SBI-IFUSP
30M810T1477

TERESINHA TERUKO HIGA

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA: ESTUDO HISTÓRICO E LEVANTAMENTO CONCEITUAL DOS ALUNOS

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO
1477
ex. 1
INSTITUTO DE FÍSICA

Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências - Modalidade Física
Instituo de Física e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo.

Orientação: AMÉLIA IMPÉRIO HAMBURGER

Defesa em 16/12/88

SÃO PAULO

1988

530.07
H634c
M
ex. 1

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo

Higa, Teresinha Teruko
Conservação de energia: estudo histórico e levantamento do universo conceitual dos alunos. São Paulo, 1988.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Instituto de Física. Departamento de Física Experimental.
Área de Concentração: Ensino de Ciências (Modalidade Física)
Orientador: Profa. Dra. Amélia Império Hamburger

Unitermos: 1.Ensino de conceitos; 2.Natureza do calor; 3.Origem da 1ª lei da termodinâmica; 4.Proposta pedagógica.
USP/IF/SBI - 41/88

AGRADECIMENTOS

À Amelia, pela orientação que com os gestos e a ação me substantivou o significado da prática do diálogo, possibilitando criar este trabalho.

Ao prof. Ernst W. Hamburger, pelo apoio junto às instituições e o meu retorno para a conclusão deste estudo.

Aos professores que frequentaram o curso de Extensão e aos alunos de Prática de Ensino, pelas contribuições na reflexão deste trabalho.

À Maria e ao Edson, ambos professores, pela aplicação dos questionários

Aos alunos da E.E.S.G. "São Paulo" e da E.E.S.G "Prof. Américo de Moura", pelas informações conceituais fornecidas no levantamento.

À Fátima, pelos desenhos e organização das tabulações.

Aos amigos do grupo, co-participantes, pós-graduandos e professores como eu, pelo compartilhamento nas discussões de conteúdo e ansiedades que me mostraram, além da amizade, a solidariedade e o incentivo.

Aos amigos de sempre, também co-participantes, pelo carinho, por muitas conversas, pelas intenções e pela presença.

Ao Zé Roberto e ao Carlos Sergio, amigos e companheiros de trabalho, pela demonstração de compromisso e solidariedade.

À Elza e à Sumie, minhas cunhadas, pela presteza no compartilhamento das tarefas do cotidiano familiar.

Ao Osvaldo, meu irmão, pela leitura e revisão.

À Rita, à Cláudia, à Iracema e à Lia pela compreensão e simpatia.

Ao Anibal pelo bom humor.

ABSTRACT

The origins of the concept of energy and the energy conservation principle are studied in connection with the non formal previous understanding of this concepts by nowadays students.

The concepts of heat, work and energy are, therefore, considered at two distint moments: historically , as they appear in scientific texts, and presently, as they are understood by the students.

What is intended is to subsidise the teachers' formation with historical and epistemological elements related to scientific concepts, as well as the development of a classroom methodology.

The XVIII century conceptual struggle on the nature of heat is shown, since the caloric, a fluid, to the ideia of heat as movement, converging to the complete formulation of the energy concept.

Besides that historical part, this work shows an investigation made with public high-school students on thermodynamical concepts like heat, energy, fluid and force. That investigation was done through a written questionary and a sinoptic network has been developed for the analysis.

Finally, the historical studies and the conceptual investigations are connected to show their significance in teaching activities. A pedagogical proposition is made using the sinoptic network as instrument to promote a dialogic interaction at the classroom, and a comparasion with the scientific knowledge historically developed.

RESUMO

A origem do conceito de energia e da lei de sua conservação, bem como levantamento e uso em sala de aula das idéias prévias dos alunos, constituem objeto deste trabalho.

Tratamos do estudo do conceito de calor e energia em dois momentos: em sua origem nos textos científicos e no momento atual no entendimento dos alunos.

A finalidade é fornecer subsídios à formação do professor, procurando tornar acessível elementos históricos e epistemológicos relativos à origem dos conceitos científicos.

Apresentamos os embates ocorridos no século XVIII sobre a natureza do calor — calor como fluido sutil (calórico) e calor como movimento — até a formulação completa do conceito de energia.

Além da parte histórica, realizamos um levantamento, junto a alunos de segundo grau da rede oficial de ensino, sobre os conceitos da Termodinâmica (calor, energia, fluido e força). O instrumento utilizado para o levantamento conceitual foi um questionário escrito e a partir de sua análise foi a construida uma rede sinótica de significados.

Por fim, tratamos de interligar os estudos históricos e o levantamento do universo conceitual para destacar a importância desses procedimentos de análise na atividade do professor. Sugerimos uma proposta pedagógica onde a organização do conteúdo na interação professor-aluno, se configure como instrumento de mediação na atividade didática. Em outras palavras, o conhecimento do desenvolvimento histórico e do universo conceitual dos alunos em sala de aula como instrumento catalisador de interação dialógica.

CONSERVAÇÃO DE ENERGIA: ESTUDO HISTÓRICO E LEVANTAMENTO DO UNIVERSO CONCEITUAL DOS ALUNOS

Índice

Apresentação..... 1

I. Proposta pedagógica

I.1. - Introdução..... 4
I.2. - Elementos catalisadores de interação dialógica: estudo histórico dos conceitos, levantamento e organização do universo conceitual dos alunos..... 12

II. Estudo histórico sobre os conceitos de calor e energia

II.1.- Introdução..... 14
II.2.- Conceitos importantes sobre calor..... 17
II.2.1 - Teoria do calórico..... 19
II.2.2 - Teoria dinâmica..... 21
II.2.3 - Quantidade de calor e temperatura... 27
II.2.4 - Calor específico e latente..... 33
II.3.- Coexistência das visões de calor como fluido, calórico, e calor como movimento..... 42
II.4.- Transformações de calor: princípios de equivalência..... 45
II.4.1 - As contribuições de Mayer..... 45
II.4.2 - Joule e a determinação do equivalente mecânico do calor..... 60
II.4.3 - Sadi Carnot e as máquinas térmicas..... 69
II.4.4 - As relações de equivalência calor-trabalho..... 72
II.4.5 - A síntese de Clausius - 1ª e 2ª leis da Termodinâmica..... 75
II.5.- T.S. Kuhn - Descoberta múltipla e simultânea ?..... 80

III. Levantamento e organização do universo conceitual dos alunos
III.1.-Características do instrumento utilizado..... 96
III.2.-Aplicações do questionário..... 102
III.3.-Respostas apresentadas..... 104
III.4.-Análise preliminar..... 108
III.5.-Proposta de reorganização e uso dos resultados..... 129
III.6.-Elaboração de rede sinótica de significados - uma metodologia de análise..... 132

IV. Conhecimento do desenvolvimento histórico e do universo conceitual dos alunos em sala de aula como instrumento catalisador de interação dialógica..... 153
IV.1.- A historicidade do conhecimento..... 155
IV.2 - Rede sinótica de significados um instrumento de mediação de conteúdo..... 160
IV.3 - Aplicações e considerações finais..... 166

V. Referências e notas..... 169

Apêndice: "Sobre a determinação do equivalente mecânico do calor" - J.P.Joule
Anexo I - Questionário aplicado
Anexo II- Tabulação das respostas

APRESENTAÇÃO

Esta monografia é fruto de um trabalho conjunto e dentro de um programa de pesquisa na Pós-Graduação em Ensino de Ciências - modalidade Física. Esse programa consiste em estudar a formação de conceitos em Física com enfoque na Epistemologia e História da Ciência, visando a formação de professores de 1º e 2º graus e a proposição de uma metodologia de sala de aula.[1]

O propósito dos trabalhos que têm sido desenvolvidos é produzir subsídios para auxiliar a formação de professores, seja como materiais em disciplinas dos cursos de Licenciatura em Física ou em Ciências -- como por exemplo, Instrumentação para o Ensino, Prática de Ensino etc -- ou em cursos de Extensão Universitária para professores em exercício.

Apresentamos aqui uma proposta pedagógica que reúne alguns estudos sobre a origem do conceito de energia e da lei de sua conservação, bem como levantamento e organização do universo conceitual de alunos, com a finalidade de sugerir uma metodologia de sala de aula.

A primeira parte do trabalho consiste na apresentação da proposta pedagógica e uma fundamentação

teórica que exprime nossa intenção de destacar o significado da ampliação da visão do professor de Ciências, para além do conteúdo específico. Entendemos que, ao adquirir uma visão crítica desse conteúdo, o professor pode realizar novos níveis de compreensão e se preparar para perceber seus alunos.

Na segunda parte, apresentamos os estudos de alguns textos originais e de história da evolução dos conceitos de calor e energia, procurando destacar as dificuldades teóricas presentes na formulação do conceito, assim como a interação estabelecida pela Ciência com o contexto histórico do século XIX.

Na terceira parte, discorremos sobre os procedimentos e os métodos adotados para a realização do levantamento dos conceitos dos alunos.

Esse levantamento foi aplicado junto a alunos de duas salas do 2º ano colegial da rede oficial de ensino. Os conceitos investigados foram basicamente calor, energia, força e fluido. O instrumento foi um questionário escrito e a análise adotada para a interpretação das respostas foi a construção de redes sinóticas de significados.

Finalmente, estabelecemos a interligação dos estudos históricos com o levantamento e a organização do universo conceitual dos alunos para salientar a importância

desses dois estudos na formação do professor e na sua postura em sala de aula.

I - PROPOSTA PEDAGÓGICA

I.1 - INTRODUÇÃO

A formulação desta proposta foi inspirada em várias fontes. A práxis educacional de Paulo Freire nos mostra que "conhecer não é o ato através do qual um sujeito, transformado em objeto, recebe, dócil e passivamente, os conteúdos que outro lhe dá ou lhe impõe. O conhecimento, pelo contrário, exige uma presença curiosa do sujeito em face do mundo. Demanda uma busca constante. Implica em invenção e em reinvenção (...). Conhecer é tarefa de sujeitos, não de objetos. (...) No processo de aprendizagem, só aprende verdadeiramente aquele que se apropria do aprendido, transformando-o em apreendido, (...). Aquele que é enchido por outro de conteúdos cuja inteligência não percebe; de conteúdos que contradizem a própria forma de estar em seu mundo, sem que seja desafiado, não aprende." [2]

Assim, a transmissão do conhecimento, de modo geral, ou o ensino-aprendizagem, não é um processo pelo qual basta fazer a comunicação de um conteúdo de forma clara e ordenada ou uma série de formulações coerentemente amarradas

— para o professor, é claro. Além do mais, não ocorre de uma maneira linear.

Chegar a compreender algo demanda, de acordo com David Bohm, "uma mudança revolucionária do modo de pensar" [3] e que não ocorre por acumulação e sim, usando conceitos de Jean Piaget, por sucessivos desequilíbrios e novas assimilações e acomodações. Os novos conceitos vão se constituindo numa dinâmica que nem sempre provoca alterações no nível de entendimento. Por exemplo, há informações que não chegam a mudar nossos modos de pensar, outras podem tocar de leve, fazer algum sentido ou nos instigar a uma ação momentânea — como usamos no cotidiano —, ou toca mais profundamente e leva a uma ação mais significativa — uma transformação da visão conceitual.

Com a finalidade de modificar a visão conceitual, numerosas pesquisas[4] têm sido desenvolvidas, com variadas linhas de abordagens e metodologias, tendo como um dos pontos de convergência a investigação da influência de conhecimentos anteriores no aprendizado de novos conceitos.

Dentre as pesquisas relativas a esse tema, destacamos o estudo de E.A. Fleshner, pedagogo soviético, no artigo "O domínio de alguns conceitos em Física pelas crianças" [5] . Nesse artigo, Fleshner trata de examinar o problema da interferência de experiências anteriores e dos

conceitos "não científicos" dos alunos, na aprendizagem dos conceitos científicos. Baseando-se, então, nos resultados de sua análise, propõe um método para uso do professor a partir de um reconhecimento do conceito do aluno — o Método da Contraposição. Este consiste em confrontar, contrapor às noções diárias (conceituação prévia) dos fenômenos físicos às noções empregadas na Ciência e, a partir daí, destacar os pontos de conflito e/ou semelhança.

Para a decodificação desses pontos no processo de ensino e aprendizagem, tanto o professor como o aluno são agentes. E por serem agentes, a interação estabelecida nesse processo educacional deve ser dialógica.

O significado de uma interação dialógica, na ação pedagógica, pode ser entendido no sentido de F. Kubli no artigo "A Psicologia Cognitiva de Piaget e suas consequências pedagógicas para o ensino de Ciências"[6], de 1979, onde explicita uma fundamentação teórica para o tratamento pedagógico aqui adotado, com suas concepções de diálogo reversível e schemata.

Com relação a este último, há que se salientar, por exemplo, que "para adquirir o conhecimento de que a neve é branca, não é suficiente ter a sensação de branco e ouvir alguém dizer branco, mas é necessário ter um insight da

conceppção de realidade da pessoa que afirma que a neve é branca tem." [7]

Então, para que haja uma comunicação, um entendimento efetivo, é preciso enunciar o pensamento de forma que este contenha uma significação tanto para o professor como para o aluno. " Conversas podem ser vazias, sem significado para o ouvinte (e talvez até mesmo para o locutor). O significado de novos conceitos deve, portanto, ser reconstruído pela pessoa que fala e pela pessoa que ouve por meio de referência a outros conceitos já compreendidos."[8]

Na situação de sala de aula a interação dialógica se apresenta, inicialmente, como uma circunstância assimétrica com relação ao conteúdo a ser ensinado (é o professor que conhece, em princípio, o conteúdo). No entanto, pode-se tornar simétrica na medida em que buscam conjuntamente — professor e aluno, mediados pelo conteúdo -, ligar as formas do conhecimento de cada um, por meio de perguntas e respostas. É uma busca de argumentações (Kubli) com a perspectiva de modificar os esquemas de assimilação, de promover novos níveis de compreensão dos alunos, e também do professor.

De modo que a comunicação (sem conotação, neste trabalho, de teoria da comunicação), ou o diálogo reversível

e equilibrado (Kubli), na interação dialógica, é elemento fundamental na intermediação das atividades didáticas — pensando no seu significado intrínseco: proporcionar a compreensão de um conceito na sua maior possibilidade de significados, de ligação com a realidade. Pois, situações nas quais os protagonistas do processo educativo não são agentes, não se caracterizam, no sentido de Kubli, como diálogo reversível e equilibrado, mas como não equilibrado e irreversível (num sentido único, sem retorno). Além do mais, "reversibilidade ou troca de papéis, mesmo de natureza parcial, é impossível, e não é de se espantar que o conhecimento que surge desse tipo de comunicação desapareça muito rapidamente. Apesar disso, muitos cursos de ciências seguem exatamente esse modelo de comunicação. Os estudantes sabem o que fazer para passar num exame, mas não adquirem nenhum conhecimento mais profundo do assunto exposto."[9]

Nessa comunicação, o conteúdo é o mediatizador específico e imprescindível da situação de sala de aula. As formas de trabalho com esse conteúdo definirão uma metodologia na qual, em nossa proposta, a componente dialógica deve ser assegurada. Dessa forma, conteúdo e metodologia estarão indissoluvelmente ligados. [10]

Para que isso aconteça, o professor deverá ter uma visão crítica do assunto a ser ensinado, uma visão mais

ampla do que só a formação específica em Ciências (em Física, particularmente). Uma das formas de obtê-la é a familiarização com as origens e as características da construção do conhecimento, com suas dificuldades, imprecisões, e os aspectos de criatividade e historicidade do conhecimento. Em outras palavras, conhecer as teorias científicas, sabendo problematizar os limites de seus significados.

Kubli mostra as vantagens da formação do professor também em Epistemologia e História da Ciência. "O professor não deveria conhecer somente a interpretação correta da demonstração ou experimento, mas deve também estar preparado para entrar em discussão com seus alunos , onde eles introduzem suas visões e interpretações. É esse aspecto que faz o ensino de ciências interessante aos alunos e, ao mesmo tempo, difícil ao professor ! Quanto melhor o professor conhece sua ciência e a história das idéias subjacentes, mais capaz será de satisfazer as necessidades de seus alunos, de esclarecer as idéias deles, que frequentemente são confusas, e mostrar como essas idéias se relacionam às idéias que caracterizam a ciência que ele está ensinando, bem como a sua história." [11]

Assim, trabalhos em Epistemologia e História da Ciência poderão proporcionar essa possibilidade ao

professor, isto é, permitir uma compreensão que o leve a reconhecer vários enfoques presentes entre seus alunos.

Os estudos históricos esclarecem a existência da variedade de dimensões presentes na formulação de um conceito. Por exemplo, permite "identificar a transição entre concepções antigas e novos esquemas de pensamento, bem como examinar a síntese feita entre a experiência, o papel da formulação matemática e a influência da técnica."[12] Além disso, permite refletir sobre o conhecimento em si, suas características como ciência, suas limitações ligadas à atividade criativa na produção de teorias e no aprendizado delas.

Destacamos também a historicidade do conhecimento enquanto atividade de criação humana, fundamentando uma visão mais ampla do significado de conteúdo físico para o professor e, por outro lado, por ser um modo de fazer humano situado, que se temporalizou — e vai se temporalizando e se contemporanizando, se transformando, e se consubstanciando ao longo da história —, permite substantivar a relação homem-mundo na produção do conhecimento, bem como sua ação transformadora na criação de novas realidades e novos modos de pensar. Permite reconhecer que o conhecimento científico, em particular, é um dado da própria História do homem na sua relação com e no mundo. O conhecimento científico foi

construído, foi inventado pelos fazedores de ciência, mas não foi esgotado: continua em invenção e em construção.

Essa compreensão de desenvolvimento do conhecimento, clareada pelo estudo crítico da História, prepara o professor para a captação e apreensão da multiplicidade de idéias sobre um conceito presente entre os alunos. Além disso, os alunos podem reconhecer que, como professores, sabemos daquilo que vamos ensinar, dentro das conotações atribuídas pela Ciência, mas não sabemos tudo. Portanto, estabelecer uma situação de diálogo, ou de interação dialógica, "é tarefa daqueles que sabem que pouco sabem — por isto sabem algo e podem saber mais — em diálogo com aqueles que, quase sempre, pensam que nada sabem, para que estes, transformando seu pensar que nada sabem em saber que pouco sabem, possam igualmente saber mais." [13]

I.2 - ELEMENTOS CATALISADORES DE INTERAÇÃO DIALÓGICA: ESTUDO HISTÓRICO DOS CONCEITOS, LEVANTAMENTO E ORGANIZAÇÃO DO UNIVERSO CONCEITUAL DOS ALUNOS

Na perspectiva dos princípios expostos, desenvolvemos um estudo histórico da origem do conceito de energia e da lei de sua conservação (cap.II), um levantamento do universo conceitual dos alunos sobre os conceitos envolvidos, bem como a organização desse levantamento numa rede sinótica de significados (cap.III).

Os estudos históricos, com enfoque epistemológico mencionado no item anterior, fornecem um conjunto de idéias sobre o processo da cobre o processo da construção de conceitos científicos e dão elementos para discutir as dificuldades de sua formulação. É possível perceber que não há hipótese separada da teoria, que os conceitos só podem ser apreendidos na sua totalidade e precisão no âmbito da teoria. A conceituação de energia, que trataremos no próximo capítulo, só pode ser formalizada e precisada com o estabelecimento da Termodinâmica como teoria.

A realização de um levantamento do universo conceitual dos alunos de uma classe não é feita para retratar ou provar que eles não sabem ou são confusos, mas para conhecer como eles se referem aos conteúdos que lhes são apresentados.

O levantamento trata de buscar elementos para revelar ao professor o pensamento existente dos alunos. A rede sinótica de significados que resume esse pensamento deve acrescentar à atividade em sala de aula uma dimensão concreta do conhecimento da classe.

No capítulo IV, apontamos uma forma possível de apropriação desses elementos como catalisadores de interação dialógica em sala de aula.

II - ESTUDO HISTÓRICO SOBRE OS CONCEITOS DE CALOR E ENERGIA

II.1 - INTRODUÇÃO

O estabelecimento da 1ª Lei da Termodinâmica foi concomitante à construção do conceito de Energia e da Lei de sua Conservação, como veremos ao longo deste capítulo. A idéia de calor como forma de energia — energia térmica que se transfere de um sistema para outro em virtude de uma diferença de temperatura —, e a adoção de sua representação conceitual, foi construída em meio a polêmicas, segundo apontam as análises, por exemplo, de T.S.Kuhn[14] e M.Cini[15].

De meados do século XVIII ao início do século XIX, as concepções de calor eram principalmente duas: calor como substância material especial — um fluido sutil, o calórico — e calor como movimento, que inclui a teoria ondulatória[16] e calor como radiação[17]. Essas concepções coexistiram durante a primeira metade do século XIX, disputando a aceitação da comunidade científica. A competição se dava ao nível de determinar qual delas tinha uma abrangência maior na explicação de resultados experimentais e suas decorrências logicamente inferidas.

Segundo alguns autores como Merleau Pointy[18] e A.Rossi[19], a contribuição de Joule com o seu clássico experimento descrito no trabalho "On the mechanical equivalent of heat" foi decisiva para a formulação da 1ª Lei da Termodinâmica.

Vale ressaltar que além de Joule, o equivalente mecânico do calor foi determinado em momentos e situações diferentes por Mayer, Carnot e Rumford, entre outros.

T.S.Kuhn em seu artigo "Energy Conservation as an Exemple of Simultaneous Discovery", destaca vários outros pesquisadores cujos trabalhos também contribuiram para a conceituação de energia e a sua conservação e a posterior generalização realizada por Clausius.

Um estudo de alguns aspectos ligados ao desenvolvimento do conceito de calor e de energia traz esclarecimentos das polêmicas e das dificuldades históricas e teóricas colocadas até o seu completo estabelecimento. Esse estudo, com a organização de textos e leituras mais gerais, deverá contribuir para fundamentar uma visão mais ampla do professor, a partir de elementos que compõem o desenvolvimento de uma teoria, neste caso a Termodinâmica Clássica. Além do mais, deverá propiciar a ele a possibilidade de entender com mais critério os vários modos de pensar dos alunos sobre esses conceitos. Assim, poderá

adquirir elementos para compreensão e elaboração de metodologias que interfiram substancialmente no processo de ensino e aprendizagem. Voltaremos a essa questão nos capítulos seguintes.

Outras formas de familiarização com os conceitos, provavelmente, dariam conta dessas interpretações (pesquisa em Física, familiaridade técnica com os conceitos, etc.), de modo que a proposição aqui expressa tem também dimensões culturais sobre o que é o conhecimento e a Ciência.

Neste capítulo, tentamos traduzir alguns fatores e trajetórias presentes na história da formulação do conceito de energia. É uma parte muito rica e complexa da História da Ciência, onde ela começa a se ligar de forma indissolúvel com o sistema produtivo da sociedade.

É uma época de importantes transformações do mundo moderno. De um lado, a Revolução Francesa que no plano político vem consolidar o poder burguês. De outro lado, a Revolução Industrial que no plano econômico vem inaugurar um outro modo de produção com o desenvolvimento da sociedade capitalista.

Esses epsódios vão se refletir em vários campos da atividade humana, dentre eles, da atividade científica, da maneira de fazer Ciência. Começa a haver uma conjunção significativa entre Ciência, Técnica e Sociedade.

A Revolução Francesa exemplifica essa conjunção. É o caso da Noite de São Bartolomeu, em 1794, que marca o fim dos privilégios até então concentrados pela nobreza. Isso vem possibilitar o reconhecimento da competência técnica ou política.

Em Bernal[20], Cini[21] e Hobsbawm[22], dentre outros, encontramos estudos detidos que mostram o desenvolvimento da Ciência e sua interrelação com o contexto histórico. Suas interpretações, guardadas as diferenças de visão e análise, são bastante esclarecedoras. Mostram as várias dimensões e complexidades presentes nessa interrelação, revelando o quanto é intrincada a dinâmica social.

Para evitar uma visão mecanicista dessa interrelação e não sair dos limites dos propósitos desse trabalho, optamos por mencionar alguns pontos que sugerem componentes que escapam de nossa formação específica, mas conduzem a uma visão crítica do processo histórico e da própria Ciência. A Ciência como uma expressão da criatividade humana, uma atividade ligada ao trabalho humano, contruída historicamente, motivada por fatores nem sempre explicitados, como aponta Kuhn [23], mas que possue a marca de seu tempo como relataremos a seguir.

II.2 - CONCEITOS IMPORTANTES SOBRE CALOR

A idéia de calor liga-se de imediato às observações da natureza, às sensações de quente e frio, à culinária, à mudança de tempo. Ela está relacionada com a vida e o fogo, como também com ações violentas como a erupção de vulcões.

Segundo o historiador da Ciência, J.Bernal[24], os filósofos jônicos haviam posto no calor e no seu oposto, o frio, as causas da evolução do Universo: o calor expandindo e vaporizando; o frio congelando e contraindo. No sistema filosófico de Aristóteles, o frio e o calor pertenciam às qualidades básicas que, juntamente com a secura e a umidade, constituíam os quatro elementos do Universo: o fogo (quente e seco), a água (fria e úmida), o ar (quente e úmido) e a terra (fria e seca).

A concepção de calor como uma substância material com características especiais — um fluido material — remonta aos gregos. A diferença de temperatura — intensidade ou grau de calor, como era referida — era explicada pelos gregos utilizando um esquema conceitual imaginando o calor como uma substância especial, não perceptível diretamente, atômica em sua estrutura como a matéria, que se difundia através dos corpos e que possivelmente poderia possuir algum peso. Por

outro lado, o calor também era associado com o movimento do ar, do vapor e à produção de fogo e ao atrito - pelo impacto ou movimento mecânico, no qual se observava o aparecimento de calor.

No decorrer da história, encontramos idéias e teorias que buscavam uma compreensão da natureza do calor. A partir do século XVIII, com o surgimento da Química - Revolução Pneumática —, as teorias vão tomando corpo e o fenômeno calor é explicado, principalmente, por meio de duas teorias: calor como fluido material — calórico — e calor como movimento, que resumiremos a seguir.

II.2.1 - CALOR COMO FLUIDO MATERIAL: TEORIA DO CALÓRICO

O aspecto fundamental da teoria do calórico foi o conceito de que o calor constituía um fluido capaz de preencher todo o espaço e de penetrar ou fluir de todas as substâncias. Essa teoria, resgatada dos gregos por Lavoisier, químico francês, surge em fins do século XVIII (1785), inaugurando uma nova ciência — a Química —, para tratar de explicar os processos de combustão.

Este fluido calorífico, ou ígneo, ou substância calorífica, denominado calórico por Lavoisier, era considerado como sendo constituído de átomos, partículas discretas ou corpúsculos que, contrariamente à matéria ordinária, repeliam-se entre si, sendo , entretanto, atraídos pelos corpúsculos da matéria. Portanto, a aplicação de um calórico a um objeto material provocava rapidamente sua difusão através de todo corpo da matéria e na atmosfera ao redor de cada um dos corpúsculos. Se estes corpúsculos, cujas capas de calórico repelem-se mutuamente, tiverem a liberdade de movimento, como no caso dos gases, tenderiam a dispersar-se tanto mais intensamente, quanto maior fosse a sua quantidade ou o calor aplicado, de acordo com a Lei dos Gases.

Sem dúvida, no objeto que é aquecido e está na forma sólida ou líquida, as atrações mútuas entre os próprios corpúsculos, como se fossem gravitacionais, predominam de tal forma que a atmosfera de calórico, por repulsão mútua, só pode dar lugar a uma ligeira expansão ou dilatação térmica. De qualquer modo, a atração predomina até que se tenha fornecido calórico suficiente para uma eventual vaporização ou fusão.

Esta substância, o calórico, ganhou grande aceitação na primeira metade do século passado, devido principalmente aos experimentos e situações calorimétricas desenvolvidas pelo físico-químico Joseph Black, em 1760.

Em seu artigo "Specific Heat and Latent Heat"[25], que comentaremos mais adiante, Black descreve como chegou a distinção entre a quantidade de calor e intensidade de calor.

II.2.2 - CALOR COMO MOVIMENTO : TEORIA DINÂMICA

A produção de fogo por meio do atrito entre duas pedras invoca os tempos do homem primitivo. De forma que o aspecto dinâmico associado ao calor não é uma invenção do século XIX.

No entanto, uma elaboração da natureza do calor, embora qualitativa, como manifestação de vibração ou movimento microscópico de elementos constituintes da matéria começa a ser destacada no século XVII.

Francis Bacon declarou: "Quando falo de movimento e que ele é uma espécie do qual o calor é um gênero, eu gostaria de ser entendido na sua significação, não que calor gera movimento ou que movimento gera calor (embora ambos são verdadeiros em certos casos), mas o próprio calor, sua essência e qüitidade, é movimento e nada mais (...) calor é movimento e aquecimento é outra (...) calor é movimento em expansão, não uniforme do corpo inteiro junto, mas de partes menores dele (...) o corpo adquire um movimento alternativo, agitando perpetuamente, contendo e debatendo-se e estimulado por repercurssão, por isso nasce a fúria do fogo e do calor". Robert Hooke considera: "Calor não é nada mais do que uma agitação muito rápida e veemente dos corpos."; e Locke: "Calor é uma agitação muito rápida de partes

imperceptíveis do objeto, que nos produz aquela sensação de onde denominamos o objeto quente; se bem que na nossa sensação é quente, no objeto nada é, mas movimento (...). Por outro lado, o grau máximo de frieza é a interrupção daquele movimento de partículas imperceptíveis que na nossa percepção é frio."[25]

Estas citações exemplificam as noções dinâmicas do fenômeno calor, que justificavam o processo de seu aparecimento nos fenômenos físicos.

Outros exemplos referem-se às investigações e experimentos desenvolvidos por Rumford, Davy, Mayer e Joule, dentre outros, onde mostravam que o calor era produzido por processos mecânicos, tal como o atrito.

Benjamin Thompson (1753-1814), mais tarde conhecido por conde Rumford, questionou a existência do fluido calórico. As observações de produção de calor, durante a supervisão da fabricação de canhões num arsenal do governo da Bavária, levou Rumford a suspeitar que poderia haver uma conexão entre o trabalho realizado contra o atrito e o aparecimento do calor.

Assim, Rumford faz algumas adaptações no aparato que utilizava para perfurar os canos. Mostrou que movimentando uma broca cega contra um cilindro de canhão, era produzida uma quantidade muito grande de calor, de uma

forma contínua, que podia ser usada para fazer ferver a água. Com o intuito de obter esclarecimentos sobre a natureza mais íntima do calor que possibilitasse formar uma conjectura razoável acerca da existência ou não existência da substância calorífica (calórico), Rumford se perguntava se o calor produzido nesses experimentos seria fornecido pelas lascas, provenientes do metal, que são separados pela broca da massa sólida do metal. Ou se seria fornecido pelo ar atmosférico, pela água que envolvia o equipamento, ou por outras partes do canhão ou do próprio cilindro[27].

Pensando nestas questões, Rumford realizou uma série de experimentos que viriam responder às suas hipóteses. No caso da primeira hipótese, para que o calor originado fosse proveniente das lascas, elas deveriam ter sua capacidade para o calor reduzida, conforme a teoria do calórico, ao serem separadas do cilindro. Porém, o que Rumford verificou é que a capacidade para o calor das lascas não sofria alteração, ou seja, permaneciam com a mesma do cilindro.

Quanto ao ar atmosférico, ele não poderia ser a fonte do calor, pois Rumford se preocupou em isolar cuidadosamente o arranjo experimental. Na maioria dos experimentos, ficava imerso na água, o que dificultava o contato com a atmosfera, ou era bem blindado, prevenindo o

aparato do ar frio da atmosfera. Daí, pensando na possibilidade de que o calor poderia ser proveniente da superfície atritada do cilindro, Rumford inferiu que se tal hipótese fosse correta, ao final de um conjunto de experiências usando o mesmo cilindro, a quantidade de calor liberada deveria ir se reduzindo continuamente. No entanto, ele não verificou a ocorrência de tal efeito.

Diante desses resultados, Rumford concluiu : " E, pensando neste assunto, não podemos nos esquecer de considerar o fato notável de que a fonte de calor gerado por atrito, nessas experiências, apresenta-se evidentemente inexaurível. É praticamente desnecessário acrescentar que, isoladamente, qualquer coisa, qualquer corpo ou sistemas de corpos podem continuar a fornecer ilimitadamente calor e portanto, não podem ser substâncias materiais; e me parece extremamente difícil, senão impossível, formar qualquer idéia distinta de qualquer coisa capaz de ser excitada e comunicada da maneira como o calor foi excitado e comunicado nessas experiências, que não seja o movimento"[28].

Em "On the mechanical equivalent of heat", Joule menciona que uma das partes mais importantes da investigaçào de Rumford era aquela onde ele fazia uma estimativa da quantidade de força necessária (força mecânica) para produzir uma certa quantidade de calor. Esse dado foi muito

significativo para Joule, no procedimento que adotou na sua quantificação.

Humphry Davy [29](1778-1829), químico, chegou a uma conclusão semelhante, oferecendo ampla confirmação às conclusões de Rumford. Em seus experimentos, Davy atritou dois pedaços de gelo no vácuo de uma bomba de ar e observou que parte dele era dissolvido, embora a temperatura do recipiente se conservasse abaixo do ponto de congelamento. Ele dizia que a água possuia um calor específico muito maior que o gelo; e gelo tinha de absorver muito calor antes de se transformar em água. Portanto, a liquefação pode indicar uma geração de calórico contradizendo a teoria que impõe a sua conservação. Por outro lado, o atrito não diminuía a capacidade para o calor.

