térmico*”

7.1.2. Princípios

Foram categorizadas nesta linha as respostas que eram dadas em termos de princípios gerais, aqui sendo incluídas a Primeira e Segunda Lei da Termodinâmica, assim como princípios relacionados à Calorimetria, tais como: a quantidade de calor sensível retirada ou fornecida para um corpo ($Q = mc\Delta t$) e a relação de pressão, volume, temperatura e número de mols assumida pela equação de Clapeyron ($PV = nRT$).

- **Respostas categorizadas em *princípios* com relação ao processo de A para B:**

Termodinâmica e Calorimetria: As respostas assim categorizadas eram dadas diretamente na forma de um princípio físico ou Lei. Do total de professores que responderam ao questionário, apenas 9 professores optaram por este caminho.

RP: “ *$Q = mc\Delta t$ (quantidade de Calor)*”

RP: “*Primeira Lei da Termodinâmica (transferência de Calor)*”

- **Respostas categorizadas em *princípios* com relação ao processo de B para A:**

Termodinâmicos e Calorimetria: Foram registradas 7 respostas em termos de princípios, sendo 3 para princípios de Calorimetria e 4 para princípios termodinâmicos.

RP: “*Calorimetria*”

RP: “*A lei zero da Termodinâmica*”

7.1.3. Modelos Cinéticos

Nesta situação encontram-se as respostas dadas em termos de movimento de partículas:

- **Respostas categorizadas em *Modelos Cinéticos* com relação ao processo de A para B:**

As respostas mostram uma justificativa do evento em termos de movimento de partículas, foram encontradas 2 respostas neste sentido

RP: “*Movimento centrípeto*”

RP: “*Estudo do movimento*”

- **Respostas categorizadas como *Conceitos Termodinâmicos* em relação ao processo de B para A:**

A mesma observação feita para o processo A – B é válida neste caso, sendo que as 2 respostas encontradas neste sentido foram:

RP: “*Moléculas de A mais velozes devido ao fornecimento de Calor*”

RP: “*Estudo do movimento*”

7.1.4. Processos Físicos

São enquadradas nesta categoria as respostas que estavam relacionadas à fenômenos ou processos físicos, tais como *condução* e *aumento de entropia*, ocorrendo apenas no processo de B para A.

- **Respostas categorizadas em *Processos Físicos* em relação ao processo de A para B:**

Foram respostas dadas em termos fenomenológicos, como *condução e aumento de entropia*, sendo 3 o número de respostas dadas neste sentido.

RP: “*Pelo processo de condução*”

RP: “*Condução*”

RP: “*Aumento de entropia do universo*”

7.1.5. Outros

Como apresentado na tabela 03, este tópico refere-se às respostas sem nenhuma relação com os tópicos anteriores, sendo aqui registradas as respostas de cunho afirmativo, negativo, em branco, desconhecido ou fora do contexto de estudo. Está categorização é encontrada tanto no processo de A para B, como também no processo de B para A.

As respostas relativas à palavra *outros* descrita nas redes, referem a respostas que não tinham uma fundamentação física. Num total de 60 questionários aplicados, foram registradas da maneira como segue:

Tabela 03: *Quantidade de respostas, relativas às questões 5 e 6, associada à palavra outros descrita nas redes sistêmicas*

Categorias de Respostas	Questão 5 A - B	Questão 6 B - A	Total
Sim	5	2	7
Sim, mas não conhece	2	3	5
Não	1	3	4
Desconhece	3	6	9
Em branco	1	3	4
Total	12	17	29