Os experimentos de Davy corroboravam com a hipótese dà imateriabilidade do calor. Isso o levou a afirmar que " calor (...) que é a causa de nossa sensação de quente e frio, deve der definido como um movimento peculiar, provavelmente uma vibração dos corpúsculos constituintes dos corpos, que tende a separá-los. Ele deve ser com propriedade ser chamado de movimento repulsivo"[30].

Robert Mayer, médico alemão, nas investigações que realizou, tratou de buscar a relação causal de equivalência entre calor e trabalho mecânico. Analogamente a Joule, linha subjacente às suas idéias alguns elementos, nos quais a natureza do calor tinha uma vinculação com o movimento. Essa

forma de compreensão é que os conduziu, em boa medida, para os estudos e pesquisas que ambos desenvolveram.

No entanto, esse novo modelo não foi adotado, apesar de algumas evidências levantadas por Rumford e outros, como por exemplo, Joule, que realizou, ao longo de dez anos, experiências muito precisas para demonstrar sua teoria. Além do mais, a Teoria do Calórico vinha junto com uma série de teorias de fluidos imponderáveis, como o éter - fluido sutil e onipresente de Descartes que era utilizado para explicar a gravitação, a propagação da luz, etc.

II.2.3- QUANTIDADE DE CALOR E TEMPERATURA

O uso combinado do termômetro e do calorímetro abriu uma gama de questões à investigação experimental.

No artigo de Black[31], o papel tanto do instrumental prático (termômetro) como a percepção de algumas distorções conceituais na teoria do calor ficam evidenciados. A respeito do termômetro, Black afirmava:

"Antes eu observava, mesmo sem o auxílio de termômetros, que podíamos perceber uma tendência do calor em se difundir de qualquer corpo mais quente para o mais frio, situado nas vizinhanças, até que fosse estabelecido uma distribuição de calor entre eles, que não mais permitisse a retirada de calor. Assim, o calor é levado a um estado de equilíbrio. Este equilíbrio é um tanto curioso ! Verificamos ao término da ação mútua, que um termômetro colocado em um dos corpos adquire o mesmo grau de expansão: consequentemente, a temperatura de todos é a mesma e o equilíbrio é geral. Nenhum entendimento prévio da relação particular de cada corpo poderia ter-nos assegurado disso. Devemos a descoberta inteiramente ao termômetro. Por essa razão, temos de adotar uma das leis mais gerais do calor, segundo as quais todos os corpos comunicando-se livremente uns com os outros e não expostos a nenhuma desigualdade por

ação externa, adquirem a mesma temperatura como indicado por um termômetro." (pág.134).

Os adeptos da teoria do calórico julgavam que o termômetro media a quantidade de calórico contido no corpo. A própria palavra `temperatura' traduzida do latim significa `mistura'. Então a temperatura do corpo era uma mistura constituída pela matéria do corpo e pela substância calorífica (calórico). Até a segunda metade do século XVIII, um grau de temperatura, que correspondia um grau de calor, designava a concentração de uma mistura.

Um dos problemas estudados foi a mistura de diferentes quantidades de água a temperaturas diferentes. O resultado desses experimentos mostravam que a temperatura final era a média ponderada (o peso dado pelas massas) das temperaturas iniciais. Em caso de quantidades iguais de água o resultado obtido era a média aritmética.

Experimentos realizados com outros líquidos confirmavam essa hipótese. Cabe lembrar que esses resultados eram obtidos com o uso de quantidades iguais ou diferentes de uma mesma substância.

No entanto, um experimento realizado por Fahrenheit, no qual foram usados substâncias diferentes — mercúrio e água —, revelou que a leitura do termômetro não era a esperada. As relações que haviam sido obtidas não se

aplicavam a esse caso, ou seja, a temperatura final não era a média aritmética das temperaturas iniciais da água e do mercúrio.

O ajuste desse resultado foi obtido por Black que, apesar de adotar a teoria do calórico, rejeitava o conceito segundo o qual o termômetro media a concentração da mistura: matéria e substância calorífica. Ele interpretou as discrepâncias experimentais como um sinal de que a relação entre quantidades de calor e temperatura eram influenciadas pelas propriedades específicas das substâncias usadas, introduzindo assim o conceito de calor específico

Em suas investigações sobre a natureza do equilíbrio do calórico, Black analisa os resultados de seus contemporâneos, bem como as metodologias e concepções adotadas. Assim, ele dizia:

"A natureza deste equilíbrio não é bem entendida (...) Dr. Boerhave imaginava que no (...) equilíbrio havia uma quantidade igual de calor igualmente distribuída em toda sua extensão do espaço, mas preenchidos de diferentes corpos; (...) a razão para essa concepção é que o termômetro apontaria a mesma leitura (em grau), em qualquer corpo que fosse examinado (...). Isso é fazer um exame muito precipitado do assunto, é confundir a quantidade de calor em

corpos diferentes com sua comumente denominada força ou intensidade." (pág.135)

O entendimento geral nessa época era de que as quantidades de calor necessárias para aumentar o calor de corpos diferentes de um mesmo número de graus eram diretamente proporcionais às suas massas. Assim, se os corpos tivessem a mesma dimensão, as quantidades de calor seriam proporcionais às suas densidades.

Para refutar essa concepção, Black menciona o resultado de vários trabalhos para fundamentar sua suspeita de que não poderia haver essa proporção direta, e sim uma proporção muito diferente. A partir dos experimentos de Fahrenheit, Black pôde retirar elementos mais significativos. Nesses experimentos, feitos a pedido de Boerhave, Fahrenheit misturava quantidades iguais de água quente e fria; a temperatura de equilíbrio atingida era a média aritmética das temperaturas iniciais. Mas quando ele substituiu uma das de água pelo mercúrio, verificou que a temperatura de equilíbrio não correspondia à média aritmética. Para se obter essa média, era preciso usar quantidades diferentes de água e de mercúrio — três medidas de mercúrio para duas de água — a fim de se obter a mesma temperatura média atingida na mistura água quente e fria.

A interpretação de Black é esclarecedora. Ele afirmava:

"(...) vamos supor que a água esteja a 100 graus de calor e uma igual quantidade de mercúrio, aquecida a 150 graus, seja rapidamente misturada e agitada com ela. Sabemos que a temperatura média entre 100 e 150 é 125, e (...) seria atingida misturando-se água fria a 100 graus com igual quantidade de água morna a 150 graus. O calor da água morna é reduzido de 25 graus, enquanto o da fria é elevado o mesmo tanto. Mas, quando é usado o mercúrio morno no lugar da água morna, a temperatura da mistura atinge, apenas, 120 graus, ao invés de 125. Consequentemente, o mercúrio torna-se menos morno por 30 graus, enquanto que a água torna-se mais morna por 20 graus, apenas, e a quantidade de calor que a água recebeu é a mesma que o mercúrio perdeu. Isto mostra que a mesma quantidade de substância calor tem mais efeito em aquecer o mercúrio do que aquecer igual quantidade de água (...), se tomarmos três medidas de mercúrio e duas de água, não importando qual deles esteja mais quente, a temperatura atingida é sempre a temperatura média entre os dois, ou seja, 125 graus para as temperaturas mencionadas (...). A mesma quantidade de substância calor, que torna mais quente duas medidas de água, é suficiente para tornar mais quente três medidas de mercúrio por um mesmo número de graus.

Consequentemente, o mercúrio tem menor capacidade para a substância de calor do que a água; é necessário uma menor quantidade dessa substância para elevar a temperatura de um mesmo número de graus." (pág.136/137)

Seguindo esse raciocínio, as observações que extrai dos experimentos realizados por Martin, por Boerhave, por outros pesquisadores e por ele mesmo, relacionados com a rapidez ou lentidão para aquecer substâncias diferentes de um mesmo número de graus, Black acrescenta:

" Precisamos somente supor que a substância do calor comunicada pelo fogo era transmitida igualmente ao mercúrio e à água. Entretanto, a quantidade de substância do calor necessária para aquecer o mercúrio era menor do que para aquecer a água, de modo que o mercúrio era, necessariamente, aquecido mais rapidamente(..). Portanto, o mercúrio deve ser identificado como possuidor de menor capacidade para a substância do calor." (pág.138)

Assim, Black diferencia o conceito de calor em intensidade de calor, que foi denominado temperatura, e quantidade de calor.

II.2.4 - CALOR ESPECÍFICO E CALOR LATENTE

- CALOR ESPECÍFICO

Na conclusão de Black, vem impresso o conceito de calor específico, mas as observações que faz, em seguida, revela a sua preocupação em ampliar e destacar o significado do novo conceito. Black generaliza experiências realizadas, das quais retira os fundamentos para introduzir esse conceito.

Em seu raciocínio encontramos a situação hipotética ilustrativa do significado dessas experiências:

"(...) se tivéssemos mil massas de matéria, do mesmo tamanho e forma, mas de materiais diferentes, e o colocássemos todos na mesma sala até que atingissem a mesma temperatura; se introduzirmos então na sala uma grande massa de ferro em brasa, cujo calor fosse tal que, comunicado a todos esses corpos ao mesmo tempo, fosse suficiente para elevar a temperatura de todos eles, de 20 graus; o calor assim comunicado pelo ferro embora produzisse o mesmo efeito em cada um deles, isto é, elevando a temperatura desses corpos de 20 graus, não seria igualmente dividido ou distribuído entre eles. Alguns, mais que outros, atrairiam e reteriam uma quantidade muito maior desse calor, ou matéria

do calor; a quantidade recebida individualmente não seria proporcional às suas densidades, mas em proporção sem ligação com elas(...) cada um, de acordo com sua capacidade particular, ou sua particular força de atração a essa matéria, atrairia e exigiria a própria quantidade que lhe é peculiar (own peculiar quantity), para elevar sua temperatura de 20 graus (...). Devemos concluir, portanto, que corpos diferentes, embora de mesmo tamanho, ou mesmo peso, quando são levados à mesma temperatura ou grau de calor, qualquer que sejam eles, devem conter quantidades muito diferentes da matéria de calor; vão ser aquelas quantidades diferentes que são necessária para levá-los ao mesmo nível, ou equilíbrio, com os outros."(pág.138/139)

Com essas considerações, Black estabelece e define o conceito de calor específico.

- CALOR LATENTE

As propriedades do calórico permitiam explicar os vários estados da matéria. A fluidez de um corpo era justificada pela propriedade de auto-repulsão do calórico. Isto é, quando o corpo sofria um aquecimento até o seu ponto de fusão, o acréscimo de calórico provocava uma expansão entre os elementos constituintes da matéria, permitindo uma dispersão característica do estado líquido. O procedimento inverso, ou seja, a retirada de calórico, diminuía sua auto-repulsão, possibilitando uma organização da matéria na configuração sólida.

Apesar de Black ter distinguido a temperatura da quantidade de calor, a opinião geral nessa época era de que a medida indicada pelo termômetro tinha uma relação com a variação da quantidade de calor do corpo. De modo que o termômetro registrava o recebimento ou a perda de calórico. Assim, se a temperatura fosse constante, isso era indicativo de que o corpo não estava recebendo ou cedendo calórico.

Pensando em situações nas quais não havia mudanças de estado, essa concepção não apresentava problemas. No entanto, ao examinar os fenômenos de mudança de fase, Black descartou aquela hipótese e introduziu o conceito de calor latente de fusão e de vaporização.

Black dizia que embora a variação de temperatura não pudesse ser percebida durante a mudança de fase, a vaporização, por exemplo, de uma substância era produzida por uma quantidade de calor maior do que o indicado pelo termômetro. Para esclarecer essa sua hipótese ele observava:

"Quando o gelo, por exemplo, ou qualquer outra substância sólida, é transformado em fluido pelo calor, acredito que ela recebe uma quantidade de calor muito maior do que é perceptível nela por um termômetro, logo em seguida. Uma grande quantidade de calor é absorvida por ela, nessa ocasião, sem fazê-la aparentemente mais quente, como indicado no termômetro. Esse calor deve ser lançado no interior do corpo, a fim de dar-lhe a forma de fluido; e afirmo que essa grande adição de calor é a principal e mais imediata causa da fluidez induzida (...) quando despojamos tal corpo de sua fluidez por uma diminuição de seu calor, uma quantidade muito grande de calor flui dele enquanto ele está adquirindo a forma sólida (...) O calor aparente do corpo, como medido pelo instrumento, não sofre diminuição, ou não é proporcional à perda de calor que o corpo efetivamente sofre nessa situação; parece-me, de inúmeros fatos, que o estado de rigidez não pode ser induzido sem a subtração dessa grande quantidade de calor. Isso confirma a idéia que essa quantidade de calor absorvida, ou seja,

escondida na composição dos fluidos é a essencial e a imediata causa de sua fluidez." (pág.139/140)

Ao lado dessas considerações, Black destacava a inconsistência da concepção corrente (que na mudança de fase não havia perda ou ganho de calor), contrapondo-a às suas observações sobre os degelos. Desse fenômeno, ele deprendia que o processo de mudança de gelo e neve em água, deveria ser gradual. Caso contrário, se fosse necessário apenas o incremento de uma pequena quantidade de calor para provocar a tal mudança, a neve deveria derreter-se em poucos segundos, ou minutos.

"Se isso realmente acontecesse, as consequêncais seriam terríveis em muitas situações, pois mesmo como são as substâncias no presente, a fusão de grandes quantidades de gelo e neve provoca violentas torrentes e grandes inundações nos países frios, ou nos rios que vêm deles. Mas, se o gelo e a neve derretessem tão rapidamente, como realmente o fazem, se a concepção propensa de ação do calor em derretê-los tivesse boa justificativa, as torrentes e inundações seriam incomparavelmente mais fatais e terríveis (...) Na realidade, essa rápida liquefação não ocorre. As massas de gelo e neve degelam muito lentamente e necessitam de um longo tempo, especialmente se são de grandes volumes, tais como os montes de gelo e as nevascas formadas em alguns

lugares durante o inverno. Estes, (...), necessitam de muitas semanas de tempo quente para se transformarem totalmente em água... Essa notável lentidão com a qual o gelo e a neve degelam chama a minha atenção como totalmente inconsistente com a opinião corrente da modificação do calor na liquefação dos corpos. Esse fenômeno real é parcialmente a base da opinião que propus, pois, se examinarmos o que acontece, devemos observar que uma grande quantidade de calor penetra no gelo fundente, para formar a água na qual é transformado, e que o intervalo de tempo necessário para a coleta de tanto calor dos corpos vizinhos é a razão da lentidão com a qual o gelo se liquefaz (...). É, consequentemente, evidente que o gelo fundente recebe calor muito rapidamente, mas o único efeito deste calor é transformá-lo em água. Um termômetro colocado nas gotas ou pequenos fluxos de água, imediatamente após a transformação do gelo fundente, indicará o mesmo grau de quando é aplicado ao gelo, ou se há alguma diferença, é demasiada pequena para ser digna de nota. Uma grande quantidade de calor ou de matéria de calor que penetra no gelo fundente não produz, portanto, nenhum outro efeito além de lhe dar fluidez, sem aumentar o seu calor sensível; ela parece ser absorvida e escondida dentro da água, de tal forma que não se pode descobrí-la pela aplicação de um termômetro." (pág.140/141)

A fundamentação completa dessas hipóteses foi elaborada por Black através da determinação da quantidade de calor latente do gelo fundente. Ele misturou quantidades iguais de água e gelo num recipiente de vidro; após aquecer a água, colocou o gelo e, estabelecido o equilíbrio térmico, mediu a temperatura final da mistura. O valor que obteve foi inferior à temperatura original do recipiente e da água e superior à do gelo fundente. Para a realização do cálculo, foi suposto que a quantidade de calor, após misturar, não sofria uma alteração e sim uma redistribuição. Nessa quantificação, o resultado de Black mostra que o recipiente de vidro e a água cederam seu calor; o gelo e a água em que este se transformou receberam a mesma quantidade de calor -- vale lembrar que o calor específico do vidro e de várias outras substâncias eram conhecidas e que uma propriedade importante do calórico era a sua conservação. Assim, a quantidade de calor cedido pelo recipiente e pela água foi calculada, usando suas temperaturas do início e do final do experimento.

Um outro experimento descrito por Black é o do congelamento da água. Esta era colocada num balão de vidro, no qual era retirado todo o ar, e o conjunto era colocado em contato direto com o ambiente de um clima frio. Black verificou que a temperatura de equilíbrio atingida era de 6

ou 7 graus abaixo do ponto de congelamento e, se nenhuma pertubação fosse provocada no balão de vidro, a água permanecia líquida. No entanto, a um mínimo de perturbação, quase que instantaneamente ocorria a solidificação e o termômetro imerso nesse conjunto subia ao ponto de congelamento. O exame deste fenômeno levou Black à conclusão:

"(...) a perda de um pouco mais de calor, depois que a água é resfriada abaixo do ponto de solifidificação, não é a causa mais necessária e inseparável de seu congelamento, desde que resfriada a 6, 7 ou 8 graus abaixo desse ponto sem ser congelada."

Com procedimentos e argumentos semelhantes, Black introduz o conceito de calor latente de vaporização. Estas são as conclusões mais gerais das inferências que ele retira de suas experiências e observações sobre as mudanças de fase:

"Comecei a fazer rigorosos experimentos com a suspeita que nutria com relação à ebulição dos fluidos. Minha conjectura, quando apresentei o precedente assunto, caminhava para esse propósito. Imaginei que, durante a ebulição, o calor era absorvido pela água, e penetrava na composição do vapor produzido dela, da mesma forma que era absorvido pelo gelo em liquefação, penetrando na composição da água produzida. E, igualmente, o efeito aparente do calor, no último caso, consistia não em aquecer os corpos circundantes, mas em derreter o gelo; assim, no caso da

ebulição, o calor absorvido não aquecia os corpos vizinhos, mas convertia água em vapor. Nos dois casos, considerando igualmente a fonte de calor, não percebemos sua presença: ele está oculto, ou latente, e dei-lhe o nome de calor latente." (pág.145)

II.3 - COEXISTÊNCIA E DISPUTA DAS VISÕES DE CALOR COMO FLUIDO, CALÓRICO, E CALOR COMO MOVIMENTO

As duas concepções, calor como fluido, o calórico, e calor como movimento coexistiram e disputaram, durante a primeira metade do século XIX, sua abrangência e plausibilidade teórica frente a situações experimentais e teóricas, como dissemos anteriormente.

As descobertas do calor específico, calor latente e a diferenciação entre a intensidade de calor (temperatura) e a quantidade de calor, por J. Black, forneciam, nos fins do século XVIII, fortes alicerces para a Teoria do Calórico.

Porém, não havia um consenso a esse respeito. Uma das objeções era o fato de que o calórico, uma substância material, não apresentava uma das propriedades mais fundamentais da matéria — o peso. Além disso, havia o fenômeno da liberação de calor por efeito do atrito entre dois corpos. Por exemplo, os estudos de colisões inelásticas ou mesmo das observações imediatas como martelar pedaços de ferro, eram bem conhecidos.

A Teoria do Calórico dava conta da explicação desse efeito de maneira análoga à do aquecimento dos gases na compressão, ou seja, a pressão colocava os átomos do material tão próximos que o calórico era ejetado devido sua

propriedade de auto-repulsão. No entanto, não era capaz de explicar o calor originado das experiências de atrito. A teoria dinâmica explicava muito bem, mas era o único que ele podia esclarecer.

Black, numa crítica que faz a Rumford — expressando a falta de imaginação —, dizia que ele mesmo não podia oferecer uma concepção do que ele denominava movimento eterno, que embora não detectado, conseguia explicar uma série de fenômenos e efeitos mais simples do calor. "A falta de evidência direta na observações de tais efeitos não era ainda uma arma muito convincente para derrubar a Teoria do Calórico e as razões eram muitas a nível epistemológico. O calórico, como fluido, cumpria os requisitos do seu tempo."[32]

As duas hipóteses, apesar da diferença existente, coicindem em um aspecto significativo. Tanto a quantidade de substância calorífica (calórico) contida no corpo como a quantidade de movimento verificado nele são determinados totalmente pelo estado do corpo. As duas hipóteses conduzem a mesma conclusão: o calor independente da sua natureza é uma propriedade do corpo. Essas duas hipóteses admitem que existe uma certa quantidade de calor no corpo, cuja variação é obtida apenas pelo seu estado inicial e final. Porém essa

compreensão só foi atingida quando se distinguiu o significado conceitual de calor como energia.

Esses fatos atestam não apenas as dificuldades como também as complexidades envolvidas para precisar as idéias que estavam por emergir, que iremos tratar a seguir.

II.4 - AS TRANSFORMAÇÕES DE CALOR - PRINCÍPIOS DE EQUIVALÊNCIA DAS TRANSFORMAÇÕES

II.4.1 - AS CONTRIBUIÇÕES DE MAYER[33]

Julius Robert Mayer nasceu em 24/11/1814, em Heilbornn, Alemanha. Formou-se em Medicina em 1832 e foi no exercício de sua profissão, diria ele mais tarde, que começou a fazer conjecturas a respeito dos processos de conversão.

Mayer foi médico de bordo de um navio holandês. Em 1840, estava na ilha de Java, uma região tropical, ocasião em que teve de examinar o sangue de alguns marinheiros do navio. Ficou surpreendido com a observação da cor do sangue que tirava da veia daquelas pessoas. Na Europa, Mayer percebia que o sangue venoso era de um tom vermelho escuro, enquanto que, em Java, o tom era um vermelho brilhante que se assemelhava à cor do sangue arterial.

Esse fenômeno, embora conhecido por muitos outros médicos, instigou Mayer a buscar as razões do porquê da diferenciação da tonalidade do sangue venoso em regiões diferentes. Como ele conhecia e adotava muitas das concepções da nova química, introduzidas por Lavoisier, tratou de buscar explicações no estudo das relações entre o

calor animal e as reações químicas.

Na teoria proposta por Lavoisier, o calor animal resultava da reação de combustão do oxigênio no organismo. O oxigênio, absorvido do ar pela respiração, era conduzido pelo sangue arterial para todas as partes do organismo. Nesse processo, devido à reação com os tecidos, havia uma produção de gás carbônico que era transportado pelo sangue venoso até os pulmões.

Seguindo essa formulação, Mayer atribuiu que a diferença de tonalidade do sangue venoso se devia à diferença na proporção de oxigenação no organismo. Isto é, em regiões de temperaturas mais elevadas o organismo não precisa produzir muito calor, pois as perdas para o ambiente são menores. Já em regiões mais frias, a fim de compensar as perdas para o meio ambiente, a produção de calor pelo corpo deve ser maior. A fundamentação disso baseava-se no fato de que a temperatura do corpo apresentava uma uniformidade, assim, deveria haver uma relação entre o calor produzido no organismo e o calor perdido por ele

Essa primeira conclusão estimulou Mayer a fazer mais hipóteses para aprofundar a questão da origem e dos efeitos produzidos pelo calor corporal. Pensava muito no assunto e parecia estar convencido, a priori, que deveria haver uma relação entre o calor do organismo e o trabalho

produzido por ele.

O pensamento corrente nessa época atribuía aos alimentos absorvidos pelo organismos como sendo sua fonte de calor, a força vital. Tanto é que Lavoisier dizia que o organismo vivo era uma espécie de motor térmico; a natureza abastece o corpo animal com sua própria máquina natural denominada sistema de músculos; a máquina a vapor faz isso artificialmente. Mayer seguia Lavoisier e passou a investigar se havia ou não uma variação da quantidade de calor liberada pelo organismo vivo, durante a oxigenação de uma mesma quantidade de matéria orgânica ingerida — numa situação em que o organismo, além de produzir calor, produz também trabalho.

Não havendo alteração de calor, isto significaria que com uma mesma quantidade de alimento se poderia obter diferentes quantidades de calor. Isto poderia ser justificado pelo fato de que no organismo vivo a produção de calor se dá por duas vias: uma diretamente através do calor contido no corpo e outra pelo trabalho realizado no organismo que permite gerar mecanicamente calor, devido o atrito entre seus órgãos. No caso de alteração da quantidade de calor, significaria que o calor e o trabalho do organismo têm a mesma origem, isto é, o alimento que se oxigena dentro do organismo do homem. Uma outra conclusão que se poderia inferir é que o trabalho e o calor se transformam

reciprocamente.

Dessas considerações, Mayer afirma que "o calor produzido mecanicamente pelo organismo deve manter uma relação quantitativa invariável com relação ao trabalho executado".[34]

Assim, para estender essa conclusão a todos os fenômenos da natureza, EM 1841, Mayer trata de sistematizar sua idéias no artigo "UBER DIE QUANTITATIVE UND QUALITATIVE BESTIMMUNG DER KRAFT" na tradução de Lindsay "ON THE QUANTITATIVE AND QUALITATIVE DETERMINATION OF FORCES"[35] (Sobre a determinação quantitativa e qualitativa das forças)e o submete à avaliação de Poggendorf, editor da revista Annalen de Physik und Chemie. No entanto, este trabalho não foi aceito para publicação. A argumentação dada pelo editor era de que Mayer havia cometido muitos erros em conceitos básicos da mecânica, tais como de queda-livre e de operação vetorial.

Em essência, neste primeiro ensaio, Mayer trata das mudanças representadas pelo movimento. O desconhecimento, ou a incompreensão de alguns princípios da mecânica, o leva a fazer interpretações equivocadas. Por exemplo, embora ele soubesse da importância do momento (o produto da massa pela velocidade), ele não distinguia sua propriedade vetorial. Ele pensava no momento como uma medida direta da força movente (living force), separando, portanto, os dois da definição newtoniana de força, bem como da noção

de vis-viva, $m.v^2$.

Nas colisões inelásticas, Mayer observava que parte do movimento original era neutralizado ou desaparecia. Daí, por desconhecer o significado de uma quantidade vetorial, considerava que o momento se conservava independente do tipo de colisão. Ele era categórico ao afirmar que o "movimento perdido ou neutralizado" reaparecia sob forma de calor. Pois, para ele, "forças são as causas das mudanças naturais que são observadas nos objetos naturais e em suas relações uns com os outros "[36]

Entretanto, apesar desta forte concepção e de reconhecer a possibilidade do calor ser transformado em movimento na expansão dos corpos, pensando na máquina a vapor, Mayer não se deteve em determinar o valor da relação de equivalência.

Durante os últimos meses de 1841, Mayer manteve correspondência com seu amigo Bauer, que lhe fornece uma ampla base de Matemática e Mecânica. Assim, em 1842, publica uma nova versão do seu trabalho no Annalen der Chemie und Pharmacie com o título "BEMERKUNGEN UBER DIE KRAFT DER UNBELEBTEN NATUR", "ON THE FORCES OF INORGANIC NATURE"[37] (Observações sobre as forças da natureza inanimada)[38], onde vai tratar de estabelecer a razão de proporcionalidade entre o calor produzido através de uma ação mecânica qualquer e o trabalho empregado.

Neste artigo, o problema da interrelação dos fenômenos naturais é resolvido por Mayer através de uma aproximação filosófica — Lindsay ressalta que Mayer foi guiado mais por considerações filosóficas do que por fatos empíricos. Analogamente ao seu trabalho anterior, ele trata força como causa. Porém, acrescenta o princípio de Leibniz causa aequat effectum (a causa é igual ao efeito), conferindo assim, um significado mais amplo, de significados diversificados e, ao mesmo tempo, confuso, naquele momento, em relação ao conceito de força, como esclareceremos adiante.

Em resumo, ele propõe um novo conceito de força, divorciado do seu significado da mecânica.

O significado de Mayer ao conceito de força pode ser resumido na sua afirmação:

"Forças são causas, e por isso aplica-se totalmente a elas o principio: causa aequat effectum (a causa é igual ao efeito) Se a causa c tem o efeito e, então c = e; se e é novamente a causa de um outro efeito f, então e = f, e assim por diante: c = e = f ... = c. Em uma corrente de causas e efeitos, como se torna claro pela natureza da igualdade, nenhum elo ou parte de um elo pode tornar-se nulo. Nós chamaremos esta primeira propriedade de todas as causa de indestrutibilidade."[39]

É através deste princípio que Mayer deduz a Lei da Indestrutibilidade das Forças. Uma dada força produzino um efeito toma a forma daquele efeito e cessa a existência de sua forma original. Ao mesmo tempo, a magnitude da força na sua forma original não é alterada; embora algum fator quantitativo de conversão apropriada se torne a magnitude do efeito. Este é o significado que Mayer oferece à palavra aequat do princípio de Leibniz. Além dessa propriedade, Mayer acrescenta:

"A capacidade de assumir diferentes formas é a segunda propriedade essencial de todas as causas. Associando as duas propriedades, podemos dizer: causas são objetos (quantitativamente) indestrutíveis e (qualitativamente) mutáveis.

"Há na natureza duas espécies de causas, entre as quais não ocorrem interconversões,(...). Uma classe é constituída pelas causas que possuem as propriedades de ponderabilidade (peso) e impenetrabilidade, que comumente designamos de matéria. A outra é constituída pelas causas às quais faltam essas últimas propriedades, são as forças, também chamadas de imponderáveis devido à propriedade negativa indicada. As forças são, portanto, entidades indestrutíveis, transformáveis e imponderáveis"[40].

Esta é sua primeira fundamentação da conservação e equivalência de todas as formas de forças. Além disso, Mayer distingue duas coisas independentes que se conservam nos fenômenos: a força (que corresponde ao conceito atual de energia) e a matéria.

A força (kraft) para Mayer era uma causa, enquanto a (força da) gravidade (que correspondia à noção de peso) era uma propriedade. A gravidade (a força peso) não sofria alteração devido o movimento de queda e por isso não poderia ser a causa — pois violaria o seu princípio de que a causa era igual ao efeito. Esse pensamento de Mayer é melhor expresso na sua proposição:

"Uma causa que produz o levantamento de uma carga é uma força; seu efeito, a carga erguida, é também uma força; de modo mais geral podemos dizer: uma distância espacial entre objetos ponderáveis é uma força, como essa força produz a queda dos corpos, podemos chamá-la de força de queda (fallkraft). Força de queda e, ainda de modo mais geral, força de queda e movimento são forças que se relacionam como causa e efeito, forças que se transformam uma na outra, duas formas diferentes de mesma entidade. Por exemplo, uma carga parada no chão não é uma força; ela não é causa do movimento nem do erguimento de uma outra carga; mas ela se transforma na causa (numa força) na medida em que é erguida acima do

solo; a causa, a distância entre uma carga e o solo, e o efeito, a quantidade de movimento produzido, estão em uma relação de igualdade de acordo com a mecânica.

"Como se considera a gravidade como causa da queda de um corpo, fala-se de uma força da gravidade e assim se confunde os conceitos de força e de propriedade. Falta a toda propriedade precisamente aquilo que cada força deve, em essência, possuir: a junção de indestrutibilidade e tranformabilidade; por isso, entre uma propriedade e uma força, entre gravidade e movimento, não é possível estabelecer uma relação causal corretamente concebida."[41]

Nessa passagem, a diferenciação de várias formas de força (kraft) de Mayer e de força no sentido empregado na mecânica, aos olhos de hoje, fica esclarecida. Mayer distinguia energia potencial e energia cinética (que denominava fallkraft - força de queda), só que como não havia ainda uma palavra (energia) nem uma compreensão, no pensamento daquela época, desse conceito, havia muitas dificuldades de captar essa nova noção do ponto de vista da mecânica.

Mayer discorre sobre o calor gerado do atrito entre duas placas metálicas e o identifica como uma forma de movimento. Essa idéia era compartilhada por Rumford e Davy, como já mencionamos, mas não estava estabelecida. Porém,

esse tipo de raciocínio não é levado adiante, pois sua filosofia não o conduzia a nenhuma forma específica de força (idéia mais ampla), tal como o movimento, que fosse mais importante que os outros. Simplesmente conclui:

"Se a força de queda e movimento são equivalentes ao calor, o calor deve também naturalmente ser igual a movimento e força de queda. Como o calor aparece como um efeito da diminuição de volume e cessação de movimento, assim também o calor desaparece como causa quando aparecem seus efeitos, produzindo movimento, aumento de volume ou erguimento de carga (...) Portanto, concluímos nossas teses, que resultam necessariamente do princípio causa aequet effectum, estando de acordo com todos os fenômenos da natureza, como se deduz da prática."[42]

As argumentações de Mayer apresentadas até aqui são praticamente todas qualitativas. O pressuposto de que nas transformações da natureza alguma coisa se conserva é um príncipio filosófico adotado por Mayer, que tem subjacente elementos apriorísticos de lastro metafísico. Por exemplo, nada pode surgir do nada, nenhuma coisa pode se transformar no nada, ou mesmo a causa é igual ao efeito.

O filósofo jônico Tales de Mileto (640-540 a.C.) atribu'ia à água a propriedade de ser o elemento primeiro e formador de todo o universo. " No conceito geral que Tales

tinha das coisas, a Terra era um disco plano que flutuava na água; havia água em cima e em redor (de onde viria a chuva se não fosse assim!); o Sol, a Lua e as estrelas eram vapor em estado de incandescência e navegavam acima de nós pelo firmamento gasoso para, em seguida, dar a volta desse mesmo mar onde a Terra flutuava, até alcançar seu ponto de partida no levante."[43]

Este princípio fundamental firmado por Tales, reduzindo a ele a diversidade presente na natureza, foi muito fértil para o avanço do pensamento humano sobre a natureza das coisas no universo.