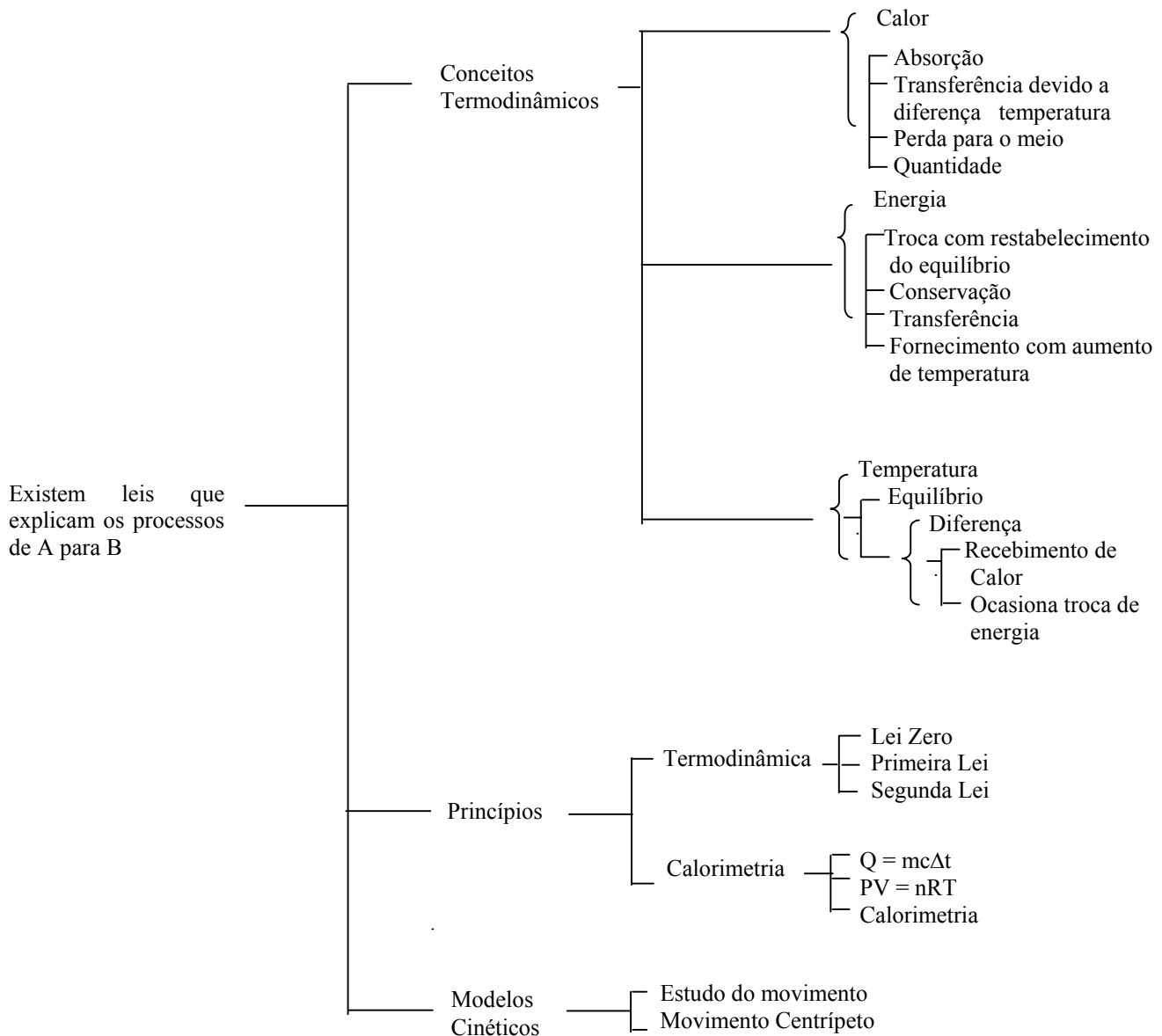
A análise das questões 5 e 6 mostram que a maior parte das respostas descritas pelos professores se reportaram a conceitos relacionados a termodinâmica, como Calor, Temperatura e Energia, sendo que os aspectos de transformação, transferência, conservação e equilíbrio, relacionados a estes conceitos, também foram lembrados. Poucas respostas se reportaram a modelos cinéticos, sendo 2 respostas verificadas apenas.

Notou-se também que a maioria das respostas dada pelos professores não traz um conteúdo de cunho científico apropriado e que poucos tem conhecimento das relações que envolvem os conceitos da Primeira e Segunda Lei da Termodinâmica.

Outras respostas em termos de leis e relações diretas também foram constatadas através da categorização de *Princípios*, que foi dividido ainda princípios de *Termodinâmica* e *Calorimetria*. Neste sentido foram registradas 17 respostas ao todo

7.2. Descrição da Rede Sistêmica

As redes representam o questionamento feito aos professores sobre a existência de leis que explicam os fenômenos de resfriamento de um líquido em uma xícara e seu inverso. As redes apresentadas a seguir, nas Figuras 01 e 02, podem ser descritas iniciando-se pelos termos mais à esquerda, que apresentam os aspectos mais gerais dos dados e, seguindo para direita o nível de detalhamento vai aumentando até atingir o extremo oposto onde os termos mais à direita representam informações mais próximas aos dados brutos de forma a categorizar as respostas dos professores a partir de aspectos relacionados a conceitos, princípios, modelos, e outros aspectos que são definidas como se segue.