Ao longo da história, essa idéia de um princípio único (mais tarde de permanência na mudança) vai encontrar muitos representantes entre os gregos. Dentre várias idéias fecundas que surgiram, temos o modelo atômico que muitos historiadores da Ciência interpretam como sendo a primeira fonte do príncipio de energia.

"Nada é criado do nada. Todas as coisas necessariamente que foram, são e serão, foram predeterminadas — diz Demócrito. Nestes termos, anuncia pela primeira vez as doutrinas da conservação da matéria e o império da lei universal." [44]

"Na ciência clássica, a idéia de que o movimento deveria ser indestrutível produziu, em primeiro lugar, o

conceito de quantidade de movimento (massa multiplicada pela velocidade) de Descartes, e a lei da inércia, depois o conceito de força viva (vis viva) de Leibniz (de onde saiu nosso conceito moderno de energia cinética). Examinando-se as obras desses autores, verifica-se que Descartes e Leibniz utilizam uma base apriorística para suas propostas, da mesma forma que Mayer.

"Essa idéia de que alguma grandeza (ou várias) deve se conservar nos fenômenos físicos foi também um ponto de partida básico para Lavoisier, no estabelecimento da lei de conservação da massa (...). Utilizou essa lei, em vez de tentar testá-la experimentalmente; e manteve sua crença nela, mesmo nos casos em que se observava uma variação de massa nas reações químicas."[45]

Voltando agora aos trabalhos de Mayer, fica esclarecido que a adoção desses pressupostos filosóficos apoiará não só as suas investigações, como de seus contemporâneos. Faz conjecturas sobre a queda dos corpos e compara com o calor produzido pelo atrito de dois sólidos e o trabalho mecânico consumido. Menciona, por outro lado, outros experimentos como o do derretimento de gelo, no vácuo, por meio do atrito, e sua descoberta da elevação da temperatura da água obtido a partir de sua forte agitação. Faz também, observações a respeito da máquina a vapor, onde

há uma conversão de calor em trabalho. A finalidade de Mayer é estabelecer a relação causal entre movimento e calor.

Para solucionar a questão, Mayer diz que é preciso determinar com um experimento a altura que um corpo deve ser suspenso para que sua força de queda (fallkraft) seja equivalente ao aquecimento de um igual peso de água de 0 grau a 1 grau . Emprega, então, a lei dos gases e obtem o valor da razão de equivalência..

A diferença entre o calor específico a volume constante e calor específico a pressão constante era conhecido nessa época. Mayer utiliza essas propriedades dos gases, supondo que a diferença entre esses calores específicos seria devido ao trabalho realizado pelo êmbolo, e obtém para o equivalente mecânico do calor o valor, expresso nas unidades atuais, 1 cal igual a 3,65 J.

O resultado desse trabalho de Mayer não teve muita repercursão, muito embora o assunto fosse tema de muitas especulações e experiências similares, nessa época.

Procura então examinar com mais detalhes as várias formas de força (energia) e os fenômenos conhecidos, nos quais se notava a transformação de cada tipo uns nos outros para generalizar sua tese. Escreve vários ensaios, que são recusados pelo Annalen, fazendo com que ele os publique por conta própria.

Nesses ensaios, estende suas idéias aplicando-as no campo da fisiologia para demonstrar a conexão do movimento do organismo com o metabolismo; tratou da mecânica celeste, tentando mostrar que o calor solar se devia às colisões dos meteoros com a superfície do Sol. Esta idéia, segundo Lindsay, é utilizada mais tarde por Kelvin, sem no entanto fazer referência a Mayer.

Nesse meio tempo, os trabalhos de Joule, nos quais aparecem as primeiras estimativas do equivalente mecânico do calor, são publicados. Este fato marcou o início de uma polêmica entre Mayer e Joule, bem como entre seus defensores. Essa polêmica, fundada em torno da disputa pela primazia da descoberta, trouxe muitos dissabores a Mayer, que tentou o suicídio.

R.Lindsay[45], no trabalho que dedica à vida e obra de Mayer, apresenta com detalhes o teor dessa disputa. Sua exposição é esclarecedora, pois exemplifica não só os embates que ocorrem no plano das idéias, como também no plano conjuntural. Assim, o contexto histórico fica situado. Ele afirma que as idéias desenvolvidas por Mayer foram ampliadas por Helmholtz, Kelvin e Clausius para a fundação da Termodinâmica. No entanto, sua contribuição pioneira teve pouco reconhecimento por parte de seus contemporâneos, o que lhe trouxe muitos dissabores. " Sua história é a história de

um gênio na inexorável perseguição de uma idéia simples e é também, uma narrativa de frustação e tragédia que possui poucos paralelos na História da Ciência."[47]

Tyndal um dos seus defensores, afirmava que "Mayer intuiu premissas muito sutis e conclusões fortes, se bem que o inglês (Joule), amante do firme estabelecimento dos fatos, chegou a estabelecê-los."[48]

II.4.2 - JOULE E A DETERMINAÇÃO DO EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR

James Prescott Joule, nasceu em 24 de dezembro de 1818, em Manchester. Suas investigações sobre os processos de conversão iniciam-se em 1840 e vão até 1850, quando implanta e define o Equivalente Mecânico do Calor, assim como estabelece com precisão o valor numérico. Isso conferiu a incorporação de suas teses numa série de outros trabalhos, que vieram a compor a Termodinâmica Clássica, como também a publicação de " ON THE MECHANICAL EQUIVALENT OF HEAT"[49] (O Equivalente Mecânico do Calor) em sua homenagem, em 1850.

Segundo Rossi, "o extremo requinte na execução das medidas nas experiências realizadas e repetidas de várias maneiras ao longo de dez anos (1840-1850), a fim de determinar a equivalência entre o calor e trabalho, demonstra claramente, que J.P. Joule tinha ciência da extensão e complexidade das implicações do seu próprio trabalho"[50]

Essa obstinação na busca deve ter, certamente, uma mesma fonte de inspiração de Mayer, ou daqueles que propuseram também a lei de conservação. Isto é, a crença, a priori, no pensamento de muitos cientistas, nos pressupostos de uma filosofia que sugeria um princípio único para

explicar a diversidade presente da natureza. Kuhn, no artigo que iremos comentar adiante, destaca a influência de um movimento filosófico — os filósofos da natureza, que adotavam a existência de um princípio unificador.

Joule, além de tomar como base seus resultados, afirmava ser "claramente absurdo supor que as potências com as quais o Criador havia dotado a matéria pudessem ser destruídas "[51]

Assim, são essas idéias, subjacentes às suas hipóteses, que apoiam o procedimento impresso por Joule na condução de suas investigações.

Em 1843, publica o resultado do seu estudo sobre o calor originado em fenômenos magnéticos "ON THE HEAT EVOLVED BY METALLIC CONDUCTORS OF ELETRICITY AND IN THE CELLS OF BACTTERY DURING ELECTROLYSIS"[52]. Faz a determinação experimental do calor gerado na bobina de um eletro-imã, concluindo que esse calor é proporcional ao quadrado da corrente elétrica. Além disso, mostra que no gerador elétrico há uma relação entre o calor gerado pela corrente elétrica e o trabalho produzido, pois se convencera de que no seu experimento havia mais quantidade de calórico criado do que dissipado. Desse modo, estava presente para ele que deveria existir uma lei de conservação geral. Desenvolveu investigação a respeito de vários processos de conversão,

fazendo conexão com gravitação, magnetismo, eletricidade e eletroquímica. A parte central do seu trabalho foi a determinação do equivalente mecânico do calor.

Daí, ele vai verificar se essa relação é uma razão constante. De suas primeiras medidas, observa que a quantidade de calor absorvida por uma libra de água, ao ser aquecida de um grau Fahrenheit, era equivalente a uma ação mecânica capaz de erguer 896 libras de um pé de altura — que nas unidades atuais corresponde a 4,87 joules/cal. Ele apresenta outros trabalhos e admite que há uma variação considerável — 3,6 joules/caloria a 5,7 joule/cal — entre eles, mas, interpreta essas variações aos erros de montagem experimental utilizada. Propõe-se, então, a buscar outros procedimentos experimentais, que eliminassem as dificuldades de reprodução e perda de calor, para obter a quantificação e confirmação de sua hipótese. Adota como resultado o valor médio obtido de 838 lb. (4,5 joules/cal) e conclui:

" A quantidade de calor capaz de elevar a temperatura de uma libra de água por um grau Fahrenheit é igual, e deve ser convertida em força mecânica capaz de erguer um corpo de 838 libras de uma altura de um pé."[53]

Posteriormente, no mesmo ano, mostrou que a água fluindo através de um tubo fino, sob pressão, era aquecida, devido ao atrito. Mediu o calor liberado nesse processo e o

trabalho empregado para obter o fluxo, chegando no valor de 770 libras (4,14 joules/cal). A esse resultado, acrescenta uma referência aos experimentos de Rumford, nos quais eram observados a produção de calor por atrito, e afirma:

" Sou obrigado a admitir que o conde Rumford tinha razão ao afirmar que o calor originado na perfuração de canhões era causado pelo atrito (...). Não perderei tempo repetindo e estendendo esses experimentos, pois me satisfaz que os grandes agentes da natureza são, pela vontade do criador, indestrutíveis; e que quando se gasta força mecânica, obtém-se sempre uma quantidade de calor exatamente equivalente."[54]

Mas Joule não se detém aí. Estava preocupado em dar uma base experimental bastante forte ao seu princípio de equivalência (rejeitando coerentemente o princípio de Carnot, que já recebia reconhecimento geral e respeitadas confirmações). Idealizou então a experiência da roda com pás horizontais em 1843 para estudar o efeito do atrito nos fluidos. Acrescentou um maior número de pás giratórias e igual número de pás fixas ao recipiente contendo água que impedisse a esta de conseguir um movimento de rotação com as pás giratórias, anulando assim toda resistência e, consequentemente, a conversão de trabalho em calor por atrito. O trabalho realizado era medido pela queda vertical

dos pesos ligados por fios e roldanas ao eixo central de rotação das pás imersas no fluído. O calor gerado por esse processo era medido por um termômetro bastante sensível.

Em 1844, Joule apresenta o trabalho "ON THE CHANGES OF TEMPERATURE PRODUCED BY RAREFACTION AND CONDENSATION OF AIR"[55] no qual interpreta com mais atenção o método desenvolvido por Gay-Lussac (relacionado com a expansão livre dos gases — Mayer havia utilizado esse método em 1842 para o cálculo do equivalente mecânico) para evidenciar suas conclusões. Compara o trabalho empregado para condensar uma quantidade de ar com o calor originado durante a condensação e mostra também que o calor não é gerado ou absorvido na expansão livre do ar. Esta evidência, já confirmada por Gay-Lussac, reforça a concepção de Joule de que o calor originado na condensação poderia ser equivalente ao trabalho feito para comprimi-lo. Sequindo esse raciocínio, ele obtém que o equivalente de um grau de calor por libra de água é 795 lb. (4,32 J/cal).

Esse valor, embora diferente daquele que Joule tinha obtido nas experiências de motores (838 libras), é visto por ele como uma evidência de suas hipóteses, "como para se convencer de que o calor originado era simplesmente a manifestação, de outra forma, do poder mecânico gasto na ação da condensação "[56]

A partir daí, entre 1845 a 1847, realiza uma outra série de experimentos, com procedimentos cada vez mais aprimorados, diminuindo algumas dificuldades técnicas, tais como a eliminação da influência dos efeitos de resfriamento ou aquecimento da atmosfera, passando a obter resultados cada vez mais consistentes.

No seu clássico artigo "ON THE MECHANICAL EQUIVALENT OF HEAT"[57], de 1850, Joule apresenta uma retrospectiva de seus trabalhos, menciona vários de seus contemporâneos que o precederam na tentativa de desenvolver estudos sobre os processos de conversão entre as diferentes formas de força (energia) e descreve com uma riqueza de detalhes o seu procedimento experimental.

Apresentamos no final deste trabalho, como apêndice, parte da tradução desse artigo. Por ora, resumiremos alguns pontos que mostram a relevância desse procedimento experimental adotado por Joule.

Ele ressalta as investigações de Rumford, Davy, Dulong, Faraday e Mayer, dentre outros, para fundamentar o direcionamento de suas pesquisas e reforçar sua base experimental (um resumo que Joule apresenta de seus resultados evidencia a uniformidade).

Em 1845, faz nove experiências, provocando atrito na água por pás giratórias, em várias circunstâncias, para

diminuir os efeitos térmicos da atmosfera sobre a água. Dessa série, ele obtém como valor de coeficiente de conversão de trabalho em calor 890 libras (4,38 joules/cal). Junto com esse valor, Joule menciona outros que foram obtidos em experiências anteriores (da máquina eletromagnética, da rarefação do ar, do movimento da água em tubos finos) para retirar um valor médio, 817 lb (4,40 joules/cal), do coeficiente de conversão e considerá-lo como fator equivalente, pois, para ele, esse resultado não deixava nenhuma dúvida da existência de uma relação de equivalëncia entre força e calor. No entanto, preocupado em imprimir uma precisão maior ainda, para eliminar toda dúvida quanto à sua concepção, realiza um conjunto de cinco experimentos, usando água, mercúrio e ferro fundido.

Para reduzir a condução de calor, os aparelhos eram revestidos de materiais de baixa condutibilidade térmica. A observação de possíveis oscilações térmicas era dada por termômetros muito sensíveis e cuidadosamente aferidos com os padrões da época. Os atritos nas roldanas foram também reduzidos de modo a garantir uma uniformidade na temperatura ambiente (laboratório). Tudo foi blindado para evitar variações de calor. Assim, tanto a posição e a constituição dos aparelhos como a posição do experimentador foram minuciosamentoe controladas.

No conjunto de experimentos que realizou, retirou em média 40 medidas de cada uma, obtendo os valores representados na tabela I. De onde retira as conclusões:

(1º) " Que a quantidade de calor produzido devido à fricção dos corpos, líquidos ou sólidos, é sempre proporcional à quantidade de força expendida. E,

(2º) " Que a capacidade de calor capaz de um aumento de temperatura de um pound de água (pesado no vácuo, e tomado entre 55 graus e 60 graus) por 1 grau F precisa para sua criação o dispêndio de uma força mecânica representada pela queda de um corpo de 772 libras, através, de uma distância de 1 pé ".[58]

Este é o resultado é anunciado por Joule, numa reunião científica em Oxford. Essa comunicação teria passada desapercebida, não fosse a intervenção de William Thompson (que mais tarde seria condecorado com o título de Lord Kelvin), pois os trabalhos de Joule não despertavam muito interesse no meio científico.

Para situar melhor esse fato, temos de lembrar que a teoria corrente, nessa época, era a do calórico, o calor como fluído material. Muitos dos experimentos e fenômenos

conhecidos eram fundamentados de forma muito satisfatória pela teoria do calórico. Além do mais, os experimentos de Black, juntamente com as descobertas que realizou, não só favoreciam como consolidavam essa teoria. Joule adotava a hipótese de que o calor era uma forma de movimento e, daí, inferia que qualquer forma de movimento podia ser convertido em calor e vice-versa.

Entretanto, resultados que se assentavam em uma hipótese diferente, como era o caso de Joule, não recebiam muito crédito.

Por essa razão, a intervenção de Thompson, que na ocasião era favorável à teoria do calórico, foi um gesto que teve um papel significativo na aceitação dos resultados de Joule. Antes, porém, vamos fazer algumas considerações sobre o pensamento de Sadi Carnot.

TABELA 1 - Resultados obtidos por Joule

Nº	Material Empregado	Equivalente		
		no ar	no vácuo	média
1	água	773,640	772,692	772,692
2	mercúrio	773,762	772,814	774,083
3	mercúrio	776,303	775,352	
4	ferro fundido	776,997	776,045	774,987
5	ferro fundido	774,880	773,930	

II.4.3 - SADI CARNOT E AS MAQUINAS TÉRMICAS

Sadi Carnot, era filho do engenheiro de máquinas Lazare Carnot. Envolveu-se também com estudos dos processos de conversão. S.Carnot extraiu e desenvolveu elementos importantes do estudo da máquina a vapor.

A transformação do calor, na caldeira de uma máquina a vapor, em trabalho mecânico, por um longo tempo não pode ser enquadrada no campo das ciências exatas. Cada máquina tinha seu próprio fator de conversão da queima de carvão em trabalho fornecido e esse fator parecia diminuir com a melhoria da máquina. Não se previa nenhum limite para a eficiência das máquinas mas tal limite deveria existir ou o moto-perpétuo seria possível. Foram tais considerações que levaram Sadi Carnot às suas "Reflexões"[59] — um dos primeiros a aplicar os princípios físico-matemáticos à engenharia.

O ponto de partida de Carnot foi a observação de que deveria existir uma diferença de temperatura para a produção de trabalho mecânico através de uma máquina a vapor. Ele simplificou o problema ao essencial e estipulou

que o seu sistema, constituído pela substância de trabalho, poderia trocar calor com o meio somente em duas temperaturas fixas.

De acordo com Carnot, o funcionamento de sua máquina (dois reservatórios de calor e um esquema mecânico) é análogo à produção de trabalho durante a queda de uma massa de água entre dois níveis , no campo gravitacional.

Segundo seu raciocínio percebemos que a existência da diferença de temperatura é uma condição necessária mas não suficiente para a produção de trabalho, pois havia situações que o calor poderia fluir por condução entre os dois reservatórios sem produzir trabalho. O calor conduzido e outros fatores dissipativos absorverão uma parte do trabalho potencial total em qualquer máquina real.

O conceito chave de sua teoria é o da máquina reversível. Uma máquina é reversível se o trabalho obtido pode ser usado para operá-la com uma bomba de calor, de tal forma que a distribuição inicial de calórico é inteiramente restabelecida.

Em seu teorema principal, ele afirma que todas as máquinas reversíveis, operando entre duas temperaturas diferentes, têm a mesma eficiência independente da substância de trabalho empregado, sendo que esta é maior que em qualquer máquina não reversível.

A idéia em que se baseia a prova deste teorema é a seguinte: consideramos uma máquina reversível funcionando como uma fonte de calor e acoplada a ela uma outra máquina de eficiência maior. Se as duas máquinas forem ajustadas para trabalharem em cada ciclo com a mesma quantidade de calor, o efeito combinado das duas máquinas é restaurar a quantidade de calor inicial e produzir um excesso de trabalho. Obteria-se assim, como resultado, o moto-perpétuo que tanto Carnot, como outros de seus contemporâneos, já consideravam impossível de ocorrer.

Apesar da teoria de Carnot abrir campo de ser a aplicação da teoria do calórico, trazia consigo também novas dificuldades. Como ajustar a conservação do calórico no processo de mistura irreversível no calorímetro? O que dizer da produção de calor por atrito? O princípio de Carnot baseava-se na conservação do calórico, no sentido da restituição do equilíbrio do ciclo reversível das máquinas a vapor. Estas questões só se esclarecem, quando são destrinchados os conceitos de energia e entropia, de temperatura absoluta e de trabalho, para os quais a contribuição de Clausius foi essencial como mostraremos a diante.

II.4.4 - AS RELAÇÕES DE EQUIVALÊNCIA CALOR-TRABALHO

No princípio de Carnot, o calórico é uma quantidade diferente, em especial, do trabalho. Ele só poderia ser produzido por uma fonte onde já existisse na forma latente ou sensível. Por volta de 1840, em vários círculos científicos, começa-se a consolidar a idéia na qual o calor surge como uma quantidade da mesma espécie que a força mecânica e, além disso, obedecia uma lei de conservação.

A idéia fundamental em que se assentava este novo princípio foi desenvolvida, como já discutimos, por Mayer e Joule, entre outros.

Do último experimento de Joule, a conclusão indicava que o calor era originado por atrito dos fluídos em movimento, estando assim em desacordo com a idéia corrente sobre a conservação do calórico.

De modo que havia dois resultados, que hoje podem parecer óbvios, mas não eram na ocasião. Os trabalhos de Mayer e Joule demonstravam a transformação de trabalho em calor (Trabalho ——› Calor), sem a presença de uma fonte de calórico, mas as investigações de S. Carnot, não deixavam dúvidas que na máquina a vapor o calor se convertia (a queda de calórico) em potência motriz (trabalho).

Diante disso, Kelvin (W.Thompson), embora favorável à teoria do calórico, apresentou algumas objeções (aí entra a importância de sua intervenção na exposição de Joule, que mencionamos). Ele dizia, em 1848, que "a conversão de calor (calórico) em efeito mecânico é provavelmente impossível, certamente não descoberto. Nas máquinas reais para obtenção de efeito mecânico por intermédio da ação do calor, devemos (...) olhar para a fonte de potência, não em qualquer absorção ou conversão, mas simplesmente numa transmissão de calor" (grifo nosso)[60]

Uma outra questão de Kelvin referia-se à geração de calor sem a produção de trabalho, ou seja, "quando a ação térmica é gasta na condução de calor através de um sólido, o que acontece com o efeito mecânico que ele poderia produzir? Nada pode ser perdido nas operações da natureza — nenhuma energia pode ser destruída. Que efeito é então produzido no lugar do efeito mecânico que é perdido? Uma teoria do calor correta, imperativamente, necessita de uma resposta a essa questão; nenhuma resposta pode ainda ser dada no presente estágio da Ciência."[61]

Clausius esclarece, em 1850, esses dois princípios aparentemente contraditórios, unificando os resultados de Mayer e Joule (que estabeleciam a conservação de energia) com os de Carnot (sobre a produção de potência motriz pelo

fogo), dando uma base de coerência entre o 1º e o 2º Princípios da Termodinâmica.Ele admitiu inicialmente que, apesar das experiências de Joule referirem-se mais à conversão de trabalho em calor, do que o inverso, o próprio fato do calor poder ser produzido do movimento torna-se extramamente plausível que esse possa também diminuir, dando origem ao movimento. O enunciado de Clausius das leis, em 1850, é:

1º lei - " Em todos os casos onde trabalho é produzido pelo calor, a quantidade de calor consumida é proporcional ao trabalho realizado, e inversamente, pelo gasto da mesma quantidade de trabalho a mesma quantidade de calor deve ser produzida. "

2º Lei - " Calor, por si, só não pode passar de um corpo mais frio para o mais quente. " 52

II.4.5 - A SÍNTESE DE CLAUSIUS - 1ª e 2ª LEIS DA TERMODINÂMICA EM TERMOS DE ENERGIA E ENTROPIA

Em trabalhos posteriores, Clausius vai analisar, com mais profundidade, o fenômeno de equilíbrio nas transformações, definindo matematicamente o valor do equivalente da transformação da quantidade de calor Q em trabalho, como o quociente Q/T, onde T é a temperatura absoluta. Introduz a idéia de limite das possibilidades de transformações, estabelecendo uma teoria dinâmica diferente da anterior, através de um pensamento estatístico a nível molecular, com a criação dos conceitos de trabalho interno, energia interna, estados de desagregação molecular, entropia e, por fim, as duas leis da Termodinâmica.

Uma análise detida do pensamento e das investigações de Clausius está reunida na tese de mestrado "Ensino de conceitos: estudos das origens da 2ª Lei da Termodinâmica e do conceito de entropia a partir do século XVIII".[63]

Da análise do ciclo de Carnot, Clausius destaca dois tipos de transformações: uma na qual há a transformação de calor em trabalho e outra onde esse fato não ocorre, isto é, uma transformação que estabelece o equilíbrio sem a produção de trabalho. Acrescenta que essas transformações

têm mesma natureza, já que ambas acabam por atingir um equilíbrio, e, portanto, devem ser equivalentes.

A partir dessas idéias, Clausius desenvolve a noção de equivalente das transformações juntamente com a tentativa de "desvendar o mistério da condição de máximo de potência motriz de Carnot"[64]. Detém-se na investigação da natureza do equilíbrio dos processos reversíveis. A sua questão inicial é assim colocada: "O que estaria por trás dessa tendência natural do calórico, de passar de um corpo de temperatura mais alta para uma temperatura mais baixa, e que estranho equilíibrio deveria ser mantido para que se pudesse obter da passagem de calórico o máximo de potência motriz dada essa condição?

"Quando se diz que o calor se transforma em trabalho, temos uma quantidade que se conserva no tempo, a energia. Quando Clausius diz que calor de uma temperatura se transforma em calor de outra temperatura, uma quantidade se conserva, de novo a energia, mas uma outra correspondente se altera. Que quantidade seria essa? De que forma essa alteração se relaciona com a alteração observada na transformação entre calor e trabalho de modo que elas se compensem e permitam a reversibilidade?"[65]

Do aprofundamento dessas conjecturas, Clausius retira uma conclusão para os processos circulares

(reversíveis), que é também estendida para os não circulares. Assim, formula matematicamente o valor do equivalente da transformação (N) da quantidade de calor Q em trabalho, como a razão Q/T, onde T é a temperatura absoluta.

Nos processos circulares, o valor do equivalente da transformação deve ser zero, devido à existência de uma direção preferencial nas transformações: o calor não passa espontaneamente do corpo mais frio para o mais quente. Esse valor também não pode ser negativo ou positivo, porque senão haveria a possibilidade de reverter a direção preferencial, ou seja, a passagem de calor do corpo frio para o quente, ou a conversão de calor em trabalho, sem nenhuma compensação.

A ampliação dessa análise, para os processos não circulares, mostra que o valor do equivalente de transformação só pode ser positivo. Além disso, Clausius distingue, nesses processos, o trabalho externo do trabalho interno. O significado deste último é relacionado com a resistência das moléculas do corpo à transformação da quantidade de calor fornecida ao corpo em trabalho (que não era detetado nos processos circulares).

A hipótese de Clausius era de que nos processos circulares a configuração interna do corpo, ao ser levado ao seu estado inicial, não sofria modificações. Enquanto que

nos processos não circulares havia uma mudança nessa configuração interna por ação do calor.

Seguindo esse raciocínio, Clausius introduz a idéia de limite das possibilidades das transformações, diferenciando, com precisão, processos reversíveis e irreversíveis, e destaca, também, a concepção, que mencionamos, de força de resistência ao calor pelo corpo à alteração de seu arranjo interno.

Assim, a partir dessas novas conceituações define os conceitos de trabalho interno, energia interna e estado de agregação molecular.

A expressão matemática que Clausius estabelece para definir a equivalência das transformações pela ação do calor nos corpos é escrita como:

$$- dQ = dH + AdL \qquad (1), \text{ ou}$$

$$dQ + dH + AdL = 0$$

onde,

dQ é a quantidade de calor cedido;

dH é o conteúdo de calor recebido pelo corpo;

dL é a soma do trabalho interno e externo realizado pelo calor na alteração do arranjo;

A é o equivalente em calor na unidade de trabalho

Explicitando o trabalho interno (dI) e o trabalho externo (dW) no termo dL, a expressão 1 é reescrita como:

$$dQ + dH + AdI + AdW = 0 \qquad (2)$$

A variação do conteúdo de calor sofrido pelo corpo (dH) e o trabalho interno (AdH) podem ser agrupadas por se referirem à energia interna (dU) do corpo. Assim, a expressão anterior (2) adquire uma forma mais familiar da 1ª Lei da Termodinâmica, isto é

$$dQ + dU + AdW = 0$$

É a partir dessa expressão que Clausius introduz o conceito e medida do estado de desagregação molecular por efeito do calor, definindo por fim o conceito de entropia e forjando, simultaneamente, com uma mesma precisão as duas leis e a própria Termodinâmica. Em 1867, Clausius enuncia:

1ª Lei - "A energia do universo é constante."

2ª Lei -- "A entropia do universo tende a atingir um valor máximo."[66]

II.5 - T.S. KUHN - DESCOBERTA MÚLTIPLA E SIMULTÂNEA?

Além de Mayer, Joule e Carnot, envolveram-se com as investigações dos processos de conversão vários outros pesquisadores. Helmholtz e Colding, assim como Joule e Mayer, formulam a conservação, de uma forma geral, com uma aplicação quantitativa. Seguin, Hirn e Holtzmann assinalam que o calor e trabalho são quantidades permutáveis, analogamente a Carnot, e estimam um valor para o coeficiente de conversão. Por fim, descrevendo os fenômenos da natureza como manifestação de uma força que podia aparecer na forma elétrica, térmica, dinâmica e muitas outras, temos Mohr, Grove, Faraday e Liebig. Esses pesquisadores, seguindo trajetórias diversas, anunciam entre 1842 e 1847 a hipótese da conservação da energia.

T.S. Kuhn, em "Energy conservation as an exemple of simultaneous discovery"[67], apresenta essa interpretação e, ao mesmo tempo, nega o título que adotou afirmando que não há uma descoberta simultânea no sentido lato. Ele diz que "até próximo ao período de descoberta, poucos dentre esses trabalhos apresentavam semelhanças fragmentadas em sentenças ou parágrafos isolados (...). Somente em vista do que ocorreu mais tarde pudemos dizer que todas as afirmações parciais diziam respeito ao mesmo aspecto da natureza"[68].

Observa que a emergência rápida de muitos elementos conceituais e experimentais com os quais foi enunciado a conservação de energia, entre 1830 e 1850, estavam muito "próximos à superfície da consciência científica"[69]. Destaca que foram sgnificativos e decisivos os fatores:

- Disponibilidade dos processos de conversão;
- O interesse pelas máquinas como produção de trabalho;
- Uma filosofia da natureza.

O primeiro fator deveu-se principalmente ao fluxo de descobertas que se seguiram após a invenção da bateria, em 1800, por Volta. Outras descobertas foram o efeito magnético da corrente elétrica e a produção de corrente elétrica pela aplicação de calor numa junção bimetálica.

Quanto ao interesse pelas máquinas, há uma interação da ciência com a prática social, com as exigências impostas pela Revolução Industrial, em curso na Europa, para a resolução de aspectos envolvidos no rendimento das máquinas.

Finalmente, existe a influência da filosofia da natureza no pensamento de muitos cientistas, direcionando a busca e um único princípio unificador.

-DISPONIBILIDADE DOS PROCESSOS DE CONVERSÃO

A descoberta de vários processos novos de conversão, durante a primeira metade do século XIX, favoreceu a ampliação da observação iniciada por Volta com a invenção da bateria, em 1800.

Na bateria de Volta, a força de afinidade química gera corrente elétrica. As outras descobertas que se seguiram a esta foram:

-1820: Oersted demonstra que correntes elétricas variáveis com o tempo produzem efeitos magnéticos;

-1822: Sebeck descobre que calor aplicado a uma junção bimetálica produz corrente elétrica;

-1827: Melloni identifica a natureza da luz com a do calor;

-1831: Faraday descobre a indução da corrente elétrica;

-1835: Peltier verifica que a corrente elétrica podia absover calor produzindo o frio;

Esses resultados inspiravam uma suspeita de que poderia haver uma conexão entre os aspectos muito diferentes da natureza. Uma força podia transformar-se em outra, ainda

que aparentemente ambas não tivessem nada em comum (força era a designação usual desse período, antes da conceituação de energia).

Cabe lembrar que algumas conversões eram conhecidas: o movimento gerava cargas eletrostática; a atração e repulsão elétrica e magnética produziam movimento; o gerador eletrostático produzia reações químicas e reações químicas produziam luz e calor; na máquina a vapor, o calor produzia movimento e o movimento por sua vez gerava calor devido a atritos e choques.

No entanto, esses fenômenos eram vistos como isolados. Somente após 1830 é que passam a ser mais e mais decodificados, classificados e analisados como um todo.

Assim, anteriormente isolados, os problemas vão adquirindo uma interrelação múltipla e são considerados como processos que formam verdadeiros ciclos ou cadeias de conversão. Por exemplo:

- as forças de afinidade química produziam corrente elétrica; a corrente elétrica produzia calor e às vezes luz; por eletrólise a corrente elétrica podia vencer as forças de afinidade química fechando essa cadeia de conversão;
- a corrente elétrica podia gerar campo magnético; magnetismo podia produzir movimento; movimento podia produzir eletricidade estática através do atrito. Tinha-se assim outra cadeia de conversões;
- a corrente elétrica gerada às custas do calor aplicado numa junção bimetálica, mostrada por Sebeck, é completada mais tarde por Peltier, que demonstra que a corrente elétrica ao absorver calor produzia o frio.

Outras descobertas, como a de Faraday das correntes induzidas ou a identificação de Melloni da luz com calor radiante, vêm ampliar a idéia de ciclos de conversões.

Havia muitas cadeias desse tipo. Grove e Faraday, investigando uma delas, chegaram a uma idéia bem próxima da

conservação de energia. Mohr iniciou seu trabalho inspirado em idéias metafísicas e procurou fundamentação nas novas descobertas. Joule, Helmholtz e Colding mostraram que os fenômenos térmicos com os quais Carnot, Séguin, Holtzmann e Hirn trabalhavam compunham as novas cadeias de processos de conversão.

Em síntese, de 1800 a 1830, são identificados uma série de fenômenos de tipos e ramos diferentes da Física, que se transformam uns nos outros.

Kuhn destaca do trabalho de divulgação científica "ON THE CONNEXION OF THE PHYSICAL SCIENCES"(SOBRE A CONEXÃO DAS CIÊNCIAS FÍSICA) de Mary Sommerville, de 1834, a afirmação:

"O progresso da ciência moderna, especialmente nos últimos cinco anos, tem sido marcado por uma tendência de relacionar os ramos separados (da ciência, de tal modo que)(...) existe um elo de união; que a proficiência não pode ser atingida em qualquer ramo sem o conhecimento dos outros."[70]

Esta afirmação esclarece o novo enfoque adotado pela ciência física. Mostra que esse enfoque, juntamente com outras descobertas, foi fundamental para reconhecimento dos conceitos que estavam por emergir.