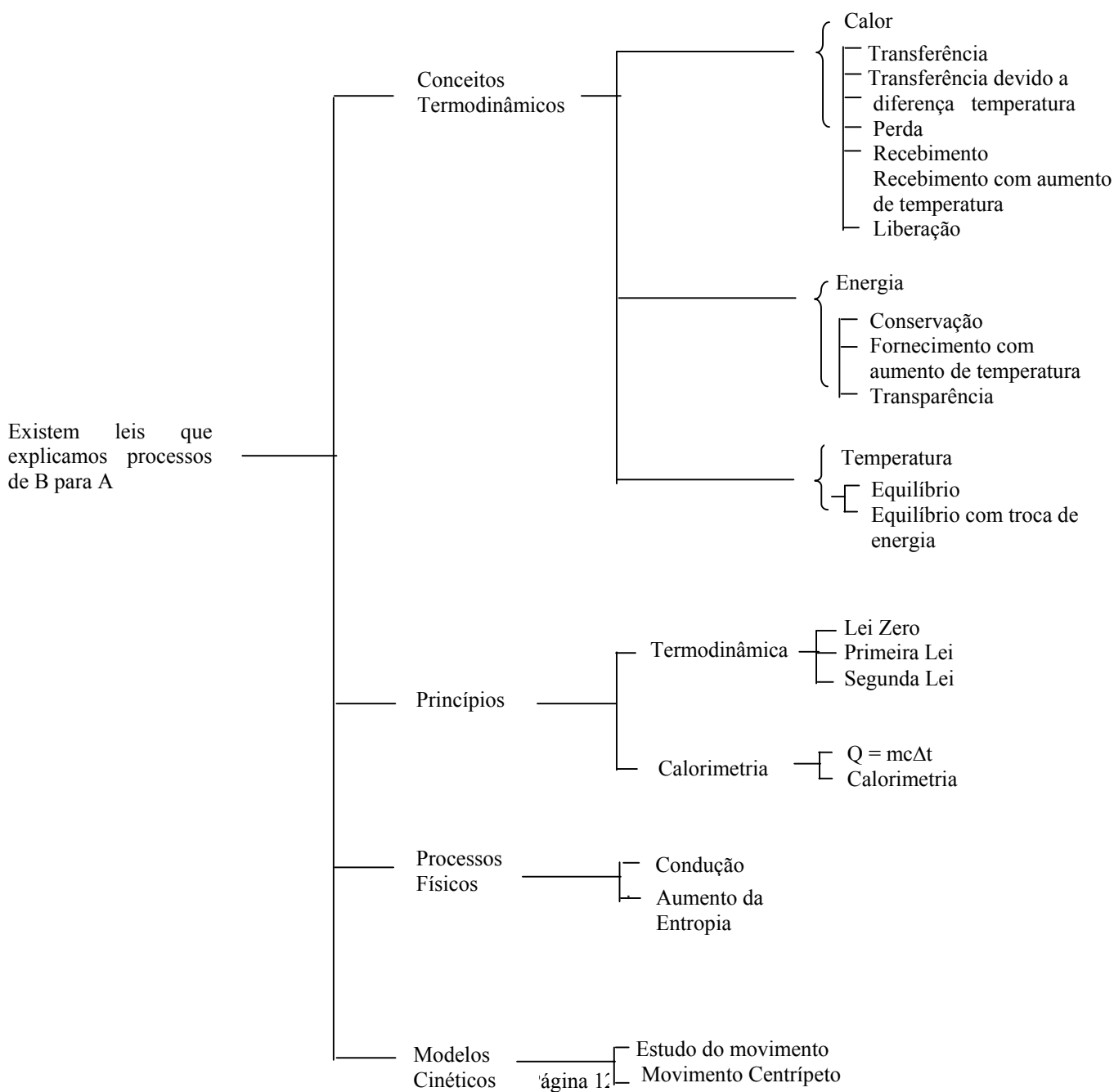


Figura 02: Rede Sistêmica Sobre as Respostas Dadas à Questão 6 Referentes ao Processo de B para A

7.3. Resultados Relativos ao questionamento sobre a Segunda Lei da Termodinâmica

Para avaliação da questão 7, que questionava de forma direta o entendimento com relação à Segunda Lei da Termodinâmica, as respostas foram categorizadas a partir de princípios relatados pelos professores. Alguns exemplos de respostas também são citados, conforme apresenta a tabela 04.

Tabela 04: Tipos de respostas dadas à última questão do questionário.

Tipos de respostas	Quantidade	Exemplos de Respostas dos Professores
Primeira Lei da Termodinâmica	3	<i>“A variação de Energia interna de um gás é igual à quantidade de Calor menos o Trabalho realizado”</i>
Segunda Lei da Termodinâmica segundo o enunciado de Clausius	2	<i>“O Calor não passa espontaneamente de um corpo mais quente para um mais frio”</i>
Segunda Lei da Termodinâmica segundo o enunciado de Kelvin-Plank	1	<i>“É impossível uma máquina térmica realizar Trabalho, sem perder Calor para uma fonte fria ou não existe máquina que tenha um rendimento igual a 100%”</i>
Transferência de Calor, com menção à Segunda Lei da Termodinâmica (Enunciado de Clausius)	5	<i>“O fluxo de Calor se dá do corpo que estiver com maior temperatura para o menor. Para o fluxo de Calor ocorrer no processo inverso existe a necessidade de realização de Trabalho”.</i>
Equilíbrio Térmico, com menção a Segunda lei da Termodinâmica (Enunciado de Clausius)	2	<i>“A Energia térmica passa de um corpo de maior temperatura para um de menor temperatura ocorrendo um equilíbrio térmico”</i>
Equilíbrio Térmico	3	<i>“Quando dois ou mais corpos são colocados em contato (corpos de temperaturas diferentes) há uma troca de Calor entre si até atingirem o equilíbrio térmico”</i>
Transferência de Calor com aumento de temperatura	2	<i>“Não se pode aumentar a temperatura de um sistema, sem que haja introdução de Calor”.</i>

Máquinas Térmicas	1	<i>“Máquina Térmica (ciclo de Carnot). Busca pelo maior rendimento da máquina”</i>
Entropia	1	<i>“Entropia”</i>
Desconhece	25	—
Em branco	13	—
Outros	2	—
Total	60	—

As respostas apresentadas à questão 7 mostram que mais da metade dos professores não fizeram referência à Segunda Lei, isto pode ser verificado a partir do número de respostas em branco somadas às respostas onde os professores afirmaram desconhecimento da Segunda Lei.

Apenas 2 respostas levam ao princípio do enunciado de Clausius para a Segunda Lei, quando foram feitas referências ao equilíbrio térmico através da passagem de Calor ocorrida por diferenças de temperatura. Também neste sentido outros 5 descreveram a Segunda lei em termos de transferência de Calor.

Somaram 3 as respostas que se aproximaram do enunciado da Segunda lei, sendo 2 se reportando ao de Clausius e outra ao de Kelvin-Plank. Em outras 3 respostas houve uma nítida confusão, quando na troca da Segunda pela Primeira Lei.

A designação *outros*, refere-se a respostas que não apresentavam embasamento teórico mais amplo para sua classificação. Segue-se alguns exemplos.

RP: *“Um sistema isolado termicamente”* ou ainda

RP: *“O corpo tende a variar sua temperatura de acordo com os fatores que implicam sua natureza”*

A partir destes resultados e mesmo sendo poucas respostas apresentadas para esta questão, pode-se verificar que o entendimento apresentado pelos professores para a Segunda Lei se dá de maneira incompleta, revelando muitas vezes uma falta de embasamento teórico sobre o tema, ou ainda uma confusão entre os princípios da Primeira, Segunda Lei e procedimentos de Calorimetria.

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise das questões 5 e 6 mostrou que vários conceitos foram usados na explicação dos eventos apresentados nas questões 1 e 2, como Calor, Temperatura e Energia, assim como respostas relacionadas a princípios, tais como “Primeira Lei, Segunda Lei, Lei Zero e Calorimetria”, ou ainda aqueles que citavam apenas equações, tais como $Q=mc\Delta t$, $pV=nRT$.

Dessa forma, a falta de conhecimento científico entre estes conceitos foi percebida principalmente quando se mencionavam Equilíbrio Térmico e as idéias da Primeira e Segunda Lei para explicar o mesmo fenômeno.