Enquanto não se reconheceu a autonomia dos diferentes ramos da ciência, enquanto esses diferentes ramos não se constituíram como ciência em suas diferentes ramificações, a interconexão não foi percebida.

CAMINHOS PELOS QUAIS OS PROCESSOS DE CONVERSÃO FORAM ESTUDADOS

Joule estava interessado inicialmente no desenvolvimento do motor elétrico. Trabalhou sobre um dos

muitos problemas surgidos dos descobrimentos do século XIX: a questão do rendimento das máquinas. Procurava baterias mais eficientes para fazer funcionar os motores elétricos e tentava a conversão da eletricidade em trabalho mecânico. Isto exigia que, de alguma forma, fosse estabelecida uma correspondência entre grandezas físicas aplicadas nas máquinas. "Carnot estabelece uma analogia hidráulica, dizendo que o calórico produz trabalho ao passar de uma temperatura mais alta para uma temperatura mais baixa. Joule, com a idéia de correspondência entre as grandezas físicas operantes nas máquinas, elabora uma teoria da conversão de uma grandeza em outra. Por exemplo, o calor gerado por uma corrente é proporcional à força eletromotriz; a força eletromotriz gerada pela força química é equivalente ao calor gerado por esta outra forma."[71]

Por volta de 1840, seu sistema de avaliação de motores em termos de trabalho e rendimento estabelece uma relação com a pesquisa da máquina a vapor de Carnot, Séguin, Hirn e Holtzmann. No entanto, estas conexões desaparecem em 1841 e 42, mas se aproximam dos trabalhos de Faraday.

Começa a trabalhar de uma forma mais geral os processos de conversão, detendo-se nas novas descobertas da Química e aprendendo a visão de Faraday sobre a regra básica dos processos químicos do galvanismo. Reintroduz o motor e o conceito de trabalho mecânico; restabelece a conexão com a máquina a vapor e simultaneamente inicia a tarefa de investigar as relações de equivalência.

Seguindo por esse caminho, construindo e examinando gradativamente os processos de conversão e depois também medindo o equivalente mecânico do calor, chega à sua formulação de 1847.

As pesquisas de Joule exemplificam como a partir de um único processo foi possível atravessar toda a cadeia e

quase enunciar a conservação de energia.

Faraday e Grove elaboraram uma idéia mais limitada para a conservação. Para eles, a conservação era literalmente a racionalização de um novo fenômeno que Sommerville descrevia como a "nova conexão". A conservação de energia foi derivada por eles dos processos de conversão de laboratório, que tinham estudado muito em suas pesquisas.

Em 1834, Faraday apresentou cinco conferências sobre as novas descobertas na Química e no galvanismo, com uma sexta sobre "RELAÇÕES ENTRE A AFINIDADE QUÍMICA, ELETRICIDADE, CALOR, MAGNETISMO E OUTRAS POTÊNCIAS DA MATÉRIA". O teor dessas conferências pode ser sintetizado nas palavras: "Não podemos dizer que qualquer uma (dessas potências) é a causa da outra, mas apenas todas se relacionam e têm uma causa comum."[72]

Grove, em 1842, inclui um ponto semelhante aos estudos de Faraday. A série de ensaios qualitativos com o tema "SOBRE A CORRELAÇÃO DE FORÇAS EM FÍSICA" amplia, no ano seguinte, seu conceito de convertibilidade. "A posição que procuro estabelecer (...) é que os vários agentes imponderáveis (...) por exemplo, o calor, a luz, a eletricidade, o magnetismo, a afinidade química e o movimento,(...) podem, como uma força, produzir ou ser convertido em outro(s). Assim, calor pode produzir eletricidade direta ou indiretamente, eletricidade pode produzir calor; e o mesmo ocorre com as demais ações"[73]

Mohr e Liebig partem da metafísica. Utilizam a conservação de força, e se empenham para defender e elucidar esta idéia em termos do novo processo de conversão.

O que Mohr usou foi a conclusão das novas descobertas para fundamentar suas idéias. Em 1839, dizia: "Excetuando o conhecimento dos 54 elementos, há na natureza das coisas apenas um outro agente, e esse é chamado de

Força; ele pode aparecer sob várias circunstâncias como movimento, afinidade química, coesão, eletricidade, luz, calor e magnetismo, e de qualquer um destes fenômenos todos os outros podem ser derivados."[74]

Mayer e Helmholtz apresentam uma outra aproximação. Começam aplicando seus conceitos de conservação para os conhecidos velhos fenômenos como os problemas de queda livre e colisões.

Resumindo, os conceitos de convertibilidade universal das potências naturais de Grove e Faraday, de forças de Mohr e Liebig ou mesmo as conexões de Mayer e Joule não levaram diretamente ao conceito de conservação. Elas não eram tão óbvias - não havia nem o conceito de energia nem o corpo teórico.

Assim, da convertibilidade universal até a conservação falta ainda alguma coisa. Um elemento fundamental é a impossibilidade do moto-perpétuo, isto é, a igualdade entre causa e efeito. Se uma potência pode produzir qualquer outra e ser produzida, há que haver uma equivalência quantitativa entre ambas, de forma a satisfazer a igualdade entre causa e efeito, dando base para quantificação.

Essa idéia veio lentamente e de forma incompleta. Mayer foi o único a ter sucesso nessa quantificação. Para tanto ele utilizou conceitos pertencentes a um outro ramo da ciência - as máquinas térmicas, um produto da Revolução Industrial, que trataremos a seguir com base na análise de Kuhn.

- UM PROBLEMA TECNOLÓLIGO: O RENDIMENTO DAS MAQUINAS

Dentre os vários problemas presentes nas primeiras décadas do século passado, o das máquinas constituiu-se um dos mais significativos para a compreensão e elaboração de novos elementos conceituais que viriam compor a Termodinâmica.

O desenvolvimento das máquinas, produto da Revolução Industrial, ocorria a partir da prática de construtores e não e de princípios teóricos.

Hirn era um engenheiro que trabalhava no problema da lubrificação das máquinas para encontrar um lubrificante que otimizasse o funcionamento da máquina; Carnot trabalhava no aperfeiçoamento das máquinas a fogo (máquina a vapor), buscando agentes que fossem preferíveis ao vapor d'água para desenvolver o vapor motor do fogo; Joule parte do problema dos motores elétricos, da tentativa de encontrar baterias mais eficientes para fazer funcionar os motores elétricos. De modo que a questão do rendimento estava presente nos trabalhos desses pesquisadores, muito dos quais eram engenheiros de máquina.

Em suma, como avaliar a potência de uma máquina ?; e como a máquina, como força motriz, pode melhorar a produção nas fábricas?, eram problemas a serem resolvidos.

Watt, na Inglaterra, constroi uma máquina que pode ser utilizada para esse fim. É o primeiro que introduz um método para quantificar a potência de uma máquina, isto é, avaliar de alguma forma o trabalho que essa máquina é capaz de substituir. Num primeiro momento, as máquinas de Watt são alugadas aos industriais, mediante um pagamento, calculado com base na economia de pessoal proporcionado pelo engenho, ou seja, quantos trabalhadores consegue substituir.[75]

Apesar dos sucessivos aperfeiçoamentos que vão sendo introduzidos, a necessidade de se calcular a equivalência entre trabalho, entre a potência de uma máquina

e o trabalho dos operários que esta máquina consegue substituir, conduz exatamente a uma medida deste trabalho através deste dispositivo mecânico que não é ainda uma elaboração teórica, mas qualquer coisa de prática inventada para poder avaliar, também do ponto de vista econômico, o quanto cada máquina podia ser valorizada. Assim, a percepção de que falta alguma coisa para sistematizar o corpo de conhecimentos empíricos existentes estava presente no pensamento da época.

O CONCEITO DE TRABALHO

Os primeiros conceitos de trabalho encontram-se dentro da teoria dinâmica do início do século XVIII. O teorema da conservação de vis viva é, em geral, adotado como modelo que antecedeu à quantificação dos processos de conversão.

O produto da massa pelo quadrado da velocidade, como era quantificada a vis-viva, referia-se às investigações na dinâmica - colisões e queda-livre -, tema que não aparecia nos trabalhos dos precursores mencionados, com exceção de S.Carnot, Mayer e Helmholtz.

A quantificação adotada era força multiplicada por distância, uma entidade conhecida como efeito mecânico, potência mecânica ou trabalho. Porém, é uma quantidade sob o lastro da dinâmica.

O conceito de trabalho, na conotação atual, começa a adquirir relevância nas primeiras décadas do século passado, devido a uma série de estudos sobre Teoria das Máquinas e de Mecânica Industrial. Esses trabalhos imprimem a autonomização de trabalho e vis viva. Entretanto, cabe ressaltar que o conceito não foi inventado por esses livros.

Pelo contrário, foi emprestado da prática de um século de engenharia, onde seu uso teve um papel completamente independente de ambos: vis viva e sua conservação.

Lazare Carnot, em 1782, é quem introduz o conceito de trabalho. Em "ESSAI SUR LES MACHINES EN GENERAL", o produto da força pela distância adquire uma designação e uma propriedade conceitual na Teoria Dinâmica. Nesse trabalho, Lazare Carnot introduz diversas designações - dentre elas, força viva latente e momento atividade - e afirma: " O tipo de quantidade a qual dei o nome de momento atividade desempenha um papel relevante na teoria das máquinas em movimento, pois em geral é essa quantidade que se deve economizar tanto quanto possível, a fim de extrair de um agente (isto é uma fonte de força) todo efeito (mecânico) que é capaz"[76]

Cabe aqui uma observação: nessa época prevalecia a Teoria do Calórico. O calor era um fluido que não se convertia em trabalho. Muitas das dificuldades que já mencionamos eram decorrências das lacunas conceituais presentes no período. Dentre elas, o conceito de trabalho e a explicação da transformação calor em trabalho e vice-versa. Apesar do importante passo dado por Lazare Carnot em suas investigações, observamos que o conceito de trabalho começa a ser introduzido do ponto de vista mecânico. Entre 1825 e 1830, os franceses Poucelet e Coriolis começam a falar de trabalho mecânico.

Coriolis afirmava que "a água, o vento, o vapor e os animais eram simplesmente fontes de trabalho, e as máquinas, instrumentos para colocá-las em forma útil e transmití-las à carga".[77]

Com relação à máquina a vapor, a analogia emprestada para o calórico era a hidráulica, era a roda d'água - a água produz potência ao cair sobre a roda; o

calórico produz trabalho ao passar de uma temperatura mais alta para uma temperatura mais baixa. Essa foi uma teorização feita por Sadi Carnot.

Assim, o novo enfoque dinâmico do conceito de trabalho só vai se afirmar por volta de 1830 com os trabalhos desenvolvidos por Navier, Coriolis e Poucelet, entre outros. Eles ampliam a análise das máquinas em movimento. Dessa análise extraem o trabalho - a integral da força com relação à distância- como sendo o parâmetro conceitual fundamental. A consequência dessa formulação foi a adoção formal do termo trabalho e a unidade de sua medida; a redefinição da vis viva como a metade do produto da massa pela velocidade ao quadrado a fim de garantir a prioridade conceitual da medida de trabalho; e a formulação explícita da Lei de Conservação em termos da igualdade de trabalho e vis viva (energia cinética) produzida.

Essa reformulação da teoria dinâmica seria uma ferramenta importante para a quantificação dos processos de conversão. No entanto, poucos foram aqueles que se utilizaram desse resultado, preferindo teorias mais antigas provindas da Engenharia.

Sadi Carnot foi uma exceção. Abandona a teoria do calórico, isto é, de que o calórico não é um fluido que se conserva, mas que calor é vis viva molecular e que seu movimento deve ser igual ao trabalho realizado -temos aí uma relação imediata entre trabalho e vis viva. Mayer e Helmholtz viam trabalho como medida de força e chegaram a um resultado muito parecido com a formulação francesa. Por exemplo, em seu primeiro trabalho publicado, Mayer afirmava que " uma causa, cujo efeito é a elevação de um peso, é uma força; uma vez que essa força produz a queda de um corpo, a chamaremos força de queda (fall-force, Fallkraft)"[78]. Essa não era uma quantificação da dinâmica teórica, mas da Engenharia.

Joule e Liebig, na tentativa de quantificar os processos, compararam o rendimento do motor elétrico com o rendimento da máquina a vapor. Faziam a pergunta: "Qual o peso que uma dessas máquinas é capaz de elevar ao longo de uma distância fixada, para uma dada quantidade de carvão ou zinco ?"[79]. Essa linha de raciocínio foi fundamental em suas pesquisas e nas de Carnot, Séguin, Holtzmann e Hirn.

Nessa época, todos com exceção de Mayer e Helmholtz, eram engenheiros de máquinas. O conceito de trabalho para determinar o fator de conversão era necessário e a Engenharia iria favorecer a determinação, pois a própria concepção de máquinas a vapor, como instrumentos destinados ao uso apropriado de fontes de trabalho por meio de processos de conversão, nos esclarece o porquê de homens ligados à engenharia de máquinas a vapor, como por exemplo Hirn, Holtzamnn, Séguin e Carnot, foram conduzidos ao mesmo aspecto da natureza ao qual chegaram Grove e Faraday.

Essa maneira de olhar as máquina pode oferecer um outro método de se chegar a um coeficiente de conversão. Podemos perguntar o que é o rendimento dentro dos novos processos de conversão. Joule e Liebig, por exemplo, aplicaram esse tratamento em suas pesquisas de processo de conversão na bateria do motor elétrico.

Um outro fenômeno presente nas investigações dos cientistas era a compressão adiabática. Do ponto de vista qualitativo, a compressão adiabática forneceu uma demonstração ideal de conversão de calor em trabalho e quantitativamente seu único produto foi o cálculo de um coeficiente de conversão a partir dos dados existentes.

Poisson desenvolveu uma teoria de compressão adiabática e aplicou-a a máquina a vapor. Seu exemplo foi seguido por Carnot, Coriolis, Navier e Poucelet.

Por fim, é interessante mencionar que havia interesse de ordem político-econômica no desenvolvimento e

quantificação desses processos de conversão nas máquinas. Eram oferecidos prêmios às pesquisas nessa área, principalmente na França. Tal desenvolvimento era essencial para a Revolução Industrial, que se estava consolidando. De modo que, considerando esse aspecto, o interesse por máquinas ou motores pode não ter sido fundamental no trabalho desses pesquisadores, mas certamente facilitou suas descobertas.

- A EXISTÊNCIA DE UMA FILOSOFIA DA NATUREZA

Há nesses trabalhos examinados por Kuhn, lacunas conceituais. Mohr, por exemplo, simplesmente passa da defesa da teoria dinâmica do calor para estabelecer que há apenas uma força na natureza quantitativamente inalterável. Liebig saltou do rendimento dos motores elétricos e estabeleceu que os equivalentes químicos dos elementos determinam o trabalho recuperável de processos químicos por efeitos térmicos ou elétricos.

A frequência desses saltos mentais, sugere que muitos dos descobridores da conservação de energia tinahm subjacentes às suas idéias a crença na existência de uma única força imperecível, na origem dos fenômenos. Alguns historiadores apontam elementos de idéias metafísicas semelhantes às extraídas da conservação de vis-viva. A esse respeito, Leibniz, por exemplo, dizia: " a vis (viva) nunca perece; pode, é verdade, parecer perdida, mas sempre é possível descobrí-la através de seus efeitos, se se puder verificá-los."[80]

Apesar de ser conhecida desde o século XVIII, a conservação de vis-viva não teve influência significativa na formulação do princípio de conservação de energia. Essa é uma interpretação de Kuhn que nos revela que afirmações

semelhantes às de Leibniz, e de cientístas do século XIX, são encontradas repetidamente no movimento filosófico conhecido como Filosofia da Natureza. Os filósofos da natureza buscavam um único princípio unificador para todos os fenômenos naturais. É o caso, por exemplo, de Schelling, ao sustentar que fenômenos de toda ordem como os magnéticos, os eletroquímicos e os orgânicos guardavam uma interrelação íntima e estendia isso a toda a natureza.

Essa era uma interpretação apresentada antes da invenção da bateria. Schilling era categórico ao afirmar a existência de uma única força, mas com diferentes facetas que se revelavam nos fenômenos de luz e de eletricidade, dentre outros.

Como filósofo natural, Schilling considerava o galvanismo o limite da natureza orgânica e inorgânica. Oersted, além de cientista, era filósofo natural. Persistiu muito tempo em encontrar relação entre eletricidade e magnetismo porque acreditava na existência de uma. A partir da descoberta desta interação, o eletromagnetismo passa a ter um papel maior na formulação da subestrutura científica da filosofia da natureza.

Muitos dos filósofos naturais tiraram de sua filosofia uma visão dos processos físicos muito próxima daquela que Faraday e Grove retiraram das novas descobertas do século XIX.

A confluência desses três fatores, tão bem examinados por Kuhn, propiciou, no período de 1830-50, a execução de experiências e a adoção de idéias conceituais muito próximas à conservação de energia.

No entanto, há que se sublinhar, esses fatores não têm a pretensão de esgotar a explicação das descobertas que foram realizadas individual ou coletivamente do conceito de energia e da lei de sua conservação, mas ofecerem elementos

significativos das diversas trajetórias forjadas pelos pesquisadores, exemplificando com propriedade as sutilezas e complexidades presentes no processo de criação e de descoberta de novos conceitos.

Esses fatores merecem ser destacados, do ponto de vista de formação, para o professor e para o aluno, pois revela que na sua origem os novos conhecimentos são nebulosos, confusos e imprecisos. Essa imprecisão é superada adquirindo um significado preciso e concreto quando se capta, quando se reconhece seus limites de validade em sua aproximação com a realidade, ou seja, quando é estabelecido as fronteiras do corpo teórico no qual o novo conhecimento se insere.

O conceito de Energia, como já mencionamos, adquire um significado preciso a partir do momento em que as transformações de calor, isto é, os princípios de equivalência ou as relações de equivalência calor-trabalho são apreendidos na sua totalidade e destacados por Clausius nas duas leis da Termodinâmica, forjando a própria Termodinâmica. Só então é possível reconhecer que os trabalhos dos pesquisadores mencionados se referiam ao mesmo aspecto da natureza.

A nosso ver, isso é muito profícuo do ponto de vista da atividade pedagógica no ensino de Ciência, pois fornece ao professor elementos para salientar que o conhecimento, bem como a sua produção são processos que têm uma evolução e uma história, assim como guardam uma ligação com o contexto histórico-humano. É também, um processo no qual há embates de idéias cuja finalidade é objetivar, é dar substância e universalidade aos fenômenos investigados. Assim, a síntese realizada possibilita detetar as semelhanças ou as diferenças essenciais dos trabalhos dos diversos pesquisadores apresentados.

Essas sínteses passam então a fazer parte do universo dos fenômenos conhecidos, organizados segundo leis

matemáticas bem precisas, isso permite definir e resolver problemas, planejar experimentos e prever seus resultados, bem como conferir o modelo introduzido.

Nos livros didáticos e na cultura do cotidiano, essas sínteses não expressam as dimensões e complexidades que estiveram presentes em sua formulação. No cotidiano têm um caráter muitas vezes generalizado e impreciso; nos livros didáticos são apresentadas de forma muito resumida, escondendo a dimensão histórica desse fazer humano que é a produção e a criação de conhecimento.

Captar essas dimensões, reconhecendo a dinâmica da atividade científica e suas relações com o contexto no qual se insere ou se inseriu, permite-nos, enquanto professores de Ciências, ter uma visão diferente tanto da Ciência como dos alunos.

A Ciência, apesar de todos os rigores a ela aplicado tem seu limite de validade e está em constante transformação e evolução; os alunos, muitas vezes, não têm uma idéia precisa, do ponto de vista da Ciência, dos conteúdos que vão ser tratados, no entanto, podem ter uma idéia vaga ou generalizada, mas as têm de um ângulo diferente.

Esses diversos ângulos podem ser conhecidos e apreendidos pelo professor por meio de um levantamento do universo conceitual dos seus alunos. A perspectiva desse procedimento é colher elementos que permita ao professor identificar semelhanças e diferenças que eles emprestam aos conteúdos que serão tratados e, assim, poder fazer uma distinção dos significados expressos por eles e o uso que a Ciência adota, como exemplificaremos a seguir.

III - LEVANTAMENTO E ORGANIZAÇÃO DO UNIVERSO CONCEITUAL DOS ALUNOS.

III.1- CARACTERÍSTICAS DO INSTRUMENTO UTILIZADO: QUESTIONÁRIO ESCRITO

O instrumento para a obtenção das informações foi um questionário escrito.

Nessa escolha levamos em conta a realidade das salas de aula das escolas da rede pública de ensino, que possuem em média de 30 a 40 alunos por sala. Apesar de algumas limitações, como por exemplo, respostas incompletas e/ou sem possibilidade de interpretação — fator esse que poderia ser remediado numa entrevista —, tem a vantagem de atingir todos os alunos ao mesmo tempo e possibilita ao professor uma análise imediata das respostas. Os defeitos podem ser superados, pelo menos em parte, por um aperfeiçoamento da elaboração das questões.

Elaboramos as questões tendo por finalidade:

- uma intenção de propiciar uma livre exposição escrita dos temas apresentados. Procura-se desviar do esquema convencional de fazer perguntas, interrogações fechadas, como por exemplo:" O QUE É UM FLUIDO ?". Interrogações

assim concisas restrigem o alcance das respostas para fins de análise de significados.

- apresentar situações concretas para instigar ações do pensamento do aluno, ou seja, colocá-lo na situação e fazê-lo sentir-se como o observador do fenômeno ou como protagonista da ação.

Assim, a colocação do pronome "você" em todas as questões vem invocar uma manifestação do aluno no sentido de ele buscar formas de expor seu pensamento, vencendo a inibição provocada pela falta de domínio do conteúdo.

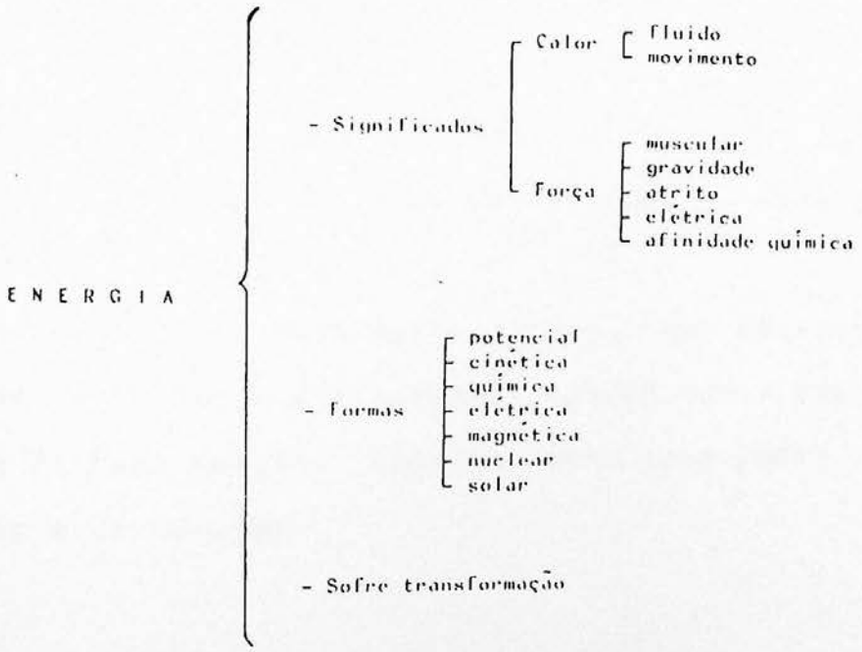
Procuramos livrar o aluno de estar buscando a "resposta certa" que ele "sabe" que a escola solicita.

Recorremos a questões abertas porque restringem menos o pensamento e permitem colher um espectro mais amplo da diversidade de pontos de vista, mesmo com suas precariedades e imprecisões.

Serão buscados os elementos que alimentarão as discussões e decisões dos vários aspectos que compõem a definição de um conceito científico da Física, entre eles: a dificuldade de sua formulação, na linguagem e na matemática, o seu limite de validade e a sua significação dentro de uma teoria, ou ainda os recursos a serem usados para o nível de ensino.

Nossos resultados não têm a intenção de diagnosticar dificuldades individuais, como seria indicada por entrevistas clínicas. Tratamos a classe como um todo, representada na rede sinótica de significados, onde devem estar destacados os elementos do pensamento individual do aluno.

Em função do desenvolvimento histórico, como mostrado no capítulo II, e nas formas de ensino usadas em livros didáticos escolhemos, neste estudo preliminar, um levantamento dos significados do conceito de energia relacionando-o com calor (fluido e movimento) e com força. Além disso, relacionamos o significado com várias formas de energia — cinética, potencial, elétrica, química, etc.



Quadro de significados do conceito de energia, a partir do qual foram elaboradas as perguntas.

As questões que propusemos foram:

1- Uma telha se desprende do telhado e cai. Ela pode cair sobre a cabeça de uma pessoa, em um balde de àgua, ou ir direto para o chão, acontecendo coisas diferentes em cada caso. Escreva sobre a telha que cai de um telhado baixo e de um telhado dez vezes mais alto. Você poderia identificar uma propriedade da telha responsável por essas coisas que ocorrem ?

2- Do que você precisa dispor para empurrar uma mesa ?

3- Qual a idéia que você tem de um fluido ? Cite alguns fluidos que você conhece.

4- O que você sente ao esfregar a sua mão, durante algum tempo, sobre uma superfície, por exemplo de madeira ?

5- Considerando a questão anterior, você pensaria em algum tipo de explicação que tivesse ligação com a passagem de um fluido ? Explique sua opinião sobre essa idéia, explicando os prós e os contras.

6- O que significa para você, quando acaba a luz, a expressão: ACABOU A FORÇA ?

7- Você sabe explicar como a água do chuveiro elétrico é aquecida ?

8- Em que situações diferentes você usa o conceito de Força e com que significados ? (Você se lembrou do conceito usado na Física ?)

9- Em que situações diferentes você usa o conceito de energia e com que significados ?

10-Você já observou alguma coisa se mexendo por causa do calor (vapor, ar quente, etc.)? Descreva as situações.

No tocante ao conteúdo de Física, de acordo com o quadro mencionado, os conceitos relacionados às questões propostas são:

1º questão: Energia Cinética e Potencial

2º questão: Força

3º questão: Fluido

4º questão: Calor

5º questão: Calor, ou energia como fluido

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
SERVIÇO DE BIBLIOTECA E INFORMAÇÃO
1477
e.1
INSTITUTO DE FÍSICA

6º questão: Força e Energia como conceitos diferentes e/ou sinônimos

7º questão: Transformação (processo)

eletricidade ——› calor

8º questão: Força - linguagem do cotidiano X linguagem da Física

9º questão: Energia - linguagem do cotidiano X linguagem da Física

10º questão: Transformação - calor ——› movimento

III.2- APLICAÇÃO DO QUESTIONÁRIO

O público alvo de nosso estudo é constituído pelos alunos de 2º grau da rede pública de ensino. A escolha das escolas, nas quais foram aplicados os questionários (anexo-I), foi segundo a conveniência.

Neste primeiro estudo nossa intenção é colher formas de expressão feitas pelos alunos de conteúdos da física, independentemente de variáveis específicas como idade, sexo, nível sócio-econômico, etc.. Não vamos estudar neste trabalho comportamentos, ou níveis de cognição e sua correlação com os aspectos regionais ou locacionais das escolas da rede pública ou mesmo aspectos relativos à renda familiar. Assim, julgamos que o material obtido é uma amostra da possibilidade de pensar a proposta pedagógica, inclusive para projetar estudos posteriores.

As escolas que aplicamos os questionários foram: Escola Estadual de Segundo Grau "São Paulo" e Escola Estadual de Segundo Grau "Prof. Américo de Moura".

Na primeira escola contamos com a participação de 25 alunos e na segunda com 32 alunos. Todos esses alunos fazem o curso diurno e estão na faixa etária regular para o curso, ou seja de 14 a 16 anos. Embora cursem o 2º ano colegial, tendo tido, portanto, algum conhecimento de

energia ligado mais à mecânica e não a termologia (conteúdo que seria abordado no segundo semestre, de acordo com os professores), reconhecemos muitos elementos da termologia e calorimetria nas respostas apresentadas. Certamente, esses alunos devem ter tido contato com o assunto durante o curso de ciências do 1º grau.

Os questionários foram aplicados pelos professores efetivos de Física durante o período normal de aula, no primeiro semestre.

III.3- RESPOSTAS APRESENTADAS

Do universo inicial de 57 alunos investigados, aproveitamos 51 questionários. Nesta primeira etapa, tabulamos as respostas (anexo II) e fizemos uma análise qualitativa preliminar de todas elas.

O quadro I, obtido nesta primeira análise, resume os conceitos e a linguagem utilizada nas respostas.

QUADRO - I: QUESTÕES E CONCEITOS UTILIZADOS

QUESTÕES / CONCEITOS UTILIZADOS NAS RESPOSTAS	2ª Questão Do que você precisa dispor para empurrar uma mesa?	3ª Questão Qual a idéia que você tem de um fluido?...	4ª Questão O que você sente ao esfregar a sua mão...sobre uma superfície,...de madeira?	5ª Questão ...tipo de explicação que tivesse ligação com a passagem de um fluido?...	6ª Questão O que significa para você quando acaba a luz a expressão: "ACABOU A FORÇA"?	7ª Questão Você sabe explicar como a água do chuveiro elétrico é aquecida?	8ª Questão Em que situações diferentes você usa o conceito de força e com que significados?...	9ª Questão Em que situações diferentes você usa o conceito de Energia e com que significados?...	10ª Questão Você já observou alguma coisa se mexendo por causa do calor?...
FORÇA	. confrontado com força de atrito		. força de atrito	. força de atrito	. energia elétrica . força mecânica . eletricidade	. força de eletricidade	. força de atrito . força resultante . grandeza vetorial . gerar energia	. energia	
ENERGIA	. propriedade da matéria	. o fluido pode gerar	. calor libera energia	. fluido . calor	. força . en. luminosa	. calor . elétrica . térmica	. força . devido à força . en. elétrica . en. humana . en. térmica	. força . cinética . potencial . mecânica . solar . luminosa . térmica . p/realizar trabalho	
CALOR		. fluido	. devido ao atrito . devido ao movimento	. devido ao atrito . fluido . fluxo . movimento . energia . movimento(*)		. luz-energia-calor . eletricidade . en. elétrica . resistência . impacto . corr. elétrica		. en. luminosa	
FLUIDOS		. líquidos inflamáveis . gases		. energético do calor . líquido					
OUTROS CONCEITOS OU TERMOS GERAIS/COS/ABSTRATOS	. peso, massa . aceleração . inércia . corpo . ponto de aplicação	. fluxo . vaporização . volátil	. temperatura . ação e reação . pressão	. pressão . movimento . fluxo	. eletricidade . corr. elétrica . movimento . transmissores . curto-circuito . gerador	. queda de água . hidroelétrica . corr. elétrica . impacto de moléculas . fluxo . movimento	. (realizar) trabalho . aceleração . tração . movimento . massa	. fonte de força	. propagação de calor . estados da matéria
LINGUAGEM	. do cotidiano . matemática	. do cotidiano: "maus fluidos"	. aquecer . esquentar . prender . aspereza	. aquecer . suor . esquecer	. corte nada funciona . não há trabalho . geradora	. força da eletricidade que faz funcionar as coisas	. da matemática . do cotidiano: - empurrar, segurar, levantar, bater - energia, briga - trabalho(*)	. do alimento . resistência física . mental . energia p/se locomover . trabalhar	

As linhas do quadro I mostram as várias designações ou significados que são atribuidos aos conceitos de Força, Energia, Calor e Fluido. Além desses conceitos, aparecem, de modo mais disperso, outros conceitos tais como: Peso, Massa, Fluxo etc, que foram agrupados numa mesma linha e distribuídos em cada uma das colunas para associá-las com as respectivas questões. Na última linha, registramos a terminologia (da Física ou do cotidiano) usada nas respostas.

As colunas registram o significado ou como são expressos os conceitos.

Percorrendo a primeira coluna do quadro I, observamos que para empurrar uma mesa há respostas mencionando que "é necessário dispor de Força" (com a conotação de força muscular) para vencer a Força de Atrito ou dispor de uma Força Propulsora; em outras, aparecem grandezas como Peso, Massa, Aceleração ou parâmetros como Ponto de Aplicação. A Energia é colocada como sendo responsável pelo aparecimento da Força. Com relação à linguagem, as respostas são expressas às vezes por meio de fórmulas matemáticas (ou linguagem da física), às vezes com expressões do cotidiano ou uma mistura dos dois.

Observando na direção da primeira linha, vemos que FORÇA, além de significar Força Muscular para vencer a Força de Atrito é:

- uma entidade que se manifesta com o nome de Força de Atrito, quando se realiza uma fricção sobre uma superfície;
- sinônimo de Energia Elétrica, Eletricidade, Energia;
- uma fonte de Energia.

Esta análise possibilitou-nos verificar um resultado inicial de obtenção de alguns elementos conceituais por meio do questionário escrito. Serviu também de instrumento para observar a adequação das perguntas.

No caso da questão 1, cujo registro foi omitido no quadro I, não foi realizada uma análise detida porque as respostas de muitos alunos continham muitos significados, do ponto de vista da exposição do pensamento, e, muitas vezes, confusos, o que dificultou nossa interpretação. Atribuímos alguns fatores a isso tais como a própria formulação da pergunta, que requisitava do aluno muita coisa ao mesmo tempo.Por exemplo, descrevemos uma situação concreta na qual supomos que o aluno vai se colocar, mas não é explícito onde ele está como observador: pedimos a ele que escreva sobre os efeitos da telha em diferentes superfícies, depois o colocamos na situação, solicitando uma tarefa que exigia achar os significados de Energia Potencial e Cinética que,

na análise, percebemos ser muito complexas. O aproveitamento imediato para o conceito de energia na primeira lei da termodinâmica, dessas respostas, muito embora tenha havido uma parcela considerável de respostas (80% dos alunos investigados atenderam à questão), ficou prejudicado para este trabalho. As colocações que foram expostas pelos alunos tinha uma ligação maior com a Mecânica. Com esse enfoque essas respostas poderiam ser analisadas.

Para a questão 5, o indíce de respostas em branco foi elevado (67% de respostas em branco). Vemos claramenete, a posteriori, que a intenção da pergunta é difícil de ser entendida. As demais questões foram respondidas por um número significativo de alunos (ver quadro II). De modo geral, mais de 70% dos alunos atenderam à solicitação feita.

As considerações que faremos a seguir expressam nossa primeira análise qualitativa das respostas dadas pelos alunos e mostram que a maneira como apresentamos as perguntas dá uma maior margem para o aluno colocar seu ponto de vista.

Quadro II. Número de questões respondidas e número de questões em branco

	Nº de alunos que responderam às questões				Nº de respostas em branco			
Questões	2º I	2º C	Total	%	2º I	2º C	Total	%
1	11	30	41	80	9	1	10	20
2	20	31	51	100	-	-	-	-
3	10	27	37	73	10	4	14	27
4	19	30	49	96	1	1	2	4
5	6	12	18	35	14	19	33	65
6	18	29	47	92	2	2	4	8
7	17	28	45	88	3	2	5	10
8	14	27	41	80	6	4	10	20
9	11	27	38	75	9	4	13	25
10	11	28	39	76	9	3	12	24

III.4- ANÁLISE PRELIMINAR

1ª. Questão: UMA TELHA SE DESPRENDE DO TELHADO E CAI. ELA PODE CAIR SOBRE A CABEÇA DE UMA PESSOA, EM UM BALDE DE ÁGUA OU IR DIRETO PARA O CHÃO, ACONTECENDO COISAS DIFERENTES EM CADA CASO. ESCREVA SOBRE OS EFEITOS DA TELHA QUE CAI DE UM TELHADO BAIXO E DE UM TELHADO DEZ VEZES MAIS ALTO. VOCÊ PODERIA IDENTIFICAR UMA PROPRIEDADE DA TELHA RESPONSÁVEL POR ESSAS COISAS QUE OCORREM ?

Para responder a essa questão, a maioria dos alunos discorre apenas sobre os efeitos da telha. A propriedade da telha responsável pelos efeitos que ela pode causar é lembrada somente por seis alunos.

É interessante observar que, em relação aos efeitos provocados pela queda da telha, a interação foi descrita, com frequência, de duas maneiras:

(a)- Quando eles (os alunos) consideravam a superfície da água ou do chão, a descrição foi o efeito da superfície sobre a telha. Exemplo: "... ela se quebra".

(b)- Quando a superfície considerada é a cabeça da pessoa, a resposta foi o efeito da telha sobre a superfície, no caso a cabeça de uma pessoa. Exemplo: "... provoca uma dor imensa"; "... poderia ocasionar a morte de uma pessoa".

Quanto à propriedade, aqueles que mencionaram, como a questão requeria, o fizeram de uma forma concisa e direta, ou seja, Propriedade: gravitacional; força da gravidade; peso e aceleração da gravidade.

As descrições colocadas nas respostas demonstram uma boa capacidade de imaginar, com realismo, a situação apresentada. No entanto, como já mencionamos, não atenderam às nossas expectativas relativas ao conteúdo esperado e, também, quase que a totalidade dos alunos deu uma resposta incompleta.

Consideramos incompleta as respostas que tinham uma mistura do conhecimento da Física e a situação concreta na qual eles se deparavam, isto é, nas suas formas individuais de expressão. A linguagem da Física não correspondia a coisas bem definidas, explicitando uma imprecisão na utilização do conceito. Para ilustrar, temos a resposta: "A telha que cai de um telhado baixo terá um peso inferior daquela que cai de um telhado alto, pois de um telhado alto desenvolveu uma velocidade maior devido seu

maior percurso. Assim sendo, quanto maior a velocidade, maior é a força desenvolvida por ele". Este não discernimento entre os conceitos de força e velocidade, peso e velocidade, força e peso, estão presentes na maioria das respostas. Essa questão merece uma pesquisa específica.

2ª. Questão: DO QUE VOCÊ PRECISA DISPOR PARA EMPURRAR UMA MESA?

A resposta mais comum nesta questão foi: é necessário dispor de força. Apenas dois alunos responderam em termos de energia ("dispor de energia").

Nas respostas relativas a força, 17 alunos responderam "força", simplesmente. Os demais confrontam "força" com "força de atrito", "força peso" e "massa". Na confrontação é quase que unânime a condição de que a força deve ser maior que a força de atrito. A existência da força de atrito entre a mesa e a superfície é explicitada por seis alunos: "Uma força maior que a força de atrito existente entre a mesa e a superfície". Há também aqueles que mencionam a condição de deslocamento: "é necessário aplicar uma força de intensidade maior que a força de atrito (iminência), para poder locomover a mesa do lugar"

Com referência a força, peso e massa, a resposta a seguir ilustra o enfoque: "De uma força F maior que a massa da mesa, isto é, uma força maior que o peso P da mesa".

A linguagem apresentada por alguns alunos evidenciou:

- Uma incorporação da notação matemática para sintetizar a idéia: "$F <$ equilíbrio$< F_{at}$";

- Utilização de termos genéricos e abstratos tais como: "inércia", "determinada força", "corpo", ponto de aplicação" etc;
- utilização de termos que representam a ligação com a situação descrita. Por exemplo, "chão", "lugar", "mãos", "membros", etc.

Independente da forma e da linguagem usada nas respostas, observamos que há nos alunos investigados uma compreensão das variáveis que interferem no fenômeno, presentes no dia-a-dia deles e, é praticamente um consenso a noção de Força como instrumento de Ação e não como um instrumento que viabiliza uma Ação.

De modo mais completo, apenas um aluno utiliza o conceito de energia como propriedade da matéria que permite a materialização da ação: "De energia capaz de desenvolver uma força maior que o peso da mesa e a força de atrito que age sobre ela".

3ª. QUESTÃO: QUAL A IDÉIA QUE VOCÊ TEM DE UM FLUIDO ? CITE ALGUNS FLUIDOS QUE VOCÊ CONHECE.

Com algumas variações as respostas apontam que a idéia de fluido está associada com substâncias líquidas e gasosas. As diferenças aparecem na identificação das propriedades do fluido.

"Fluidos são líquidos inflamáveis" é uma concepção dada por alguns alunos. Esta idéia de substância inflamável também fica subentendida nos exemplos dos demais alunos que fazem afirmação do tipo: "Coisa líquida como, por exemplo, óleo, querosene"; "oxigênio". É interessante observar que ao mencionarem o líquido ou o gás, reportam-se ao "fluido do isqueiro".

A identificação do fluido com energia, calor e força foi feita por quatro alunos. Suas respostas foram: "Material líquido que pode gerar energia. Exemplo: água, álcool, petróleo"; "É o calor desprendido da chama do fogo, ele desprende um fluido quente. Um gás"; "Líquidos que geram força..."

Embora tenha havido respostas em branco — dos dezesseis alunos que não responderam, apenas um deu uma justificativa —, podemos afirmar , com base nas respostas fornecidas, que boa parte dos alunos tem uma idéia de

fluido. Fluido com propriedade de ser inflamável, de ser algo que se evapora, de movimentar-se como líquido. Todas essas idéias, apesar da diversidade, nos inclina a pensar num ponto de convergência, ou seja, numa associação do fluido com substância material — convertível —, e com movimento que pode gerar energia. Portanto, uma substância diferente: algo mais que líquido ou gás.

Esta nossa inferência está baseada nas respostas dos alunos. Praticamente todos se referem ao fluido como coisa concreta, isto é, "uma coisa em forma de gás ou líquido...". Apenas um aluno se expressa em termos mais abstratos e lembra que é uma expressão usada popularmente: "Maus fluidos ——› Maus pressentimentos"

Relacionado com convertível e movimento, observamos que boa parte dos alunos trata o fluido como algo que pode mudar sua forma de ser ou propriedade: "Líquido que pode se dissolver..."; "líquido que pode evaporar"; "o que corre como líquido".

A geração de energia, nos parece, está mais ligada com a produção de fogo e o conceito de quente, como ilustram os exemplos que já mencionamos.

4ª. QUESTÃO: O QUE VOCÊ SENTE AO ESFREGAR SUA MÃO, DURANTE ALGUM TEMPO, NUMA SUPERFÍCIE, POR EXEMPLO, DE MADEIRA ?

Com poucas exceções, a sensação de sentir calor, aquecer ou esquentar foi uma opinião quase que absoluta dos alunos (apenas um aluno não deu a resposta).

Os conceitos utilizados foram: calor, temperatura, energia, atrito e movimento.

O calor é mais entendido como sinônimo de aquecimento e quente. Ele é descrito e considerado como uma percepção dos sentidos. A associação de calor com energia foi feita por um aluno: "Começa a gerar calor, ou seja, liberar energia".

A temperatura também não é diferenciada do calor: "Calor, aumento de temperatura".

A força de atrito é vista frequentemente como o agente responsável pela sensação de calor ou aquecimento: "Calor devido ao atrito entre os dois..."; "...esquentar através do atrito"

O movimento aparece para justificar o aquecimento: "Devido ao movimento que é exercido sobre a madeira, a mão vai se aquecendo cada vez mais". Noutra, para descrever a

situação e a sensação: "Uma força que se opõe a este movimento denominado força de atrito".

A situação descrita nesta questão foi, de modo geral, bem identificada e associada com o conhecimento da experiência diária dos alunos na apresentação de suas respostas, quer utilizando os conceitos que mencionamos, quer utilizando os conceitos de suas experiências do cotidiano como "aspereza", "deslizar menos", "dor", etc.

5ª. QUESTÃO: CONSIDERANDO A QUESTÃO ANTERIOR, VOCÊ PENSARIA EM ALGUM TIPO DE EXPLICAÇÃO QUE TIVESSE LIGAÇÃO COM A PASSAGEM DE UM FLUIDO ? EXPLIQUE SUA OPINIÃO SOBRE A IDÉIA, EXPLICANDO OS PRÓS E OS CONTRA.

Embora na questão anterior tenha havido apenas quatro respostas em branco, nesta o número é maior: 33 alunos não responderam, o que corresponde a 65% dos alunos.

Consideramos que esse resultado ocorre em função da diferença de qualidade da solicitação. A questão anterior requeria uma descrição da percepção sensorial do experimento (uma situação, certamente, já vivenciada por eles), enquanto esta questão avança um pouco mais e ao mesmo tempo limita o pensamento, ao induzir uma justificativa do efeito com a noção de fluido.

Entre aqueles que atenderam a solicitação, a maioria atribuiu à força de atrito a responsabilidade do aquecimento, mantendo coerência com a resposta anterior. A ligação com a passagem de fluido é feita com o auxílio dos conceitos de calor como fluido, força de atrito, energia, velocidade e fluxo. Nos dois primeiros conceitos, a força de atrito é o agente responsável pela manifestação do fluido e,

no último, o calor. As respostas abaixo ilustram esta interpretação:

"Seria a passagem de um fluido energético de calor, talvez pelo atrito existente na superfície..."; "O ferro quando a gente liga esquenta, desliga ele esfria";

"Sim, com o atrito existente entre a mão e a madeira";

"Sim. Há transmissão de energia de nossas mãos para madeira, fazendo com que esta esquente";

"Sim. Com o calor, aumentaria a pressão e a velocidade da corrente sanguínea".

Há também aqueles que associam o fluido com o suor, transpiração: "Poderia ser a ação do fluido que a mão solta por transpiração...".

Aqueles que não vêem a ligação com a passagem de um fluido, justificam o aquecimento reportando-se ao atrito como provocador da liberação de energia e produção de calor. As respostas a seguir ilustram essa interpretação:

"Não... eu acharia que este fenômeno seria algo relacionado com a força de atrito, pois a mão em atrito com a superfície da mesa liberaria energia, neste caso, calor";

"Eu pensaria em algum tipo de fluido se o calor passasse de um corpo para outro, mas neste caso o calor é produzido nos dois corpos através do atrito";

"...não existe um fluido pois não foi desprendido nenhum gás nesta ação. Houve apenas um aquecimento da mão provocado pelo atrito".

6ª. QUESTÃO: O QUE SIGNIFICA PARA VOCÊ, QUANDO ACABA A LUZ A EXPRESSÃO: ACABOU A FORÇA ?

A identificação da expressão acima com "Acabou a energia elétrica" foi feita por doze alunos. Os demais fizeram uma identificação utilizando expressões tais como "acabou a força elétrica","acabou a corrente elétrica", "defeito no campo elétrico". Neste grupo, alguns mencionam que a palavra força é utilizada como sinônimo de energia.

As versões que observamos foram bem diversificadas e ricas de conteúdo no que se refere a causa atribuída ao fenômeno. Afirmações como: "...acabou a energia elétrica que é a força que faz a lâmpada acender"; "...houve um curto-circuito com os fios elétricos... e este provocou uma interrupção da energia elétrica... e a força foi interrompida"; "... que a corrente elétrica que fazia a lâmpada liberar luz , acabou": " A força elétrica que faz acender a luz e funcionar materiais elétricos foi interrompida por algum defeito nos transmissores"; ilustram como os conceitos de energia, força, curto-circuito e corrente elétrica são empregados para explicar a questão proposta. Isto nos mostra a utilização de termos da Física ligados à técnica, indicando-nos a existência de uma

familiarização do uso daqueles conceitos que estão inseridos e vinculados à cultura geral.

7ª. QUESTÃO: VOCÊ SABE EXPLICAR COMO A ÁGUA DO CHUVEIRO ELÉTRICO É AQUECIDA ?

As explicações foram dadas, com algumas exceções, utilizando-se os conceitos de resistência elétrica, energia e corrente elétrica.

Dos vinte e cinco alunos que explicam o aquecimento da água através da resistência elétrica, um pouco menos da metade (onze alunos) consideram a geração de calor na resistência, sem mencionar o processo. Para os demais, a resistência possibilita a manifestação de calor que é provocada por diferentes agentes como corrente elétrica, eletricidade, força da eletricidade e energia. As afirmações seguintes ilustram o emprego desses conceitos:

"A corrente elétrica passa através... da resistência, o que gera calor e aquece a água";

"... através da eletricidade que ao passar pela resistência do chuveiro vai se transformar em calor e aquecer a água";

"... por causa da força da eletricidade que pode hoje mover ou fazer funcionar muitas coisas";

"Através da energia liberada pela sua resistência, isto é,... que através da energia neles aplicados, geram calor, aquecendo a água".

Explicações com o conceito de energia foram apresentados por quinze alunos. Destes, dois alunos mencionam que o aquecimento é devido à "transformação de energia elétrica em térmica". Outros explicam que o aquecimento se dá por meio da eletricidade, energia elétrica, energia térmica, energia que emite calor.

As justificativas de maneira geral, embora com a linguagem da Física (que indica um processo microscópico, por exemplo, corrente elétrica), estão mais ligadas às informações e compreensões emprestadas daqueles conceitos na experiência diária de cada aluno. Distinguimos dois alunos que apresentam uma explicação mais diferenciada em termos de linguagem e conceito:

"Eu imagino: a corrente elétrica passa pela resistência do chuveiro, quanto maior o número de elétrons livres mais fácil será para a corrente fluir (grifo nosso). Ao passar corrente, devido a fricção, forma-se o calor aquecendo a água."

"É aquecido através de um movimento, trabalho de seus componentes, onde a energia elétrica atua diretamente na água aquecendo seus componentes.".

Analogamente à questão anterior, salvo as duas respostas que acabamos de citar, os conceitos, quase que a

totalidade, são ligados à linguagem técnica empregada no dia-a-dia.

8ª.QUESTÃO: EM QUE SITUAÇÕES DIFERENTES VOCÊ USA O CONCEITO DE FORÇA E COM QUE SIGNIFICADOS ? (VOCÊ SE LEMBROU DO CONCEITO USADO NA FÍSICA ?)

9ª.QUESTÃO: EM QUE SITUAÇÕES DIFERENTES VOCÊ USA O CONCEITO DE ENERGIA E COM QUE SIGNIFICADOS ?

Nestas duas questões as respostas mostram certa familiaridade com a linguagem da Física para discorrer sobre força e energia. No entanto, há uma forte componente do uso cotidiano dessas palavras permeando as conceituações. Assim como nas duas primeiras questões, as respostas deixam transparecer uma imprecisão na apreensão do conceito físico.

É muito frequente a separação força física e força em Física. Força física para realizar trabalho (no sentido de fazer alguma coisa), para colocar um corpo em movimento , ser mais forte, ter força mental. Força em Física significando: resultante, força de atrito, tração, peso, normal, energia elétrica, mecânica. Afirmações semelhantes aparecem com relação ao conceito de energia: "Tem força; poder; energia mental; resistência física". A energia algumas vezes associada à eletricidade como geradora de força elétrica. Outras respostas sugerem que há uma identificação:

- com tipos diferentes de energia: "Energia cinética, energia potencial, térmica, solar,etc";
- com processos de transformação: "... um corpo está parado tem energia potencial. Por exemplo, a água de uma represa. Energia cinética quando o corpo sai da energia potencial, isto é; começa a se movimentar... a energia cinética é tranformada em mecânica... a água move turbinas, esta é transformada em elétrica que segue... realizando alguma forma de trabalho";
- como propriedade da matéria: "Energia é a capacidade de produzir trabalho através da força".

10ª.QUESTÃO: VOCÊ JÁ OBSERVOU ALGUMA COISA SE MOVENDO POR CAUSA DO CALOR (VAPOR, AR QUENTE, ETC) ? DESCREVA AS SITUAÇÕES.

As situações descritas foram basicamente de duas maneiras. Uma considerando o movimento do corpo devido a influência do calor sobre o próprio corpo e outra, o corpo servindo de intermediário da manifestação do movimento de um segundo corpo.

Na primeira situação, os exemplos apresentados foram: "O movimento das bolhas de água quando ela está fervendo (ou em ebulição); o movimento do vapor proveniente da água do chuveiro, que embaça o espelho". Em síntese, as situações focalizadas envolviam mudanças de estado de elementos — em geral a água —, submetidos a ação do calor. As respostas que se seguem são ilustrativas. "Sim . Por exemplo, a água fervente da chaleira (ebulição), em que há uma grande liberação de vapor devido ao calor do fogo. Um outro exemplo é o sorvete que permanece muito tempo fora da geladeira. Por causa da grande quantidade de calor vai se derreter atingindo a forma líquida (fusão)."; "Fogueira queimando, madeira caindo.".

A segunda situação contém, substancialmente, uma concepção de calor provocando movimento e, também, calor

responsável pela realização de trabalho causando movimento. As respostas apresentadas sugerem esta concepção: "A tampa do bule se mexendo por causa do calor (água borbulhando ou balançando)"; "Balões de ar quente, balões (festa junina), trem a vapor... válvula de escape da panela de pressão.".

As respostas também demonstram a existência de informações relativas ao estado da matéria quando submetida à mudança de temperatura, ou seja, a ocorrência do efeito de dilatação dos sólidos e da expansão nos gases, acarretando o movimento destes — "Um pedaço de plástico se enrolar através do calor da mão".

III.5- PROPOSTA DE REORGANIZAÇÃO E USO DOS RESULTADOS

Esta primeira análise mostra que existe nos alunos pesquisados, conhecimento de muitos elementos importantes relacionados com os conceitos de energia e calor. A confusão entre força e velocidade, força e energia, força e trabalho, energia e trabalho, presentes nas respostas apresentadas, nos confirma uma apropriação distorcida do conteúdo específico.

Por um lado, a confusão está associada com a conotação atribuída àqueles conceitos na linguagem do cotidiano que é, ao mesmo tempo, ampla e vaga, mas têm uma ligação com a origem desses termos. No dicionário[81], além do significado da Física, vemos várias outras denotações: força é apresentada como sinônimo de energia e potência. Por sua vez, energia e potência são sinônimos de trabalho, e assim por diante. Por outro lado, um reconhecimento não adequado dessa confusão que existe nos alunos pelo professor contribui, de acordo com as conclusões de Fleshner[82], para a manutenção das falhas de conteúdo dos estudantes.

Como indicam as respostas que obtivemos, o aluno ao utilizar os conceitos da Física sem uma ligação correta com as teorias, é levado a estabelecer uma relação diferente com a realidade, daí sua dificuldade para resolver

problemas. Para ele, a Física na sala de aula tem vínculos diretos com os fenômenos da natureza, mas numa relação imprecisa e fragmentária. Idealiza as teorias Físicas sem ter um conhecimento preciso. Muitas vezes, aparecem pensamentos encobertos pelo uso de um formalismo, ou uma definição, com sentidos contraditórios ou sem sentido.

Todos esses aspectos são dados importantes do universo conceitual da classe e fornecem pistas para o professor de como os conceitos são assimilados pelos seus alunos, mas não traduzem para o conjunto professor e classe uma base de interação.

Uma base de interação para esse conjunto professor e classe poderá ser algo que pode conter de modo sucinto as idéias presentes nos depoimentos, para que elas possam ser também observadas pelos alunos como uma forma de conhecimento, reconhecimento, da classe. Alguma coisa que mostre a concretitude desse conhecimento.

Procuramos então, tendo como base esta primeira análise, organizar os conteúdos revelados neste levantamento em um quadro único e adequá-lo como instrumento de mediação.

As sugestões propostas em "Qualitative Data Analysis for Educacional Research"[83] de J.Bliss, M.Monk e J.Ogborn, um guia oportuno ao uso do systemic network que preferimos denominar de rede sinótica de significados, veio

de encontro aos nossos propósitos de sistematização e de representação das respostas qualitativas, assim como nos inspirou na elaboração da análise que iremos descrever.

III.6- METODOLOGIA DE ANÁLISE: ELABORAÇÃO DA REDE SINÓTICA DE SIGNIFICADOS

III.6.1- INTRODUÇÃO

A Rede Sinótica de Significados configura e sistematiza o conjunto de idéias reveladas nas respostas dos alunos. Ela foi inspirada no curso de J. Ogborn, apresentado no Simpósio de Ensino de Física realizado no Rio de Janeiro, em fevereiro de 1985. A técnica é baseada nos estudos reunidos no livro "Qualitative Data Analysis for Educacional Research". A rede que apresentamos foi discutido com este pesquisador, no Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) no mesmo ano.

A análise, utilizando esta metodologia, foi apresentada, em forma de painel, na 37ª Reunião Anual da SBPC, Belo Horizonte, 1985, e discutida com os professores da rede oficial de ensino de primeiro e segundo graus, no curso de extensão universitária "Conceitos de energia e entropia: estudo histórico e levantamento do universo conceitual dos alunos", realizado no IFUSP em convênio com a Secretaria da Educação de São Paulo (1985 e 1987).

Nessa ocasião pudemos observar uma boa receptividade, por parte dos professores, quanto à maneira de focalizar as perguntas e as respostas dos alunos no levantamento da classe. Os professores-alunos desenvolveram seus próprios questionários para o levantamento e concluíram que essa experiência os levou a rever a forma de elaborar perguntas aos alunos e "olhar" as respostas.

III.6.2- REDE SINÓTICA DE SIGNIFICADOS

- DEFINIÇÃO, REPRESENTAÇÃO E TERMINOLOGIA

A rede sinótica de significados é um esquema que deve, em princípio, conter todos os tipos e todas as formas de compreensão do objeto em estudo, revelado pelo instrumento utilizado — em nosso caso, respostas do questionário sobre os conceitos da Termodinâmica.

A sua elaboração consiste em identificar categorias, quebrá-las em diferentes aspectos de abordagem e dispô-las representadas numa rede simbólica, na tentativa de se chegar a uma decodificação completa da expressão dos conceitos contidos nas informações fornecidas — respostas dos alunos investigados. Este procedimento deverá permitir uma síntese das principais idéias existentes na sala de aula.

Para sistematizar e representar as idéias e suas possíveis distinções, fazemos o uso de categorias. As categorias são designações traduzidas por palavras ou expressões que representam os diferentes enfoques presentes na descrição de um mesmo objeto ou situação. Essas palavras ou expressões são introduzidas na rede que determina uma

relação entre elas, assim como poderá especificar uma nova seleção.

Categorizar é, na significação frequentemente emprestada à palavra, associar uma designação às " coisas", organizando-as em um conjunto que indique como elas se relacionam entre si.

A notação da rede sinótica de significados é organizada por meio de colchetes e chaves.

O colchete é utilizado para indicar um conjunto de elementos exclusivos que comportam uma dada categorização. Ele agrupa uma categoria e suas diversas decodificações, as subcategorias, formando o que é denominado de sistema.

A chave é utilizada para reunir os sistemas que possuem uma interdependência por referir-se a uma mesma categorização.

- CONSTRUÇÃO E INTERPRETAÇÃO

Uma vez identificada e/ou escolhida a categoria, a etapa seguinte é distinguir e organizar os múltiplos aspectos que a ela é atribuída. Por exemplo, se considerarmos a escola, podemos focalizá-la e categorizá-la, por exemplo, em pública e privada, maternal, primeiro, segundo e terceiro graus, leiga e religiosa.

As representações, em forma de rede sinótica de significados , desses aspectos estão na figura-1, onde é ilustrado o posicionamento da categoria, os diversos aspectos a ela associado e a utilização do colchete.

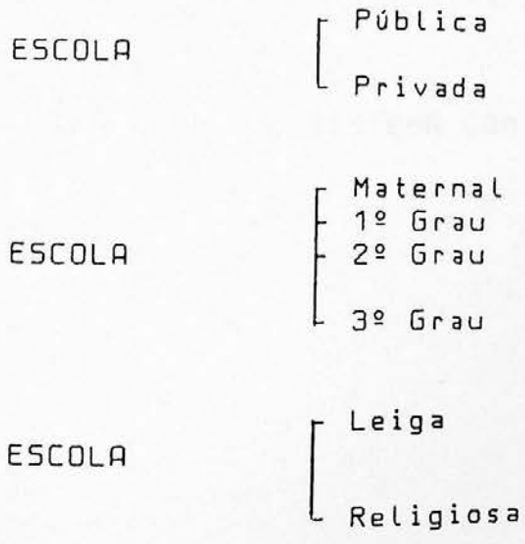


FIGURA 1 - EXEMPLO DE CATEGORIZAÇÃO E UTILIZAÇÃO DE COLCHETE.

O número de subcategorias, à direita do colchete, varia de acordo com a natureza do objeto a ser analisado, do conhecimento e objetivo da pessoa que está analisando — teorias ou avaliação sobre o que faria mais sentido. Assim, para alguns propósitos, a simples dicotomia de escola pública versus privada, da figura 1, pode ser dissolvida e elaborada num conjunto mais amplo como ilustra a figura 2.

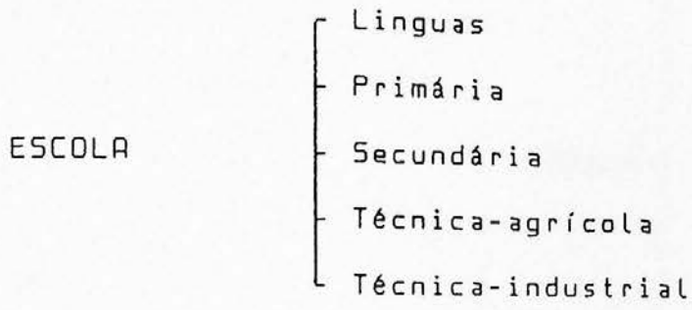
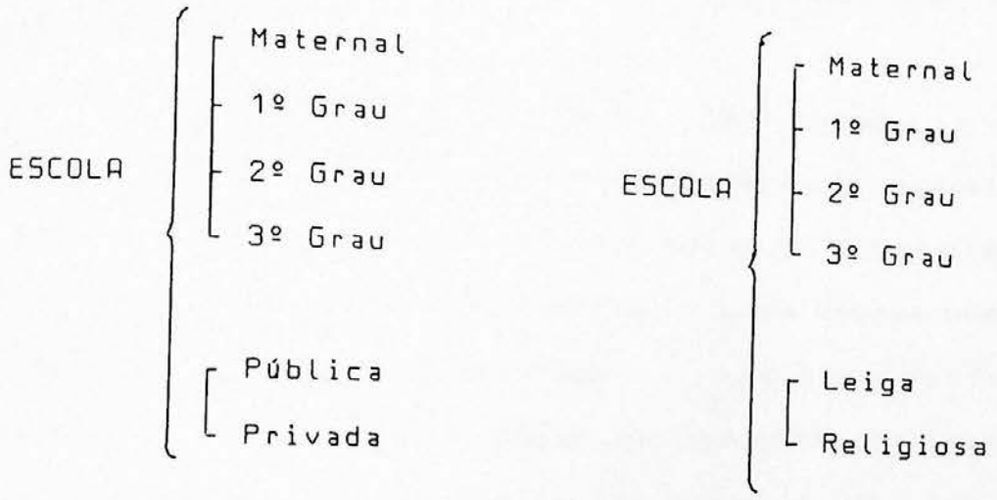


FIGURA 2 - UM SISTEMA COM CINCO SUBCATEGORIZAÇÕES

Os dois exemplos mostram a utilização do colchete e as idéias que podem ser associadas a uma única categoria, neste caso, escola. Os três diferentes sistemas exemplificados na figura 1 referem-se à escola e, desta forma, podem ser reunidos numa única rede. As redes sinóticas da figura 3 indicam a representação que expressa essa possibilidade.



(REDE 3-A) (REDE 3-B)

FIGURA 3 - REUNIÃO DE SISTEMAS ASSOCIADOS À MESMA CATEGORIA E EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO DE CHAVES.

Na representação da figura 3, a chave estabelece a escolha que deve ser feita em todos os sistemas que têm uma conexão com ela. Enquanto o colchete determina a seleção de categorias reciprocamente restritas, isto é, independentes, a chave determina, necessariamente, uma seleção no conjunto das categorias e procura todos os sistemas que se ampliam por meio dela.

Uma seleção em outras categorias, co-seleção, objetiva representar situações ou conceitos nos seus atributos básicos.

Os exemplos, embora simples, mostram que a rede sinótica de significados oferece uma representação sintética e, ao mesmo tempo, abrangente para expressar as distinções e uma terminologia, se bem que subjetiva — cada pessoa poderá fazer uma classificação a seu modo —, com o propósito de esclarecer e auxiliar a comunicação dos assuntos envolvidos. No caso da figura 3, a rede 3-A indica que a escola pode ser descrita por qualquer uma das afirmações que se seguem:

- 1º Grau e Pública ou
- 1º Grau e Privada ou
- 2º Grau e Pública ou
- 2º Grau e Privada, etc.

III.6.3- CONSTRUÇÃO DE REDE SINÓTICA DE SIGNIFICADOS SOBRE ENERGIA

Para obter uma rede sinótica de significados que se aproxime da decodificação completa dos conteúdos expressos no levantamento realizado, fizemos uma revisão constante da rede para observar se a diversidade de idéias apresentadas estavam todas devidamente representadas. Assim, o procedimento inicial foi a elaboração de redes parciais com o intuito de, aos poucos, chegar a uma compreensão razoável do que seria a totalidade das respostas.

A análise das respostas à questão "DO QUE VOCÊ PRECISA DISPOR PARA EMPURRAR UMA MESA?" exemplifica o processo pelo qual foi construída a rede.

Relembrando, o objetivo desta questão é observar como os conceitos de força e energia são usados pelos alunos pesquisados. As várias leituras das respostas, assim como a primeira análise, possibilitou a classificação das idéias nelas contidas e sua organização em duas categorias gerais: LINGUAGEM e CONCEITO UTILIZADO.

A indiscriminação entre força e energia, a utilização formal dos conceitos da Física sem ligação com a realidade, muito frequente nas respostas — resultado esperado e conhecido por muitos professores —, mostra que

não existe uma diferenciação clara e explícita dessas grandezas de qualidades físicas diferentes. Assim, para traduzir e retratar as abordagens expostas, dividimos a linguagem caracterizando-a em: da física, do cotidiano e uma mistura de ambas. No entanto, como as afirmações ora se apresentavam de forma direta, ora de forma indireta, introduzimos mais dois sistemas para conter as idéias e as formas de expressão. O esquema a seguir, figura 4, ilustra a divisão efetuada e as designações escolhidas.