Quanto à análise da questão 7, esta mostrou pouco conhecimento entre os professores em relação à Segunda Lei da Termodinâmica, resultado este constatado através do número de respostas em branco e também aquelas que apresentavam desconhecimento desta Lei.

Ainda em relação a esta questão não foi verificada nenhuma resposta que se reportasse aos fenômenos de degradação de Energia e irreversibilidade, que poderiam de algum modo constar como aspecto para explicação dos eventos apresentados. Assim sendo é notório que o grupo de professores avaliados não possuem uma conscientização científica a respeito da Segunda lei, sendo esta muitas vezes confundida com a Primeira Lei, com princípios de Calorimetria ou ainda a equação de estado de um gás natural ($PV = nRT$).

Em relação aos enunciados, o de Clausius, foi o mais verificado entre as respostas, quando 5 professores citaram o princípio da Segunda Lei em termos de fluxos de Calor, 2 em termos de Equilíbrio Térmico e outros 2 quando fizeram uso das idéias do próprio enunciado para responder a questão.

Notando que os dados referentes à pesquisa foram coletados de professores de Ensino Médio, que são os responsáveis pelo ensino deste tópico, o estudo revela a realidade do ensino de ciências com relação à este assunto.

Este estudo leva a uma consciência de que algo precisará ser feito no sentido de termos estes conteúdos efetivamente incluídos no currículo do ensino de ciências já nos cursos elementares.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FERRACIOLI, L. **Commonsense Reasoning About Processes: A Study of Ideas About Reversibility.** Dissertação (Doctor of Philosophy) – Institute of Education, University of London., 1994.
- AURANI, K. M., **Ensino de Conceitos: Estudo das Origens da Segunda Lei da Termodinâmica e do Conceito de Entropia a Partir do Século XVIII,** 1986, 113 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas) – Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade de São Paulo.
- PEREIRA, M, R, S. **O Conceito da Energia na Visão do Senso Comum: Um Estudo Sobre Objetos e Entidades,** 1999, 219 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas) – Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Espírito Santo.
- PINHEIRO, C, G. **O Conceito de Energia na Visão do Senso Comum: Um Estudo Sobre Eventos e Processos,** 2000, 213 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas) – Programa de Pós-Graduação em Física, Universidade Federal do Espírito Santo.
- ATKINS P. W., **The Second Law,** 1 ed., Scientific American Inc, 1984, 230 p.
- SOLOMON J., **Getting to Know About in School and Society,** 1 ed., The Falmer Press, 1992, 201 p.
- BLISS, J et tal **Qualitative Data Analysis for Educacional Research: a guide of systemic networks,** 1 ed., London Helm, 1983, 215 p.

- SOLOMON, J. How children about energy or does the first law come first. **The School Science Review**, p. 415-422, 1982.
- WATTS, D. M. Some alternative views of energy. **Physics Education**, v. 18, p. 213-217, 1983.
- SOLOMON, J. Teaching the conservation of energy, **Physics Education** v. 20, p. 165-170, 1985
- URI HABER-SCHAIM. The role of the second law of thermodynamics in energy education, **The Physics Teacher**, P. 17-20, 1983
- CHARLES R. AUT. JR, NOVAK, J. D., GOWIN D.B. Constructing eve maps for clinical interviews on energy concepts, **Science Education**, n. 72(4), p. 515-545, 1988.
- SOLBES, J., TARÍN, F. Algunas Dificultades en torno a la conservación de la energía, **Enseñanza de Las Ciencias**, n. 16(3), p. 387-397, 1998
- MARTÍNEZ, J.M., PÉREZ, B. A. Estudio de propuestas alternativas en la enseñanza de la termodinámica básica, **Enseñanza de Las Ciencias**, n.15(3), p. 287-300, 1997
- DUIT, R., KESIDOU S. Students conceptions of the second law of thermodynamics – an interpretative study, **Journal of Research in Science Teaching**, v. 30, n. 1, p. 85-106, 1993.
- OGBORN, J. Energy and fuel: the meaning of ‘the go of things - **The School Science Review**, p. 31-35, 1986
- FERRACIOLI, L. O conceito de Energia e a Educação Ambiental, **Caderno Modelab 11** (Publicação Interna), p. 2-7, 2001.