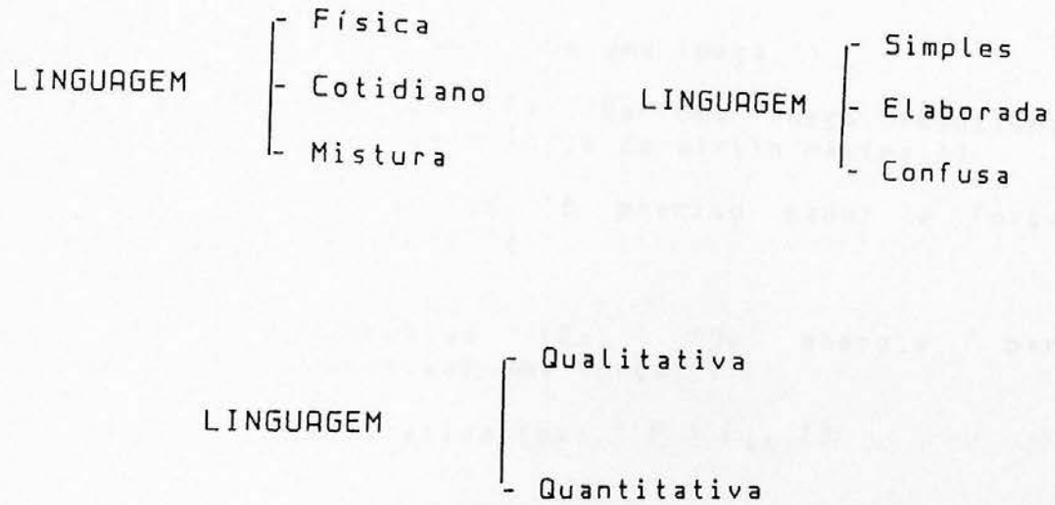


FIGURA - 4: REDES SINÓTICAS DE SIGNIFICADOS PARCIAIS PARA REPRESENTAR ABORDAGENS ENCONTRADAS NAS RESPOSTAS DA QUESTÃO "DO QUE VOCÊ PRECISA DISPOR PARA EMPURRAR UMA MESA ?"

Como os três sistemas da figura 4 referem-se a uma mesma categorização, linguagem, podem ser agrupados reunindo assim as diversas abordagens identificadas nas respostas, conforme ilustra a figura 5.

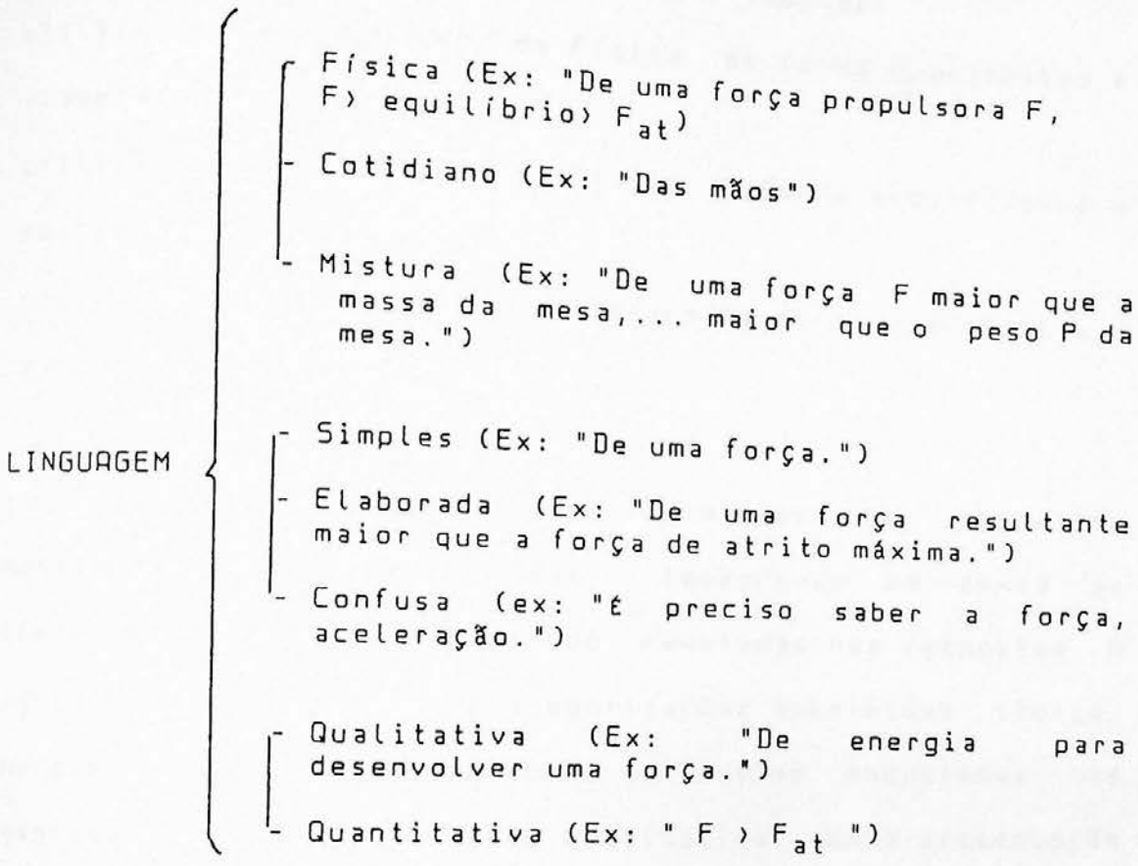


FIGURA - 5: ASSOCIAÇÃO DOS TRÊS SISTEMAS

A rede sinótica de significados esquematizada mostra que com relação à Linguagem, houve respostas:

- utilizando a linguagem da Física (formalismo e/ou termos específicos), de forma qualitativa e simples;
- utilizando a linguagem da Física de forma qualitativa e elaborada;
- utilizando a linguagem da Física de forma quantitativa e confusa;
- utilizando a linguagem do cotidiano de forma qualitativa e simples; etc.

As subcategorizações relativas aos conceitos empregados foram organizadas levando-se em conta as diferentes relações de conteúdo reveladas nas respostas. A figura 6 expressa as subcategorizações escolhidas (força, energia e outros) que agrupam as idéias enunciadas nas respostas — este é um estudo qualitativo, sem a preoocupção de explicitar o percentual dos tipos de respostas, o que poderia ser facilmente obtido dos dados.

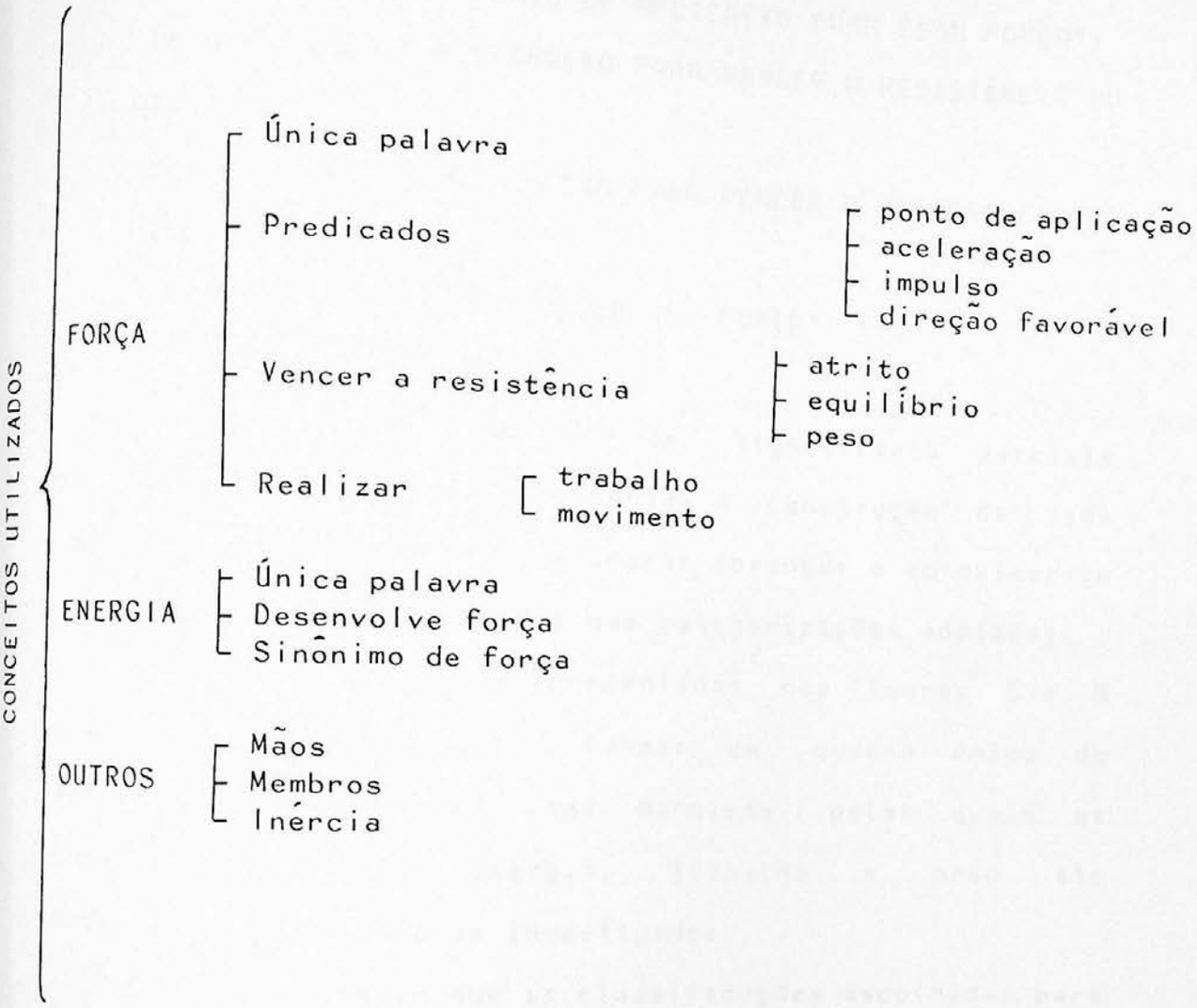


FIGURA 6 - Rede sinótica parcial de significados. Representação das subcategorias que representam os diferentes conceitos mencionados nas respostas da questão: " Do que você precisa dispor para empurrar uma mesa ? "

A rede sinótica de significados ilustrada na figura 6 revela as respostas:

- "PARA EMPURRAR UMA MESA É PRECISO DISPOR:
  . DE UMA FORÇA";
  . DE UMA FORÇA E UM PONTO DE APLICAÇÃO PARA ESSA FORÇA";
  . DE UMA FORÇA E ACELERAÇÃO PARA VENCER A RESISTÊNCIA DO ATRITO";
  . DE UMA FORÇA E ACELERAÇÃO PARA VENCER A RESISTÊNCIA DO PESO";
  . DE ENERGIA PARA DESENVOLVER UMA FORÇA"; ETC.

As redes sinóticas de significados parciais constituem uma etapa para orientar a construção da rede sinótica geral. Esta deve procurar abranger e aproximar-se de todos os aspectos contidos nas categorizações adotadas.

Assim, as redes apresentadas nas figuras 5 e 6 podem ser reunidas para formar um quadro único de representação (figura-7) das maneiras pelas quais os conceitos de força, energia, trabalho e peso são apresentados pelos alunos investigados.

Cabe lembrar que as classificações escolhidas para a construção da rede sinótica de significados geral, ilustrada na figura 7, baseadas em várias leituras, são subjetivas do ponto de vista das categorizações atribuídas.

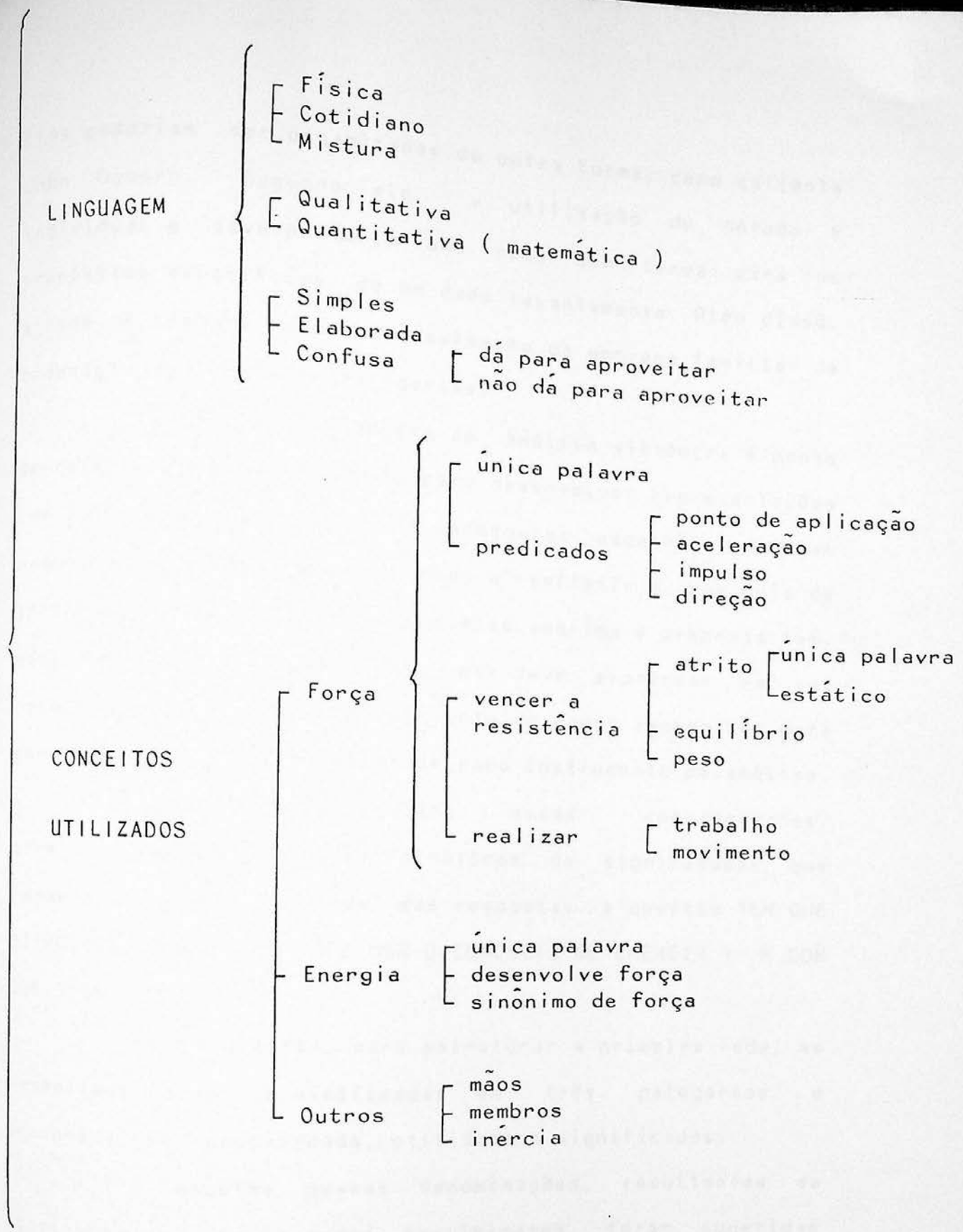


FIGURA 7 - Rede sinótica de significados das respostas à questão: " Do que você precisa dispor para empurrar uma mesa ? "

Elas poderiam ser organizadas de outra forma, como salienta John Ogborn. Segundo ele, a utilização do método é individual e deve produzir uma rede que sirva para os propósitos específicos de um dado levantamento. Além disso, a rede é tratada como uma extensão do emprego familiar de ordenação de coisas em categorias.

Assim, sua proposta de análise sistêmica é ponto de referência e/ou motivação para desenvolver representações com estruturas nas quais as categorias escolhidas estejam ordenadas e organizadas de modo a refletir o conjunto de informações obtido. A versão que se imprime à proposta tem, portanto, um caráter pessoal, mas deve expressar na sua notação a descrição de um conjunto de dados requeridos para construção e utilização da rede como instrumento de análise.

Para exemplificar essas considerações, apresentaremos duas redes sinóticas de significados que foram elaboradas a partir das respostas à questão "EM QUE SITUAÇÕES DIFERENTES VOCÊ USA O CONCEITO DE ENERGIA ? E COM QUE SIGNIFICADOS ?"

Nesta questão, para estruturar a primeira rede, as respostas foram classificadas em três categorias e designadas por propriedade, utilidade e significados.

A escolha dessas denominações, resultantes da construção de várias redes preliminares, foram sugeridas

pelas respostas fornecidas. Afirmações como: "QUANDO UM CORPO ESTÁ NUMA ELEVAÇÃO ARMAZENA ENERGIA... QUANDO CAI TAMBÉM POSSUI ENERGIA... ENERGIA POTENCIAL E CINÉTICA"; "...ENERGIA POTENCIAL, ENERGIA DE UM CORPO PARADO... ENERGIA CINÉTICA, ENERGIA DE UM CORPO EM MOVIMENTO"; etc, invocam uma associação de energia como uma qualidade dos corpos quando se encontram em níveis diferentes ou estado de movimento diferente. Quanto à utilidade: "... AS AVES USAM ENERGIA PARA VOAR E NADAR..."; "TRABALHAR, ESTUDAR, FAZER QUALQUER MOVIMENTO COMO ANDAR, PULAR, CANTAR, ESTOU GASTANDO ENERGIA..."; "... ENERGIA PARA FAZER FUNCIONAR RÁDIOS E GRAVADORES"; etc. direcionaram a escolha do termo. A categoria significados já estava prevista na formulação da pergunta.

As subcategorizações foram organizadas simultaneamente com as categorizações e sofreram alterações até chegar ao esboço representado na figura 8.

De modo geral, as respostas mostram que o conceito de energia é empregado na terminologia usual da Física -- rememoradas pelas categorizações e seus desmembramentos, organizadas na composição da rede.

As respostas que seguem exemplificam esse uso: "ENERGIA CINÉTICA É QUANDO O CORPO COMEÇA A SE

MOVIMENTAR..."; "A ENERGIA É RESPONSÁVEL PELA CAPACIADADE DE REALIZAR TRABALHO...".

Há também, em muitas respostas, uma componemte do uso cotidiano da palavra energia, como por exemplo: "ENERGIA QUANDO QUEREMOS DIZER VONTADE DE FAZER ALGO... FIRMEZA OU VITALIDADE"; " ELE TEM ENERGIA, SIGNIFICA, ELE TEM FORÇA, PODER,..".

Pela rede sinótica de significados representada na figura 8, pode-se observar, em relação aos significados atribuídos ao conceito de energia, que ela é empregada indistintamente como sinônimo de força, enquanto o conceito da Física e, de outras conceituações como força muscular, poder, resistência física, etc. A distinção, quando manifestada, é feita com uso das palavras como formas, armazenamento, transformações e fonte.

Em relação às formas, são mencionadas as diversas energias: "ENERGIA TEM: CINÉTICA, POTENCIAL, SOLAR, ELÉTRICA, ETC". Além disso, em algumas respostas são feitas associações dessas energias com os dispositivos responsáveis pela sua manifestação: "ENERGIA MECÂNICA (LIQUIDIFICADOR), TÉRMICA (CHUVEIRO, FERRO DE PASSAR ROUPA, ETC)"; "ACENDER UMA LÂMPADA (ENERGIA LUMINOSA)".

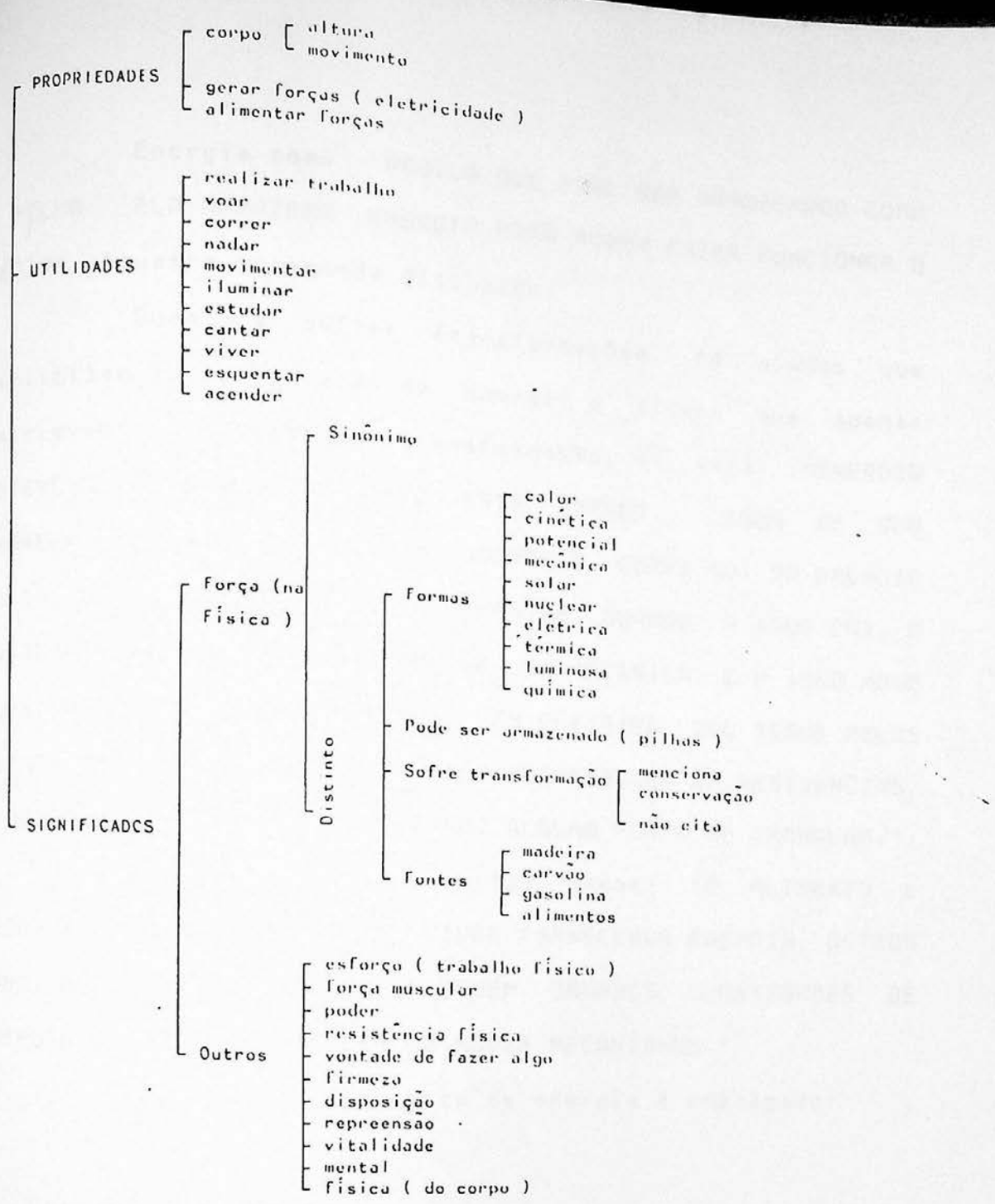


FIGURA 8 - Rede sinótica de significados das respostas à questão: " Em que situações diferentes você usa o conceito de energia? e com que significados? "

Energia como "AQUILO QUE PODE SER ARMAZENADO COMO A PILHA. ELA ARMAZENA ENERGIA PARA PODER FAZER FUNCIONAR O RADIO", ilustra a segunda distinção.

Quanto a sofrer transformações, há alunos que explicitam a conservação de energia e alunos que apenas descrevem o processo de transformação, ou seja: "ENERGIA POTENCIAL É QUANDO O CORPO ESTÁ PARADO... ÁGUA DE UMA REPRESA. ENERGIA CINÉTICA É QUANDO O CORPO SAI DA ENERGIA POTENCIAL... COMEÇA A SE MOVIMENTAR. QUANDO A ÁGUA CAI, A ENERGIA CINÉTICA É TRANSFORMADA EM MECÂNICA E A ÁGUA MOVE TURBINAS. ESTA É TRANSFORMADA EM ELÉTRICA QUE SEGUE PELAS LINHAS DE TRANSMISSÃO E AO SER DISTRIBUÍDA EM RESIDÊNCIAS, FABRICAS, ETC, ESTARÁ REALIZANDO ALGUMA FORMA DE TRABALHO.".

Relacionada com fontes temos: "O ALIMENTO É NECESSÁRIO PARA NOS FAZER VIVER FORNECENDO ENERGIA. OUTROS COMO MADEIRA, CARVÃO... POSSUEM GRANDES QUANTIDADES DE ENERGIA USADA PARA AQUECER OU MOVER MECANISMOS."

Resumindo, o conceito de energia é empregado:

1 - Como propriedade

. de um corpo, devido a sua posição espacial ou devido o seu estado de movimento: "UM CORPO NUMA ALTITUDE TEM ENERGIA POTENCIAL"; "ENERGIA POTENCIAL QUANDO O CORPO ESTÁ PARADO"; "ENERGIA CINÉTICA É QUANDO O CORPO COMEÇA A SE MOVIMENTAR";

2 - Como algo que possui utilidade

- para realizar trabalho por meio da FORÇA, da VONTADE, ou da DISPOSIÇÃO;
- para realizar atividades motoras ou intelectuais como VOAR, CORRER, ESTUDAR, ETC;

3 - Como significados

- de Força, na terminologia da Física, ora empregado como sinônimo, ora diferenciado;
- Outros que se referem à atribuição impressa usualmente ao conceito na linguagem do cotidiano.

Na segunda rede sinótica de significados (figura-9), a diferenciação está na forma de organizar e ordenar as subcategorizações e seus desdobramentos. No tocante às categorias, a designação significados foi substituída por formas. Com essa modificação, aparentemente simples, obtivemos uma rede com outra configuração.

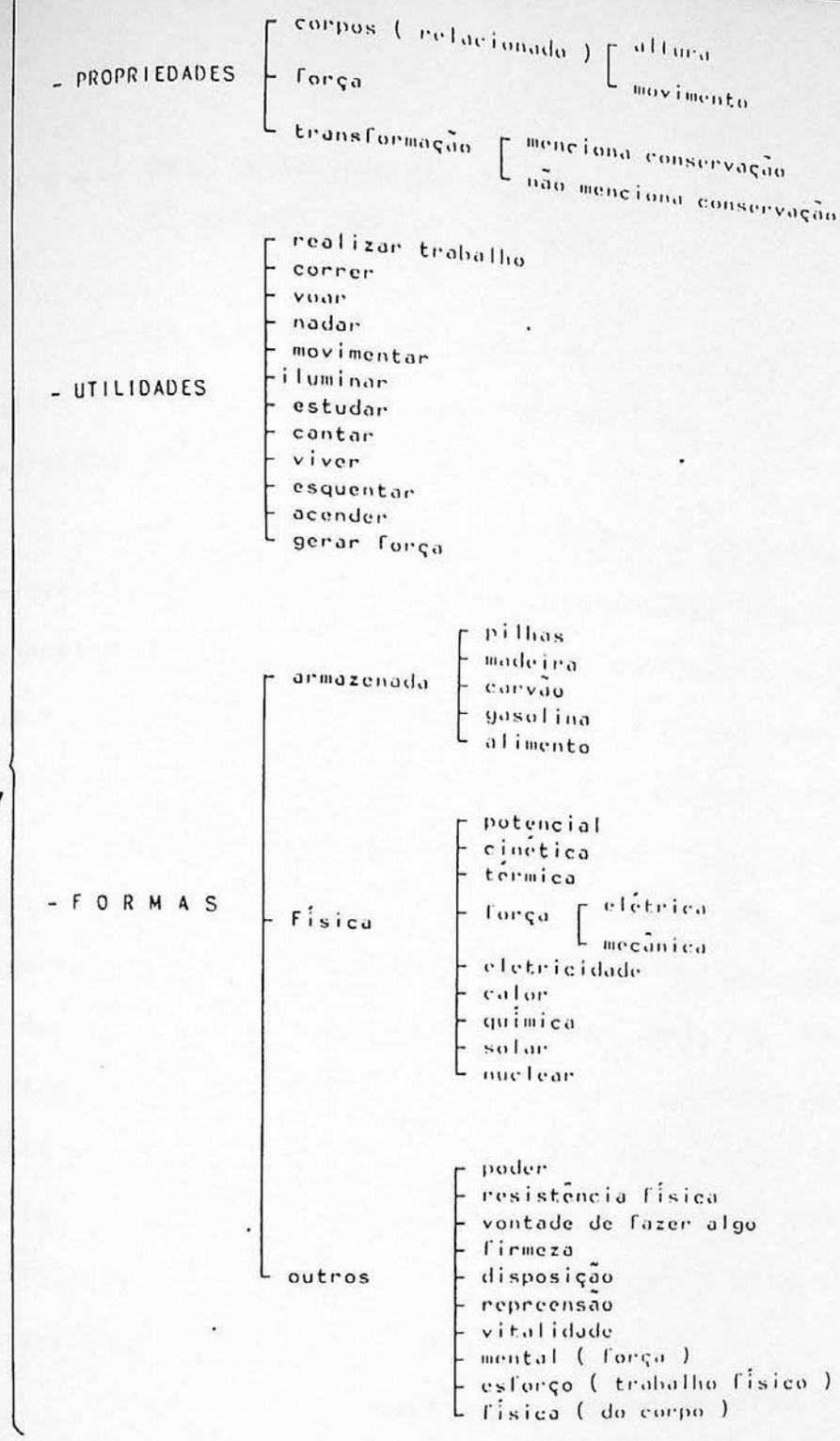


FIGURA 9 - Rede sinótica de significados das respostas à questão: " Em que situações diferentes você usa o conceito de energia? E com que significados ? "

III.6.4 - REDE SINÓTICA DE SIGNIFICADOS — UMA REPRESENTAÇÃO DO CONHECIMENTO DA CLASSE

Os exemplos de rede de significados apresentados mostra a possibilidade de representar sinteticamente os conteúdos revelados pela classe.

Como comentamos, as noções de energia e força são imprecisas quando consideramos respostas individuais. Porém se olharmos a rede, onde está representado o conjunto, vemos que a classe tem o conhecimento, de forma desordenado, mas tem. é preciso que ela reconheça que possui o conhecimento.

O item anterior mostra que energia é entendida de várias maneiras. é uma propriedade de um corpo em decorrência do seu estado de movimento (energia cinética), ou da sua posição (energia potencial); é uma força no sentido da mecânica; é alguma coisa que tem várias facetas tanto na atribuição da Física com suas várias manifestações (calor, solar, nuclear, elétrica, química, etc.) como na atribuição mais geral no uso cotidiano (força vital, poder, disposição, vitalidade, etc.).

Na Física, energia é definida como capacidade de um corpo (ou sistema) produzir trabalho. Trabalho, na Física, é o produto da força pelo deslocamento que essa força provoca. Apesar de haver uma relação entre essas grandezas, na Física, elas têm um significado bem distinto

uma da outra, e esse significado é insuficiente para captar, ou para dar um ponto de referência das várias dimensões que estiveram presentes na sua formulação.

Esses dois conhecimentos estão reunidos na rede, que contém as categorizações gerais e específicas da teoria científica. Esse fato, na nossa interpretação, revela que muitos elementos da teoria pertencem ao cotidiano, porém não são reconhecidos formalmente pelos alunos.

Assim, a rede personificando o conhecimento da classe torna-se um objeto importante de mediação para o professor na sua ação pedagógica, as conceituações presentes deverão ser organizadas conjuntamente, na perspectiva de descobrir com precisão os conceitos, dentro das teorias da Física.

IV - O CONHECIMENTO DO DESENVOLVIMENTO HISTÓRICO E O DO UNIVERSO CONCEITUAL DOS ALUNOS EM SALA DE AULA COMO INSTRUMENTO CATALISADOR DE INTERAÇÃO DIALÓGICA

Aqui, tentamos sintetizar a relevância dos conteúdos desenvolvidos nos capítulos precedentes como possibilidade de apreensão de nossa proposta pedagógica.

Os estudos históricos devem dar subsídios de pensamento que esclareçam o processo de criação do conhecimento científico e a compreensão de novos significados

O levantamento e a organização do conhecimento dos alunos, por sua vez, revelam elementos desses significados que se encontram em sala de aula.

A apropriação desse conhecimento pelo professor deverá instrumentalizá-lo para a condução de uma interação dialógica, pois a rede sinótica de significados representa o conhecimento presente na classe. Essa representação deve ser reconhecida tanto pelo professor como pela classe. Se estiver bem feita cada aluno deve reconhecer o significado de sua expressão presente na rede.

A familiaridade obtida com os estudos históricos e com o processo de elaboração da rede de significados permite ao professor perceber as semelhanças das imprecisões dos

significados presentes na sala de aula com os momentos do conhecimento científico anteriores à axiomatização das teorias.

Essa mesma observação permite diferenciar pensamento fragmentário no uso do cotidiano do pensamento organizado nas teorias científicas através do processo histórico. Apresentamos a seguir uma discussão dessas idéias no caso específico de calor e energia e as leis da Termodinâmica.

IV.1- A HISTORICIDADE DO CONHECIMENTO

No capítulo II foram feitos estudos históricos de conceitos da Física que culminaram com os enunciados das leis da Termodinâmica clássica.

Apresentamos os conceitos de calor como calórico, a evolução dessa idéia para calor como movimento; a distinção entre quantidade de calor e temperatura e a criação do conceito de calor específico e calor latente.

Chamamos a atenção para a disputa teórica entre as duas visões de calor, calórico e movimento, porque vemos aí uma mudança significativa de enfoque conceitual. Também é importante para a compreensão do que é uma evolução, pensando não do ponto de vista que o calórico seja uma conceituação errada, mas uma conceituação que limitava o alcance do pensamento científico para novos desenvolvimentos.

Destacamos os trabalhos de Mayer, Joule, Carnot e Clausius, pois neles aparecem criações fundamentais. As relações de transformações do calor em trabalho, com seus significados inicialmente misturados, vão em processo não linear e não lógico se diferenciando, se singularizando, e, ao mesmo tempo, compondo as malhas de uma nova teoria.[84]

Utilizamos também a visão do historiador da Ciência T.S. Kuhn para enriquecer nossa compreensão do desenvolvimento das idéias, complementadas pelas visões de Cini e Rossi. A Revolução Industrial, na Inglaterra, e a Revolução Francesa (1789) são episódios que vão refletir nas várias atividades humanas. Dentre elas, a Ciência e sua interação com o momento histórico. Por exemplo, vimos que a análise dos processos de conversão adquire uma outra dimensão, como bem lembra Kuhn ao mencionar M. Summervile.

Acrescentamos, como possibilidade de material original, a tradução de um trecho do artigo de Joule "On the mechanical equivalent of heat" (Sobre a determinação do equivalente mecânico do calor - tradução nossa). Esse trecho demonstra os rigores nas aplicações e interpretações da prática experimental em Física e o significado de uma medida que foi fundamental para a origem da Termodinâmica.

Essa experiência é um dos exemplos que traduz as transformações conceituais de Força, Trabalho e Energia nos seus significados com o Calor.

CONCEITOS COMUNS ANTES DO SÉC.XIX	NO SÉCULO XIX - DESTRINCHADO EM FÍSICA DECODIFICADO, RECODIFICADO, COMO:
CALOR	QUANTIDADE DE CALOR
TEMPERATURA	TRABALHO
FORÇA	ENERGIA (ENERGIA INTERNA)
	ENTROPIA
	TEMPERATURA ABSOLUTA

Esse quadro sintetiza as transformações que queremos destacar: a evolução dos conceitos comuns de Calor, Temperatura e Força, antes do século XIX, e atualmente na linguagem comum que adquiriram. A partir das pesquisas (que exemplicamos) de Black, Mayer, Joule, Carnot e Clausius, entre outros, são destrinchados, decodificados e recofidicados como Quantidade de Calor, Calor Específico e Calor Latente, Trabalho, Energia (e Energia Interna), Entropia e Temperatura Absoluta. Esses novos conceitos se consubstanciam com precisão de significados dentro das leis da Termodinâmica. Assim, a partir dela vão se estabelecendo problemas bem determinados e eficazes.[85]

Esses mesmos conceitos, no uso cotidiano, se tornam novamente vagos e imprecisos. O professor vai então reorganizá-los como teoria científica a partir do uso da rede sinótica de significados.

O estudo do desenvolvimento histórico trata de fundamentar não apenas o conceito a ser ensinado, como também de salientar a interconexão Ciência-Trabalho Humano, que encontra na Ciência uma forma específica de produção: a produção de conhecimento. Portanto, não pode ficar reduzido apenas ao nível metodológico de como ensinar a observar, a

experimentar ou resolver exercícios ou problemas. A Ciência é, antes de tudo, uma atividade ligada ao trabalho humano motivada, muitas vezes, por uma gama intrincada de fatores, como bem expressou Kuhn ao afirmar que "somente em vista do que ocorreu mais tarde é que podemos dizer que os pesquisadores se referiam ao mesmo aspecto da natureza(...).O que vemos em seus trabalhos não é realmente descoberta simultânea da conservação de energia. Mas, é a rápida, e muitas vezes, desordenada emergência de elementos experimentais e conceituais com os quais a teoria iria se compor.(...) a energia é conservada, a natureza se comporta assim. Mas desconhecemos por que esses elementos tornaram-se repentinamente (grifo nosso) acessíveis e reconhecíveis."[86]

Essa frase expressa a ligação com a metotologia proposta para o ensino. Pegar elementos conceituais e da prática cotidiana dos alunos, com a finalidade de fazer emergir o conhecimento científico presente na classe, que como mostra os resultados que obtivemos são confusos e fragmentados.

Cabe ao professor, agente imprescindível da situação da sala de aula, proporcionar elementos de comparaçao entre as teorias resumidas nos livros e as dos alunos. Não basta ao professor conhecer a interpretação

correta dos problemas ou dos conteúdos específicos, mas deve também estar preparado "em epistemologia da Ciência, geral e especializada, de modo a tornar-se capaz de ensinar de um ponto de vista humanístico tão bem como quanto em termos de método científico."87

IV.2 - REDE SINÓTICA DE SIGNIFICADOS UM INSTRUMENTO DE MEDIAÇÃO DE CONTEÚDO

Na rede sinótica de significados da figura-9, mencionamos que o conceito de energia é pensado pelos alunos pesquisados como propriedade dos corpos quando se encontram acima da superfície, ou em movimento, ou com a mesma propriedade de força. Alguns mencionam a possibilidade da transformação e da conservação de energia. As afirmações, na maioria dos casos, são resumidas e incompletas. Por exemplo, "QUANDO UM CORPO ESTÁ PARADO NUMA ELEVAÇÃO ARMAZENA ENERGIA, OU QUANDO ELE CAI TAMBÉM POSSUE ENERGIA, PODE SER ENERGIA POTENCIAL E CINÉTICA" (é interessante notar que o aluno não responde É, mas PODE SER). Em outras respostas, no mesmo grupo de alunos, a energia é pensada em termos de sua utilidade e — embora nem sempre explicitada, mas subentendida— ela é reportada à técnica, no sentido de fazer funcionar coisas como lâmpadas (para ACENDER); água do chuveiro (para ESQUENTAR); etc. Poderíamos dar outros exemplos para mostrar a variedade de aspectos que é atribuída à energia, mas a rede dá conta disso. Poderíamos também tecer considerações mais detidas sobre o porquê, como no caso da primeira resposta, o aluno não respondeu É, mas PODE SER. No entanto, julgamos que não seria frutífero fazê-

las aqui, sob forma de hipótese e sim com a própria classe. Para isso, a rede sinótica de significados pode ser utilizada como um instumento mediador do conteúdo.

Energia, no seu uso cotidiano, possui todas aquelas conotações que mencionamos. É poder (no sentido de autoridade), é vitalidade, é força (no sentido de vontade ou disposição), é uma propriedade dos corpos (ou sistemas) - energia potencial, energia cinética. É também identificado com um fluido, algo que "se desprende da chama do fogo". Pensar em termos de "algo" (calórico) não é absurdo se situado historicamente.

A palavra energia foi proposta por Young, em 1825. É uma palavra originada do grego, que em Aristóteles tinha o significado de <u>estado realizado das potencialidades</u>.[88]

A rede sinótica de significados da figura 10 pode ser usada para esclarecer a idéia de <u>conversão</u> e <u>transmissão</u>. Vimos no capítulo II que esse foi um ponto significativo para Kelvin entender os resultados de Joule. Uma outra rede (figura 11), que foi obtida a partir das respostas da 7ª questão, contém muitas expressões significativas que mostram uma familiaridade com muitas das noções da Física. Por exemplo, "quanto maior o número de elétrons livres, mais fácil será para a corrente <u>fluir</u>. Ao passar corrente, devido à fricção, forma-se o calor,

aquecendo a água". Temos aí presentes, elementos para discutir a idéia de fluido, calor, energia e transformação na perspectiva de uma evolução de conceito.

Essa mesma observação pode ser feita com relação ao conceito de FORÇA (figura 12). Podemos perguntar, por exemplo, o que distingue a FORÇA e a ENERGIA do ponto de vista da Física. No cotidiano, sabemos que elas se entrelaçam, se confundem, têm uma significação ampla e subjetiva. No entanto, na Ciência elas têm uma pretensão universal e, por isso, são restritas, têm um limite de validade. É esse o aspecto que vai precisar, particularizar, cada uma delas dentro de um corpo teórico.

"Uma teoria é uma organização de dados, organização que ela mesma, não é dada, é invisível, e só pode ser contemplada por um ato de imaginação (...) um ato pelo qual organizamos dados soltos e isolados em totalidades significativas (...)."[89]

Nesse aspecto, a rede sinótica de significados é um instrumento de análise e organização de dados apropriado para reconhecer a teoria presente na sala de aula. É um instrumento que pode inspirar outras formas de uso, mas, a nosso ver, pode ser usado de modo a trazer uma simetria,

entre professor e alunos, frente às duas formas de conhecimento: o científico e o da classe.

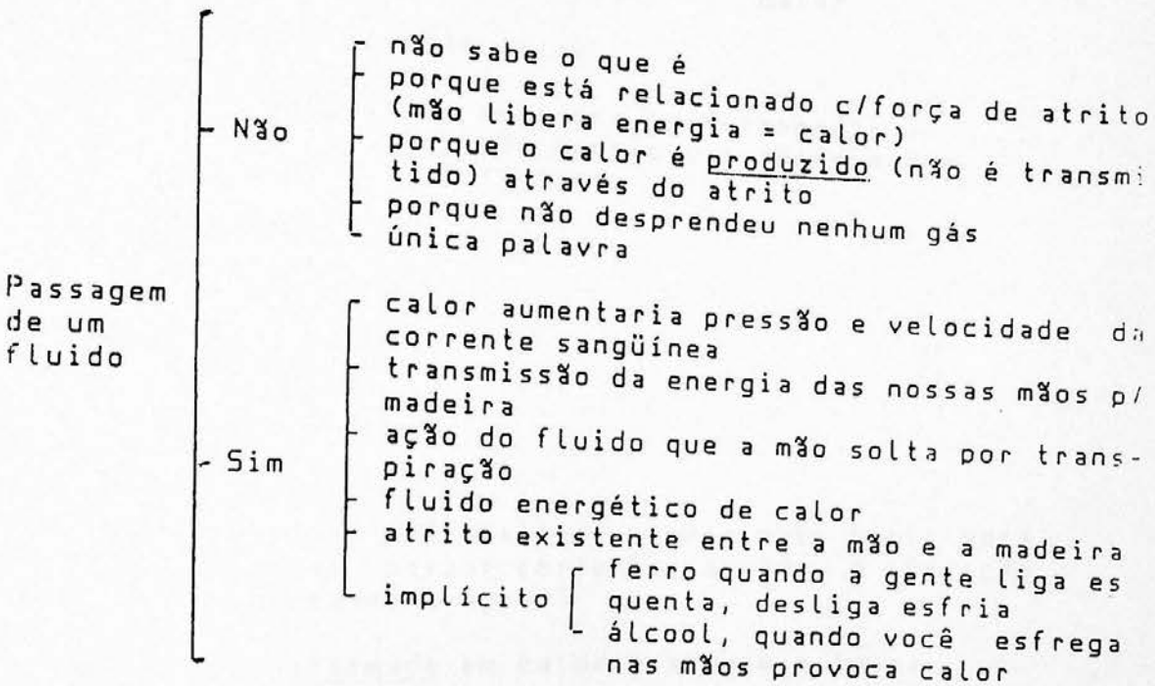


FIGURA 10 - Rede sinótica de significados da questão "Considerando a questão anterior, você pensaria em algum tipo de explicação que tivesse ligação com a passagem de um fluido? Explique sua opinião sobre a idéia, explicando os prós e os contra."

- Resistência (14)
  - única palavra
  - que libera energia que gera calor
  - com passagem da corrente elétrica
  - eletricidade
  - gerando calor
  - elétrica
  - é da força da eletricidade (que pode mover e fazer funcionar muitas coisas)
  - regulável alimentada por corrente elétrica
  - interna
  - que transforma energia elétrica em calor
  - que é aquecida pela eletricidade

Conceitos usados

- Ligação elétrica -> corrente
- Dispositivo elétrico
- Luz elétrica que transmite energia capaz de produzir calor
- Quantidade de energia elétrica -> calor
- Energia
  - que - emite calor
  - elétrica
    - menciona transformação
    - não menciona transformação
    - térmica
- Não sabe (1)

Frases
- sucintas
- explicativas

("Quanto maior o número de elétrons livres mais fácil será para corrente fluir ao passar corrente devido à fricção forma-se o calor aquecendo a água")

(eletricidade é transformada em calor e aquece a água)

energia liberada - geram calor

fricção (corrente e res.) - forma-se o calor gerando o calor

transmite energia capaz de produzir calor transformada em calor

FIGURA 11 - Rede Sinótica de Significados da questão: "Você sabe explicar como a água do chuveiro elétrico é aquecida? "

FORÇA-1

- Força física [única palavra do homem para realizar trabalho
- Força mental
- Briga
- Pessoa tem energia (é forte)
- Aplicada para [segurar, empurrar, levar alguma coisa
- Para realizar trabalho [sòmente, carregar, levantar, subir
- Para se alimentar (esforços para comer).
- Praticar esportes [correndo, saltando, levantando peso, nadando

FORÇA-2

- Atrito
- Normal
- Resultante [única palavra, de empurrão, deslocamento
- Eletricidade
- Energia [elétrica, mecânica, humana
- de luz
- impulso
- de resistência muscular
- para calcular aceleração
- para calcular tração de um fio
- para estudar movimento dos corpos
- ação sobre um corpo (com certa massa produzindo uma aceleração)
- situação que envolve uma massa e origina um movimento dotado de aceleração, direção e sentido

FIGURA 12 - Rede sinótica de significados da questão: "Em que situações diferentes você usa o conceito de força e com que significados?

IV.3- APLICAÇÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A proposta desenvolvida destina-se à formação de professores, pensando-se uma interação metodologia-conteúdo ligada à interação professor-aluno.

As considerações que fizemos fundamentam um duplo aspecto do estudo histórico nesse enfoque. Pois, ao mesmo tempo em que amplia a visão conceitual e histórica do professor, inspira elementos importantes para preparação de perguntas - levantamento das idéias prévias dos alunos - e a organização da análise pela construção de uma rede sinótica de significados das respostas.

Essa proposta foi apresentada e discutida com professores de 1º e 2º graus da rede oficial de ensino, nos cursos de Extensão Universitária oferecidos pela Universidade de São Paulo em convênio com a Secretaria da Educação do Estado de São Paulo, em 1985 e 1987. Um aspecto positivo que pudemos depreender desses encontros foi a receptividade em relação ao enfoque da proposta. Muitos não tinham tido a acesso às informações históricas apresentadas, nem aos aspectos filosóficos subjacentes à formulação dos conceitos e ao papel da teoria, do ponto de vista de sua invenção, de sua construção e de sua historicidade.

Por um lado, ficou para esses professores-aluno a importância de conhecer a evolução histórica para a fundamentação do seu ensino e, por outro, a maneira de focalizar perguntas fugindo do esquema convencional do livro didático, como estratégia oportuna de colher um espectro mais amplo de idéias prévias dos alunos — este aspecto foi objeto de reavaliação de muitos professores.

Desenvolvemos conhecimento de como fazer o questionário e a análise, sem ser uma receita de instrumental técnico.

Uma compreensão mais detalhada e sistemática dos elementos subjacentes à elaboração do levantamento conceitual não foi o objetivo do presente trabalho. Captar com mais rigor o que vem a ser a questão da linguagem e do pensamento do cotidiano, do ponto de vista da Linguística, da Psicologia, da Teoria do Conhecimento ou de outras áreas e sua articulação com a atividade de ensino-apendizagem, devem ser tratados em outros estudos do Programa de Pesquisa[90].

Os estudos históricos também não pretendem ser uma visão completa com pontos de vista originais, mas pretendem ser um exemplo de escolha de tópicos significativos para a compreensão dos conceitos em Física.

Outro desdobramento deste Programa foi a organização de material para uma Exposição Científica[91]: foram projetados e elaborados seis painéis com ilustrações e textos. Além disso, foram reunidos experiências de demonstrações sobre a Origem dos Conceitos de energia e entropia nas leis da Termodinâmica.

Esta experiência se mostra importante para a medida da capacidade adquirida de organização de conteúdo científico, e está em fase de aperfeiçoamento.

As considerações configuram algumas conclusões parciais, que deverão ser aprofundadas em trabalhos posteriores, talvez no sentido de apontar procedimentos mais específicos.

V - REFERÊNCIAS E NOTAS

1- Império-Hamburger, A., "Epistemologia da Física para formação de professores ", Suplemento Ciência e Cultura, Vol. 37, nº 7, resumo II-B-14, pg. 205, 1985. PUBLICAÇÕES IFUSP/P-749, novembro/88, SP.

2- Freire, Paulo, " Extensão ou Comunicação ?", Editora Paz e Terra, 7ª edição, 1983, SP, pg.27/28.

3- Bohm, D., "On the problem of thruth and understanding in Science", em The critical approach to science and philosophy, ed. M.Bunge, The Free Press, 1964, NY, cap.14, pg. 212- 223; "Sobre o problema da verdade e da compreensão em Ciência", trad. A.Império Hamburger, PUBLICAÇÕES IFUSP/P-578, 1986, SP.

4- Driver, R. e Easley, "Pupils and Paradigms: a Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students", Studies in Science Education, 5, 1978, pg.61-84. Encontramos uma relação de aproximadamente 30 referências sobre o tema.

5- Fleshner, E.A., "The mastery by children of some concepts in physics", Readings in Educational Psycology, E.Stones, Methuen and Co.Ltd., pg. 248-262; "O domínio de alguns conceitos em física pelas crianças", trad. B. Carneiro, revisão D.Bittencourt, "Caderno sobre ensino de conceitos", coord. A.Império Hamburger, PUBLICAÇÕES IFUSP/P-377, 1982, SP.

6- Kubli, F., "Piaget's cognitive psycology and its consequences for the teaching of science", in European Journal of Science Educacional, vol. 1, nº 1, january/march-1979, London; "A psicologia cognitiva de Piaget e suas consequências para o ensino de ciências", tradução K.Aurani, revisão A.I.Hamburger, "Cadernos sobre ensino de conceitos", coord. A.Império Hamburger, PUBLICAÇÕES IFUSP/ P-377, 1982, SP.

7- Ibdem, pg. 13

8- Ibdem, pg. 3

9- Ibdem, pg. 15

10- Império-Hamburger, A., ref. 1

11- Kubli, F., ref.6, pg. 16

12- Império-Hamburger, A., ref.1, pg.2

13- Freire, P., ref.2, pg.25

14- Kuhn, T.S., "Energy Conservation as an Exemple of Simultaneous Discovery", in Critical Problems in the History of Science, Ed.Marshall Clagett, The University of Wisconsin Press, 1969.

15- Cini, Marcelo, "O nascimento da Termodinâmica", curso de Pós-Graduação: Tópicos da História da Ciência - Relação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade, 1979, IFUSP, não publicado, SP.

16- Ampère, A. M., " Note sur la chaleur et sur lumiere considerées comme resultant de mouvement vibratoire ", - S. G. Brush, British Journal for the History of Science, vol 5, pg. 145-167, 1970.

17- Joule, J.P., "On the mechanical equivalent of heat", Scientific Papers, Dawson, vol.I, 1850, London, pg.298/328, pg. 300. Neste artigo Joule considera também o calor sob a forma de radiação do corpo do experimentador, no caso da influência que teria sobre a variação de temperatura realizada pelo trabalho das pás na água.

18- Merleau-Ponty, Jacques, "La découvert des principes de l'energie: l'itinéraire de Joule", Rev.Hist.Sci., XXXII/4, 1979.

19- Rossi, A., "Carnot e Joule: Dalla Teoria del Calorico alla Termodinamica dei Principi", Cultura e Scuela, nº 67, 1978, Roma.

20- Bernal, J.D., "Historia Social de la Ciencia", vol.I, Ediciones Peninsula, 4ª edição, 1976, Barcelona.

21- Cini, Marcelo, ref.15.

22- Hobsbawm, E.J., "A era das Revoluções - Europa 1798/1848", Editora Paz e Terra S.A., 4ª edição, 1982, SP.

23- Kuhn, T.S., ref. 14.

24- Bernal, J.D., ref.20, cap.IX.

25- Black, J., "Specific Heat and the Latent Heat", Source Book in Physics, W.F.Magie, McGraw Hill Book Company, Inc., 1935, NY, pg.134-145.

26- Porter, A., "Thermodynamics", E.P.Dutton and Company Inc. Publishers, 1931, NY., pg. 5.

27- Rumford, Count (B.Thompson), "An inquiry concerning the source of the heat which is excited by friction", Source Books in Physics, W.F.Magie, McGraw Hill Book Co., Inc. 1935, NY, pg.151-161.

28- Ibdem, pg.161

29- Davy, H., "An essay on heat, light, and the combination of light", Source Books in Physics, W.F.Magie, McGraw Hill Book Co., Inc., 1935, NY.,pg.161-165.

30- Ibdem, pg.165.

31- Black, J., ref.25.

32- Holton, G., "Introducción a los conceptos y teorias de las ciencias fisicas", revisada e ampliada por S.G.Brush, Editorial Reverté, 2ªedição, 1976, Barcelona, pg.387..

33- Lindsay, R.B., "Men of physics: J.R. Mayer - Prophet of Energy", Pergamon Press, 1973, Hungary.

34- Mayer, R.J., "Comments on the mechanical equivalent of heat", tradução de R.B. Lindsay, ref.33, pg.206.

35- Mayer, R.J., "On the quantitative and qualitative determination of forces", tradução de R.B. Lindsay, ref.33, pg. 59-66.

36- Lindsay, R.B., ref.33, pg.26.

37- Mayer, R.J., "On the forces of inorganic nature", tradução de R.B. Lindsay, ref.33, pg.67-74.

38- Mayer, R.J., "Observações sobre as forças da natureza inanimada", tradução de Roberto de A. Martins, Cadernos de História e Filosofia da Ciência, Unicamp, nº 6, 1984, pg.84-93.

39- Mayer, R.J., ref.37, pg.68.

40- Ibdem, pg.68/69.

41- Ibdem, pg.69.

42- Ibdem, pg.73.

43- Farrington, B., "A Ciência grega", Editora Ibrasa, 1961, SP, pg. 28.

44- Ibdem, pg.53.

45- Martins, Roberto de A., "Mayer e a conservação de energia", Cadernos de História e Filosofia da Ciência, Unicamp, nº6, 1984, pg.63-84, pg.66.

46- Lindsay, R.B., ref.33.

47- Ibdem, ref.33, pg.5

48- Holton, G., ref.32, pg. 397.

49- Joule, J.P., ref.17.

50- Rossi, A., ref.19, pg.200.

51- Holton, G., ref.32, pg.398.

52- Joule, J.P., "On the heat evolved by metallic conductors of electricity and in the cells of a battery during electrolysis", 1841, Source Books in Physics, W.F.Magie, McGraw Hill Book Co., Inc., 1935, NY, pg.524-528.

53- Joule, J.P., ref.17, pg.301.

54- Joule, J.P., "On the mechanical value of heat", Source Books in Physics, W.F.Magie, McGraw Hill Book Co., Inc., 1935, NY, pg.205.

55- Joule, J.P., "On the changes of temperature produced by rarefation and condensation of air", Source Books in Physics, W.F.Magie, McGraw Hill Book Co.,Inc., 1935, NY.,pg.172-173.

56- Joule, J.P., ref.54, pg.205.

57- Joule, J.P., ref.17.

58- Ibdem, pg.328.

59- Aurani, K. , " Ensino de Conceitos: Estudos das Origens da Segunda Lei da Termodinâmica e do conceito de Entropia a partir do séc. XVIII ", dissertação de mestrado orientada por A. I. Hamburger, apresentada ao Instituto de Física e à Faculdade de Educação da USP, 1985. Neste trabalho, as investigações de S.Carnot sobre a potência motriz do fogo são tratadas com mais detalhe.

60- Porter, A., ref.26, pg.17.

61- Aurani, K., ref.59, pg 53.

62- Porter, A., ref.26, pg. 17.

63- Aurani, K., ref.59.

64- Ibdem, pg. 57.

65- Ibdem, pg. 58.

66- Clausius, R., "On differents forms of the fundamental equations of mechanical theory of heat and their convenience for aplication", Benchmark Paper on Energy, vol.5, "The Second Law of Thermodynamics", edited by J.Kestin, Brown University, Dowdenm Hutchingon & Ross, Inc., 1976,Pennsylvania.

67- Kunh, T.S., ref.14.

68- Ibdem, pg.489.

69- Ibdem, pg.515.

70- Ibdem, pg.493.

71- Rossi, A., ref.19, pg.493.

72- Kuhn, T.S., ref.14, pg.496.

73- Ibdem, pg.496.

74- Ibdem, pg.495.

75- Cini, M., ref.15.

76- Kuhn, T.S., ref.14, nota 45, pg.502.

77- Ibdem, pg.505.

78- Ibdem, nota 48, pg.503.

79- Ibdem, pg.503.

80- Ibdem, pg. 510.

81- Ferreira, Aurélio Buarque de Holanda, "Novo dicionário da lingua portuguesa", Editora Nova Fronteira, 1ª edição, 1975, RJ.

82- Fleshner, E.A., ref.5.

83- Ogborn, John et al, "Qualitative Data Analysis for Education Research", Croom Helm, London & Canberra, 1983.

84- Império-Hamburger, A., ref.1.

85- Ibdem.

86- Kuhn, T.S., ref.14, pg.489-490.

87- Kubli, F., ref.6, pg.17.

88- Holton, G., ref.32.

89- Alves, R., "Filosofia da Ciência - Introdução ao jogo e suas regras", Editora Brasiliense, 6ª edição, 1985, SP., pg.153.

90- Império-Hamburger, A., ref.1.

91- Exposição de Divulgação Científica "Ondas, Partículas e Campos", que mostra transformações e evolução na Física, inaugurada em julho de 1988, saguão EPUSP. Coordenação Geral Ernst W. Hamburger, coordenação do tópico de Termodinâmica: Amélia Império Hamburger.

APÊNDICE:

"SOBRE A DETERMINAÇÃO DO EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR"

James Prescott Joule

On the Mechanical Equivalent of Heat. By JAMES PRESCOTT JOULE, *F.C.S., Sec. Lit. and Phil. Society, Manchester, Cor. Mem. R.A., Turin, &c.** (*Communicated by* MICHAEL FARADAY, *D.C.L., F.R.S., Foreign Associate of the Academy of Sciences, Paris, &c. &c. &c.*)

['Philosophical Transactions,' 1850, Part I. Read June 21, 1849.]

(PLATE II.)

"Heat is a very brisk agitation of the insensible parts of the object, which produces in us that sensation from whence we denominate the object hot; so what in our sensation is *heat*, in the object is nothing but *motion*."—LOCKE.

"The *force* of a moving body is proportional to the square of its velocity, or to the height to which it would rise against gravity."—LEIBNITZ.

IN accordance with the pledge I gave the Royal Society some years ago, I have now the honour to present it with the results of the experiments I have made in order to determine the mechanical equivalent of heat with exactness. I will commence with a slight sketch of the progress of the mechanical doctrine, endeavouring to confine myself, for the sake of conciseness, to the notice of such researches as are immediately connected with the subject. I shall not therefore be able to review the valuable labours of Mr. Forbes and other illustrious men, whose researches on radiant heat and other subjects do not come exactly within the scope of the present memoir.

For a long time it had been a favourite hypothesis that heat consists of "a force or power belonging to bodies"†, but it was reserved for Count Rumford to make the first experiments decidedly in favour of that view. That justly

* The experiments were made at Oak Field, Whalley Range, near Manchester.

† Crawford on Animal Heat, p. 15.

On the Mechanical Equivalent of Heat. By JAMES PRESCOTT JOULE, F.C.s., Sec.Lit. and Phil. Society, Manchester, Cor. Mem. R.A., Turin, &c*. (Communicated by MICHAEL FARADAY, D.C.L., F.R.S., Foreign Associate of the Academy of Sciences, Paris, &c. &c. &c.).

("Philosophical Transactions", 1850, Part L. Read June, 21, 1849)

(PLATE II)

"Calor é uma agitação muito rápida dos componentes imperceptíveis da matéria, que nos provoca aquela sensação proveniente dos objetos que denominamos quente; então, na nossa sensação é quente, no objeto não é nada, senão movimento". LOCKE

"A força de um corpo em movimento é proporcional ao quadrado de sua velocidade, ou à altura que ele subiria contra a gravidade". LEIBNITZ

De acordo com o compromisso que assumi com a Royal Society, alguns anos atrás, tenho agora a honra de

apresentá-lo juntamente com os resultados dos experimentos que tenho realizado a fim de determinar, com precisão, o equivalente mecânico do calor. Iniciarei fazendo um rápido esboço do progresso da teoria mecânica, tentando me limitar, para ser mais conciso, em ressaltar as pesquisas que estejam em conexão direta com o assunto. Por isso, não terei oportunidade de fazer uma revisão dos valiosos trabalhos do sr. Forbes e outros homens ilustres, cujas pesquisas sobre calor radiante e outros assuntos não vêm, exatamente, de encontro ao presente trabalho.

Por um longo tempo, a hipótese favorita tem sido que o calor consiste de "uma força ou potência intrínseca dos corpos"(1), mas foi destinado ao conde Rumford fazer a primeira experiência decididamente favorável a essa visão. Esse filósofo natural, celebrado com justiça, demonstrou com suas engenhosas experiências que a grande quantidade de calor desenvolvida no orifício do canhão não poderia ser atribuída à mudança ocorrida na capacidade calorífica do metal; e, por essa razão, ele conclui que o movimento do perfurador era comunicado para as partículas do metal, produzindo desta forma o fenômeno calor. "Me parece", observou, "extremamente difícil, senão completamente impossível, formar uma idéia diferente de algo capaz de ser excitado e transmitido na maneira que o calor foi excitado e transmitido naquelas experiências, que não seja o movimento"(2).

Uma das partes mais importantes do trabalho do conde Rumford, embora até agora tenha sido dada pouca atenção, é aquela na qual ele faz uma estimativa da quantidade de força mecânica necessária para produzir uma certa quantidade de calor.

Referindo-se ao seu terceiro experimento, ele salienta que "a quantidade total de água gelada, com o calor efetivamente gerado por fricção, e acumulado em 2:30 horas, poderia ter sido aquecida de 180°, ou atingindo a fervura, igual 26.58 libras"(3).

Na página seguinte, ele estabelece que os instrumentos utilizados na experiência podem ser facilmente transportados pela força de um cavalo (entretanto, para tornar o trabalho mais leve, foram empregados dois cavalos na sua realização). A potência de um cavalo é estimada por Watt como sendo 33.000 pés-pounds por minuto e, portanto, se prosseguida por duas horas e meia, atingiria 4.950.000 pés-pound por minuto que, concordando com a experiência do conde Rumford,será equivalente a 26,58 libras de água acrescida de 180°F. Conseqüentemente, o calor necessário para elevar a libra de água de um grau será equivalente à força representada por 1034 pés-pounds. Este resultado não é muito diferente daquele que deduzi de meus próprios experimentos, relacionados neste trabalho, isto é 772 pés-pounds; e devemos observar que o excesso do equivalente do conde Rumford é apenas o que poderia ter sido antecipado pelas circunstâncias, que ele mesmo mencionou: "Não foi feita uma

estimativa do calor acumulado na caixa de madeira, nem do dispersado durante a experiência".

Aproximadamente no final do último século, sir Humphry Davy comunicou um trabalho para o dr. Beddoe do West Country Contributions, intitulado "Pesquisas sobre calor, luz e respiração", no qual fornece ampla confirmação da visão do conde Rumford. Atritando dois pedaços de gelo, um contra o outro, no vácuo de uma bomba de ar, parte deles era dissolvido, embora a temperatura do recipiente fosse conservada abaixo do ponto de congelamento. Este experimento era, decididamente, favorável à teoria da imateriabilidade do calor, uma vez que a capacidade do gelo para o calor é muito menor que a da água. Por isso, foi com grande razão que Davy formula a conclusão: "A causa imediata do fenômeno calor é o movimento, e as leis da sua comunicação são precisamente as mesmas leis da comunicação do movimento"(4).

As pesquisas de Dulong sobre calor específico dos fluídos elásticos foram recompensadas pela descoberta do fato notável que "igual volume de todos os fluidos elásticos, dadas a mesma temperatura e sob a mesma pressão, quando comprimidos ou dilatados rapidamente, de uma mesma fração dos seus volumes, perdem ou absorvem a mesma quantidade absoluta de calor"(5). Esta lei é de extrema importância no desenvolvimento da teoria do calor, pois prova que o efeito calorífico é, sob certas condições, proporcional à força consumida.

Em 1834, dr. Faraday demonstrou a "Identidade das Forças Químicas e Elétricas". Esta lei, ao lado de outras posteriormente descobertas por esse tão grande homem, mostrando a relação que subexiste entre magnetismo, eletricidade e luz, o capacitou para avançar na idéia de que os até então denominados corpos imponderáveis são simplesmente os representantes das diferentes formas de força. Grove e Mayer têm também defendido, numerosas vezes, pontos de vista semelhantes.

Minha própria experiência com relação ao assunto foi iniciada em 1840, ano em que comuniquei para a Royal Society minha descoberta da lei do calor originado pela eletricidade voltaica, uma lei da qual deduções imediatas foram feitas, - primeiramente que o calor produzido por um arco voltaico é proporcional, caeteris paribus, a sua intensidade ou força eletromotriz(6); e segundo, que o calor produzido pela combustão de um corpo é proporcional à intensidade de sua afinidade para o oxigênio(7).

Consegui, assim, estabelecer relação entre calor e afinidade química. Em 1843, mostrei que o calor produzido pelo magneto-eletricidade é proporcional à força absorvida, e que a força da máquina eletromagnética é (ou provém) derivada da força de afinidade química na bateria; uma força que por outro lado aparecia na forma de calor. Por este fato me considerei justificado ao anunciar "que a quantidade de calor capaz de aumentar a temperatura, de 1 libra de água, por um grau na escala Fahrenheit, é também igual, e

pode ser convertida em uma força mecânica capaz de elevar perpendicularmente 838 lb, de um pé de altura"[8].

Num trabalho posterior, apresentado à Royal Society em 1844, procurei mostrar que o calor absorvido ou produzido pela rarefação e condensação do ar é proporcional à força produzida e absorvida naquelas operações[9]. A relação quantitativa deduzida entre a força e o calor através desses experimentos é aproximadamente idêntica àquela derivada da experiência eletromagnética, referida acima, e é confirmada pela experiência de M. Seguin sobre a dilatação do vapor[10].

Da explanação feita pelo conde Rumford sobre o surgimento do calor devido ao atrito dos sólidos, deveria ter-se antecipado, como uma continuação, que o aparecimento do calor seria também detectado pelo atrito de corpos líquidos e gasosos. Além disso, existiam muitos fatos, tais como por exemplo, o aquecimento do mar após dias de tempestades, que tem sido comumente atribuído, há muito tempo, ao atrito do fluido. Entretanto, o mundo científico preocupado com a hipótese que o calor é uma substância e seguindo a dedução tirada na experiência de Pictet, não suficientemente cuidadosa, recusou quase que unanimemente a possibilidade de geração de calor deste modo. A primeira menção da qual estou ciente, de experiência em que produção de calor por intermédio do atrito entre corpos é defendida foi em 1842, por Mayer[11], que afirma que elevou a temperatura da água de 12°C para 13°C, agitando-a sem

entretanto indicar o valor da força empregada, ou a precaução tomada para assegurar um resultado correto. Em 1843, anunciei o fato: "O calor aparece pela passagem da água através de tubos estreitos"(12), e que cada grau de calor por libra de água necessária para seu aparecimento, desta forma é preciso uma força mecânica representada por 770 pés-pounds.

Posteriormente, em 1845(13) e 1847(14), utilizei pás-giratórias para friccionar o fluido, e obtive os equivalentes 781,5, 782,1 e 787,6, respectivamente, por meio da agitação da água, óleo de cachalote e mercúrio. Resultados coincidindo tão de perto um com outro, e juntamente com aqueles anteriormente derivados dos experimentos com fluidos elásticos e com a máquina eletromagnética, não deixaram nenhuma dúvida no meu pensamento quanto a existência de uma relação de equivalência entre força e calor; não obstante, apresentou-se da maior importância obter tal relação , com uma precisão ainda maior. Isso pretendi alcançar com o presente trabalho.

DESCRIÇÃO DA APARELHAGEM

Os termômetros utilizados tiveram seus tubos calibrados e graduados de acordo com o primeiro método indicado por M. Regnault. Dois deles, que designei por A e

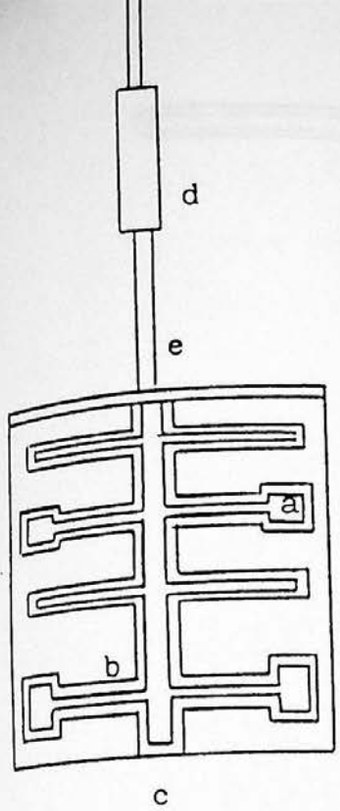


Figura 69

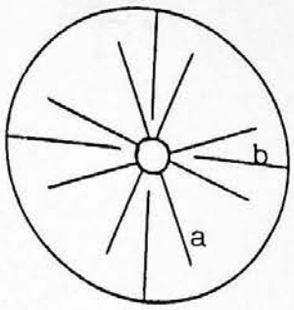


Figura 70

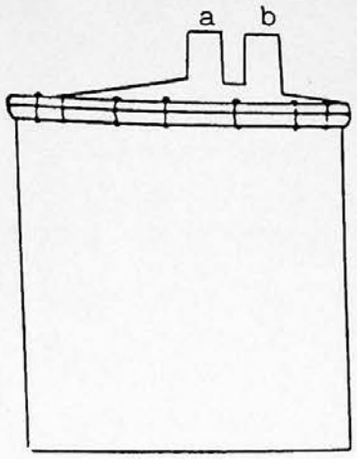


Figura 71

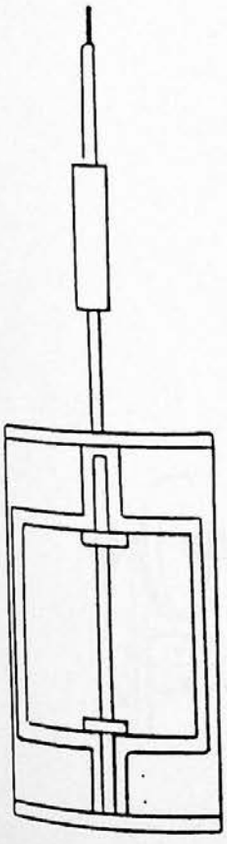


Figura 72

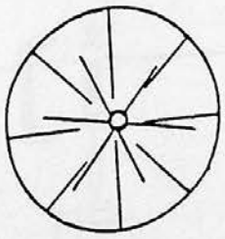


Figura 73

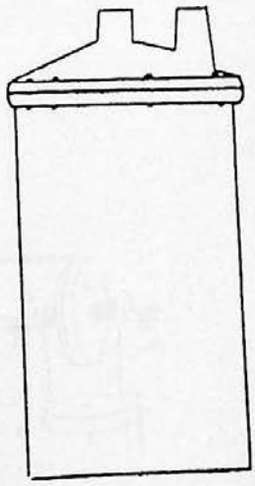


Figura 74

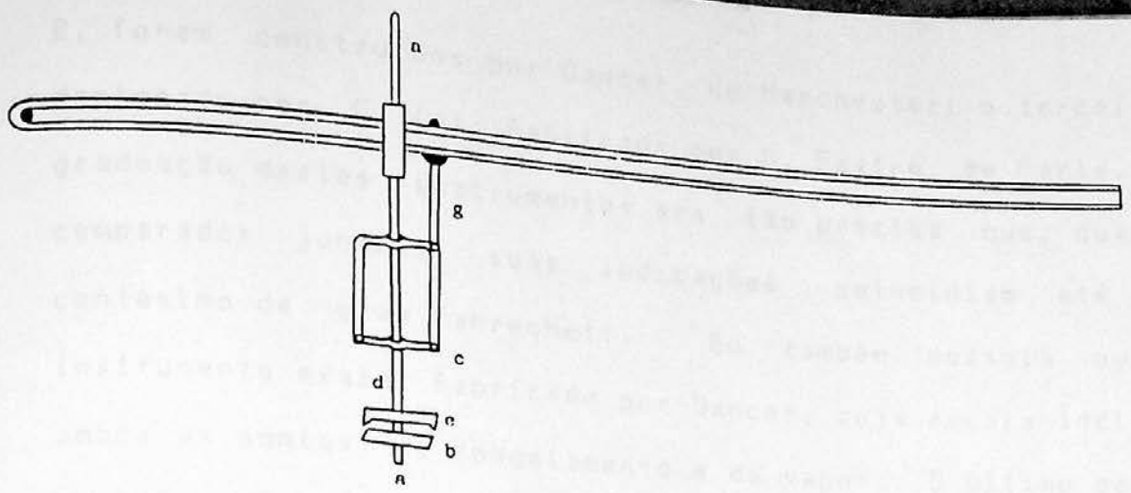


Figura 75

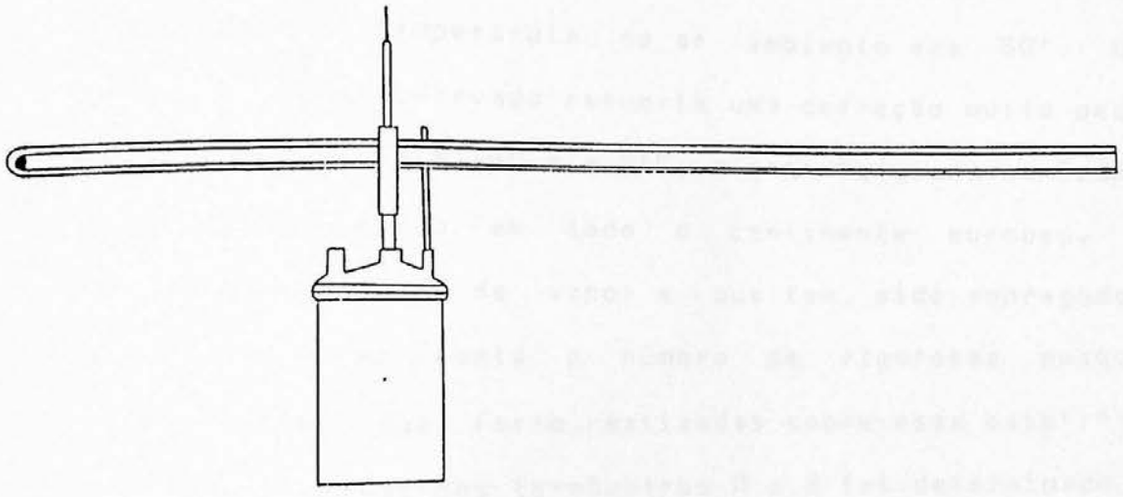


Figura 76

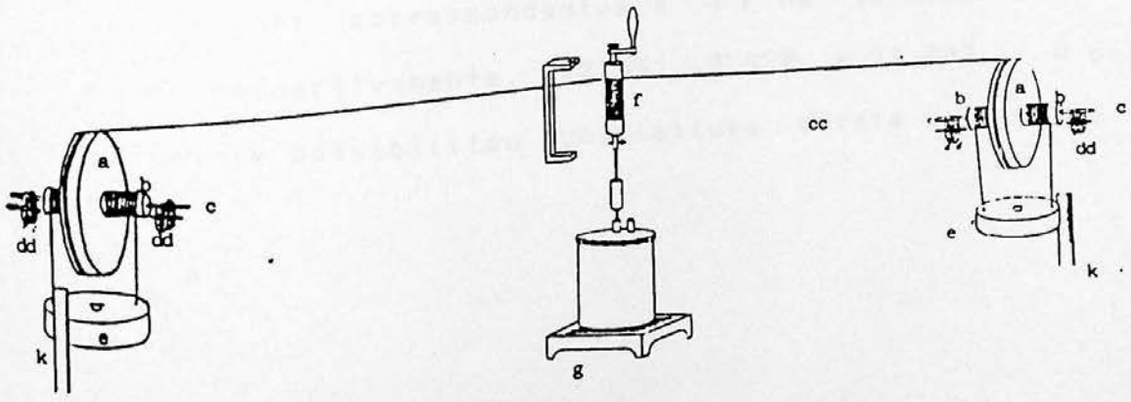


Figura 77

B, foram construídos por Dancer, de Manchester; o terceiro, designado por C, foi fabricado por M. Fastré, de Paris. A graduação destes instrumentos era tão precisa que, quando comparados juntos, suas indicações coincidiam até um centésimo de grau Fahrenheit. Eu também possuía outro instrumento exato fabricado por Dancer, cuja escala incluía ambos os pontos: de congelamento e de vapor. O último ponto neste termômetro-padrão foi obtido, de modo habitual, pela imersão do bulbo e suporte no vapor proveniente de uma considerável quantidade de água pura em rápida ebulição. Durante a escolha, o barômetro esteve colocado a 29,94 polegadas e a temperaruta do ar ambiente era 50°. Desta forma, o ponto observado requeria uma correção muito pequena para reduzí-lo a 0,760 m e 0°C, a pressão usada na França e acredito em todo o em todo o continente europeu, para determinar o ponto de vapor e que tem sido empregado por mim, levando em conta o número de rigorosas pesquisas termométricas, que foram realizadas sobre essa base(15). O valor das escalas dos termômetros A e B foi determinado pela imersão deles, juntamente com o padrão, em grande volume de água mantido constante para várias temperaturas. O valor da escala do termômetro C foi determinado através da comparação com o termômetro A. Deste modo, encontrou-se que o número de divisões correspondentes a 1°F no termômetro A, B e C eram, respectivamente, 12,951, 9,829 e 11,647. A prática constante possibilitou uma leitura direta a olho nu para

1/20 da divisão e deduzi que 1/200 de grau Fahrenheit era uma temperatura apreciável.

A figura 69 representa um corte vertical e a figura 70 um corte horizontal do instrumento utilizado para produzir o atrito da água, constituído de pás-giratórias de latão, equipadas com oito conjuntos de pás-giratórias a, a e c, funcionando entre quatro conjuntos de pás-estacionárias b,b e c, fixadas como estrutura na lâmina de latão. O eixo de latão das pás-giratórias movia-se livremente, mas sem provocar vibração em seu suporte cc, e em d o suporte era dividido em duas partes pela interposição de uma peça de madeira, para prevenir a condução de calor naquela direção.

A figura 71 representa um recipiente de cobre dentro do qual o aparelho giratório foi firmemente ajustado: possuía uma tampa de cobre, cuja rosca era equipada com uma arruela muito fina de couro saturada com fósforo branco; podia ser atarrachada perfeitamente para impermeabilizar a rosca do recipiente de cobre. Na tampa havia dois gargalos a e b - o primeiro para permitir a rotação do eixo sem tocar e o segundo para colocação do termômetro.

Além do que mencionei, eu tinha um aparelho semelhante para experiência de atrito do mercúrio, que é representado pelas figuras 72, 73 e 74. Ele difere da aparelhagem já descrita na sua dimensão, no número de braços giratórios (dos quais seis giravam e oito permaneciam estacionários), e no material empregado nas pás-giratórias, feitas de ferro, na tampa e no recipiente, de ferro fundido.

Preocupado em estender meus experimentos ao atrito dos sólidos, também procurei o arranjo representado pela figura 75, na qual a é o eixo de rotação junto com o esquadro de ferro fundido b, cuja borda foi torneada com precisão. Através da superfície plana c, que possuía um anel no centro para permitir a passagem do eixo e dois pequenos suportes d, o esquadro torneado do rotor de ferro fundido e podia ser pressionado contra a rotação do rotor, a intensidade da força aplicada era regulada manualmente por meio da superfície plana de madeira f fixa e perpendicular à haste de ferro g. A figura 76 representa o arranjo no recipiente de ferro fundido.

A figura 77 é uma perspectiva dos instrumentos utilizados para a montagem do aparelho de atrito, apenas descritos no movimento. As polias são de madeira, representadas por aa, com 1 pé de diâmetro, 2 polegadas de espessura, possuindo 2 cilindros de madeira bb, bb, com 2 polegadas de diâmetro e eixos de aço cc, cc, de 1/4 de polegadas de diâmetro. As polias foram modeladas com muita precisão e uma igual à outra. Seus eixos eram suportados pelos rotores-de-atrito de metal dddd e dddd e o eixo de aço, que funcionava no orifício perfurado do prato de metal, foi fortemente fixado na estrutura e preso nas paredes do compartimento(16).

Os corpos de chumbo ee, que em algumas experiências posteriores pesavam 29 libras e em outras 10 libras, foram suspensos pelos fios através dos cilindros bb

e bb; o fio fino, fixado nas polias aa ligava-os com o cilindro central f que, por meio de um pino, podia com ser facilmente fixado ou retirado do eixo do aparelho de atrito.

O suporte de madeira g, sobre o qual o aparelho de atrito se assentava, foi perfurado com uma porção de fendas transversais, igualmente cortadas de tal forma que apenas alguns poucos pontos da madeira entravam em contato com o latão, enquanto o ar tinha livre acesso a quase todas as partes dele. Deste modo, era evitada a condução do cobre para o suporte.

Um grande anteparo de madeira (não representado na figura) prevenia, completamente, os efeitos do calor irradiado pelo experimentador.

O método utilizado na experiência era como segue: tendo sido determinada a temperatura do aparelho de atrito e suspendendo os pesos com o auxílio do suporte h, fixava-se o cilindro no eixo. Por meio de uma régua de madeira graduada k,k, se determinava a altura correta do corpo a partir do solo; o cilindro era liberado, possibilitando a rotação até que o corpo atingisse o solo do laboratório, após uma queda de aproximadamente 63 polegadas. O cilindro era, então, removido do suporte, os pesos suspensos novamente e o atrito repetido. Depois disto ter sido refeito vinte vezes, a experiência era concluída anotando a outra temperatura da aparelhagem. A temperatura média do laboratório era determinada pela leitura feita no início, no meio e no fim de cada experiência.

Anteriormente, ou imediatamente após cada experiência, eu fazia uma seleção dos efeitos de radiação e condução de calor para a atmosfera ou dela proveniente, no acréscimo ou decréscimo da temperatura no aparelho de atrito. Nesta seleção, a posição do aparelho, a quantidade de água nele contida, o tempo decorrido, o método de ler os termômetros, a posição do experimentador, enfim, tudo, com exceção do aparelho estar fixo, era o mesmo como nos experimentos nos quais o efeito do atrito foi observado.

.....

A tabela abaixo contém um resumo dos equivalentes obtidos através dos experimentos mencionados.

nº	material empregado	equivalente		
		no ar	no vácuo	média
1	água	773,640	772,692	772,692
2	mercúrio	773,762	772,814	774,083
3	mercúrio	776,303	775,352	
4	ferro fundido	776,997	776,045	774,987
5	ferro fundido	774,880	773,930	

É altamente provável que o equivalente do ferro fundido foi até certo ponto acrescido devido ao desgaste das partículas do metal durante a fricção, que não pode ocorrer sem a absorção de uma certa quantidade de força para dominar a atração de coesão. Mas, uma vez que a quantidade envolvida não foi considerável o bastante para ser medido depois do experimento completo, o erro desta fonte não pode ser levado muito em conta. Considerei que 772,692, o equivalente derivado da fricção da água, é o mais correto, tanto na consideração do número de experiências selecionadas como na grande capacidade do aparelho para o calor. E, mesmo na fricção dos fluidos, foi inteiramente impossível evitar a vibração e a produção de som, é provável que o número acima esteja levemente em excesso. Concluirei, portanto, considerando-o como demonstrado pelos experimentos descritos neste trabalho:

1º "Que a quantidade calor produzido devido à fricção dos corpos, líquidos ou sólidos, é sempre proporcional à quantidade de força expandida, E.

2º Que a capacidade de calor capaz de um aumento de temperatura de um pund de água (pesado no vácuo, e tomado entre 55° e 60°) por 1°F precisa para sua criação o dispêndio de uma força mecânica representada pela queda de um corpo de 772 libras, através de uma distância de 1 pé".

ANEXO - 1

QUESTIONÁRIO PRELIMINAR PARA VERIFICAÇÃO DE CONCEITOS (Teresinha T.Higa)

NOME DO ALUNO: José Henrique Silva

ESCOLA: Escola Estadual de Segundo Grau de São Paulo SÉRIE: 2º I

1. Uma telha se desprende do telhado e cai. Ela pode cair sobre a cabeça de uma pessoa, em um balde de água, ou ir direto para o chão, acontecendo coisas diferentes em cada caso. Escreva sobre os efeitos da telha que cai de um telhado baixo e de um telhado dez vezes mais alto. Você poderia identificar uma propriedade da telha responsável por essas coisas que ocorrem?

2. Do que você precisa dispor para empurrar uma mesa?

3. Qual a idéia que você tem de um fluido? Cita alguns fluidos que você conhece.

4. O que você sente ao estregar sua mão, durante algum tempo, sobre uma superfície, por exemplo, de madeira??

5. Considerando a questão anterior, você pensaria em algum tipo de explicação que tivesse ligação com a passagem de algum tipo de fluido? Explique sua opinião sobre essa idéia, explicando os prós e os contras.

6. O que significa para você quando acaba a luz, a expressão: "ACABOU A FORÇA".

7. Você sabe explicar como a água do chuveiro elétrico é aquecida?

8. Em que situações diferentes você usa o conceito de Força e com que significados? (Você se lembrou do conceito usado na Física?)

9. Em que situações diferences você usa o conceito de energia e com que significados?

10. Você já observou alguma coisa se mexendo por causa do calor (vapor, ar quente, etc.)? Descreva as situações.

ANEXO - II : TABULAÇÃO DAS RESPOSTAS

2. Do que você precisa dispor para empurrar uma mesa?

Preciso que a força de impulso seja maior que a força de atrito entre a mesa e o local onde ela está.

De força maior que o corpo e a força de atrito do corpo. E também uma direção favorável.

É preciso saber a força, o atrito, a aceleração.

Uma força resultante maior que a força de atrito máxima.

Força.

Fazer uma força, tal que a mesma seja maior que a força de atrito máxima contrária à força feita.

É necessário aplicar uma força de intensidade maior que a força de atrito (iminência), para poder locomover a mesa do lugar.

3. Qual a idéia que você tem de fluidos? Cite alguns fluidos que você conhece.

Diesel, álcool, óleo, gasolina.

Inflamável, um corrosivo perigoso que deve ser encarado como uma causadora de morte, em que convive diariamente com a humanidade. Querosene, diesel, gasolina, álcool, benzina.

4. O que você sente ao esfregar a mão, durante algum tempo, sobre uma superfície, por exemplo, de madeira?

Eu sinto que quanto mais tempo eu esfrego a mão na madeira, menos ela vai deslizar.

Dependendo da madeira se ela for áspera com obstáculos, a pressão da mão com a madeira se tornará um pouco dramática com machucados, inchaço etc.. Agora com a madeira lisa ao esfregar-se a mão, a madeira com o atrito poderá provocar até queimaduras de 3º grau nas mãos.

Me parece que o atrito aumenta por efeito do suor da mão.

Aquecimento.

Aspereza.

Sentimos que a mão fica cada vez mais quente pelo atrito entre a mão e a mesa.

Sinto que há aquecimento, em relação a madeira.

5. Considerando a questão anterior você pensaria em algum tipo de explicação que tivesse ligação com a passagem de algum tipo de fluido? Explique sua opinião sobre esta idéia, explicando os prós e os contras.	6. O que significa para você quando acaba a luz a expressão: "ACABOU A FORÇA"?	7. Você sabe explicar como a água do chuveiro é aquecida?
Talvez o corpo humano, a madeira, o ar, atrito, velocidade, força; podem produzir algum tipo de fluido, de meu desconhecimento.	Falha técnica no gerador geral; instalação mal feita ou até economia do país ou também precaução com algum tipo de acidente.	Através da força de eletricidade produzindo calor e assim aquecendo a água.
	É que acabou a fonte de energia, no caso, a luz.	
		Através de uma resistência.
	Que a força elétrica foi desligada.	
Sim.	Acabou a força da corrente que é... (não deu para ler).	Se apenas a água passasse pelo cano e fosse para o chuveiro ela viria fria, mas temos a ação da eletricidade diretamente ligada de uma fonte de luz ao chuveiro, o qual é aquecido pela ação da corrente elétrica mais a resistência que age para isso
	Houve algum defeito no campo elétrico, e os elétrons se chocaram com o curto.	Ela passa por uma resistência, que está ligada aos fios elétricos da instalação e com a temperatura da resistência ela vai se aquecendo.

8. Em que situações diferentes você usa o conceito de força e com que significados? (Você se lembrou do conceito usado na física?)

Força = elétrica.
Força = física: de impulso e de atrito.

Para se calcular a aceleração de um corpo e também a tração de um fio (por exemplo) que liga dois corpos.

Força resultante de empurrões ou deslocamentos em física, força de luz, força de resistência muscular etc..

No trabalho, na instalação, ao se alimentar, praticando esportes etc.. No trabalho fazemos forças para carregar mercadorias, levantar, subir escadas etc.. Instalação. Mexemos com o campo magnético (elétrons) eletricidade. Ao se alimentar, fazendo esforços para comer. Praticando esportes, correndo, saltando, levantando pesos, nadando.

9. Em que situações diferentes você usa o conceito de energia e com que significados?

Energia = solar, eletricidade.

Energia elétrica, energia como resistência física, energia de motores etc..

10. Você já observou alguma coisa se mexendo por causa do calor (vapor, ar quente...)? Descreva as situações.

Sim, o vento quente proveniente da ação de vaporização das águas pode deslocar várias coisas, como por exemplo, papéis.

2. Do que você precisa dispor para empurrar uma mesa?	3. Qual a idéia que você tem de um fluido? Cite alguns fluidos que você conhece.	4. O que você sente ao esfregar a mão, durante algum tempo sobre a superfície, por exemplo, de madeira?
Preciso dispor de uma força F que atue superando a força Peso do atrito.		
Preciso dispor de uma Força maior do que a Força de Atrito estática.	Fluido é um líquido inflamável. Exemplo: álcool, gasolina etc..	Sente a mão e a madeira esquentar através do atrito.
Força.	É uma substância que inflama facilmente.	Calor.
Além dos membros, uma força necessária para romper o atrito.	Coisa líquida, como por exemplo: óleo, querosene etc..	Sinto calor que é gerado pelo atrito da mão com a madeira.

5. Considerando a questão anterior, você pensaria em algum tipo de explicação que tivesse ligação com a passagem de algum tipo de fluido? Explique sua opinião sobre essa idéia, explicando os prós e os contras.	6. O que significa para você quando acaba a luz a expressão: "ACABOU A FORÇA"?	7. Você sabe explicar como a água do chuveiro é aquecida?
	Não existe mais a entrada de energia elétrica dentro de uma casa, prédio, onde não há mais o trabalho através de uma máquina que depende dessa força que a energia elétrica conteria.	É aquecido através de um movimento, trabalho dos seus componentes, onde a energia elétrica atua diretamente na água aquecendo imediatamente.
Não. Porque o único líquido que a mão desprende é o suor e a madeira só desprenderá algum fluido se antes ela tivesse em contato com algum.	Significa que acabou a energia ou a força elétrica.	A água do chuveira é aquecida através de uma plataforma que ao se encher com certa quantidade de água liga a parte elétrica que através de resistências a aquece e ela aquece a água.
	Significa que teve uma alta redução de energia, bem inferior a energia necessária para acender uma luz.	Através da resistência. Conforme ligamos o chuveiro a resistência esquenta e transmite calor a uma chapa de alumínio que por sua vez é ótimo condutor de calor, o que irá permitir o aquecimento da água.
Não.	Acabou a força geradora dessa energia luminosa.	A água do chuveiro é aquecida através de resistências de energia elétrica semelhante às do ferro elétrico e da lâmpada comum.

8. Em que situações diferentes você usa o conceito de Força e com que significados? (Você se lembrou do conceito usa na Física?)	9. Em que situações diferentes você usa o conceito de energia e com que significados?	10. Você já observou alguma coisa se mexendo por causa do calor (vapor, ar quente,...)? Descreva as situações.
Usa-se o conceito de física quando queremos estudar o movimento dos corpos onde existe um outro corpo que atue no sentido libertando-o.	O alimento por exemplo, é necessário para nos fazer viver e trabalhar fornecendo energia... Outros combustíveis como madeira, carvão e gasolina, possuem grandes quantidades de energia utilizada para aquecer, cozinhar ou mover mecanismos. A todo momento falamos de energia, no sentido seguinte: acordamos dispostos a trabalhar, passear, fazer esportes. Logo depois, entretanto, nos sentimos cansados dizendo ter gasto toda energia. O conceito de energia é muito importante na análise do movimento.	Propagação do calor: a passagem do calor de um ponto para outro se faz de 3 maneiras: por condução, por convecção e por irradiação. Condução é a passagem do calor aquecendo todos os pontos intermediários. Por exemplo, o aquecimento de uma barra de metal. Convecção é o caso em que as partes de um fluido, em contato com uma superfície quente, desloca-se para aquecer outras partes da mesma. Por exemplo: o aquecimento da água. Irradiação é o fenômeno que se verifica quando há passagem de calor de um corpo intermediário entre o quente e o frio - parte do calor é refletido e absorvido. O calor se irradia em todas direções. O calor se propaga no vácuo e num meio homogêneo se propaga em linha reta.
Força física, Força mental, Força em física seria: atrito, peso, Normal, Resultante e outros etc..	En.elétrica - eletricidade En.cinética - en.que o corpo adquire em movimento En.potencial - en.que o corpo adquire parado En.Mental - força da mente En.Física - a que temos no corpo	Um pedaço de plástico se enrolar através do calor da mão.
Força é mais um conceito físico. Mas pode ter o significado de briga, eletricidade etc..	A energia pode ter o significado de eletricidade, de repreensão etc..	Em temporada de chuva há uma caída de temperatura. Depois que pararam as chuvas que é trazida por uma camada de ar frio, vem o calor. Vindo o calor irá acontecer uma evaporação na terra e irá aquecer o ar, tornando-o quente novamente.
A força é usada como expressão em vários momentos: quando quer exprimir energia elétrica, energia mecânica ou definir energia humana.	Como citado anteriormente e como a luz, mecânica, cinemática e outras.	Objetos inanimados tais como na fervura da água onde o vapor da água mexe a tampa do bule, a terra também se mexe com o calor, exemplo: erupção, onde a lava sai, provocando abalos sísmicos.

2. Do que você precisa dispor para empurrar uma mesa?	3. Qual a idéia que você tem de fluidos? Cite alguns fluidos que você conhece.	4. O que você sente ao esfregar a mão, durante algum tempo, sobre uma superfície, por exemplo, de madeira?
Dispor de energia.	Fluido é um líquido. Água.	Sinto esquentar, há geração de calor
Força.	No meu entender, fluidos são líquidos inflamáveis. Exemplo, fluido de isqueiro.	A mão esquenta.
Uma força maior que a força de atrito.		A mão queimando.
Força.	São líquidos inflamáveis.	A mão esquenta.
Preciso de uma força resultante maior que a força de atrito que existe quando eu aplico uma força.		Uma força que se opõe a este movimento denominada força de atrito e calor devido a esta força.
Força (F) que seja maior que a força de atrito.		Começa a esquentar.
De aplicar uma determinada força sobre a mesa, para que esta se desloque.	Fluido é um composto líquido de várias derivações. Exemplo: fluido de isqueiro, de freio, acetona etc.	A medida que começar a esfregar a mão, irá aumentando a caloria da mão, pois o atrito agirá logo.
Força.		A mão esquenta.
É preciso dispor de uma força maior que a oposição da mesa. No caso uma força maior que o peso da mesa.	Não sei o que é fluido mas acho que é algum tipo de líquido inflamável, pois cheguei a comprar fluido para isqueiro.	Eu sinto esquentar e conseqüentemente alguma dor. No caso da madeira muito aspereza e calor.

5. Considerando a questão anterior, você pensaria em algum tipo de explicação que tivesse ligação com a passagem de algum tipo de fluido? Explique sua opinião sobre esta idéia explicando os prós e os contras.	6. O que siginifica para você quando acaba a luz a expressão: "ACABOU A FORÇA"?	7. Você sabe explicar como a água do chuveiro elétrico é aquecida?
O calor.	Que houve corte no fornecimento de energia elétrica.	A corrente elétrica passa através de um fio espiral, a resistência, o que gera calor e aquece a água.
	Significa que a energia elétrica foi desligada.	Não sei.
	Significa que falta energia gerada para os componentes.	Por causa da resistência, ao ligar o chuveiro ele se aquece, a água que passa por ele se aquece.
	Significa que a força que "dá origem" à luz elétrica, acabou.	É aquecido através da energia elétrica.
	A força neste caso está sendo empregada com o sinônimo de energia.	Provavelmente por corrente elétrica.
	A energia elétrica foi eliminada.	É aquecida com a eletricidade e por causa da resistência.
Sim. Ao esfregar a mão, estaremos ocasionando um certo suor que irá aumentando gradativamente com o ato.	Significa que houve falta de energia elétrica, em outras palavras, a energia está relacionada a luz (luz é uma força e energia, ou seja energia radiante).	Sim, a água vem pela canalização e vai até o chuveiro, quando chega no chuveiro envolve uma resistência que está superaquecida. Daí a água se esquenta e é eliminada para o nosso banho.
	Acabou a energia elétrica.	Pela resistência que é ligada a energia elétrica.
	Que houve corte de energia elétrica e a expressão "Acabou a força" é uma forma popular de se explicar o corte já que nada funciona sem ele.	Não.

8. Que situações diferentes você usa o conceito de força e com que significados? (Você se lembrou do conceito usado na física?)	9. Que situações diferentes você usa o conceito de energia e com que significados?	10. Você já observou alguma coisa se mexendo por causa do calor (vapor, ar quente...)? Descrevas as situações.
Além do de física: quando se diz que uma pessoa tem energia, é forte; denominação de energia elétrica.	Em relação à eletricidade (energia elétrica). Quando é utilizada para gerar força.	Vapor quando a água é fervida.
Força física exercida pelo homem, para realizar trabalho, força em física (força resultante, força de atrito etc.).	Energia elétrica, solar, nuclear etc..	
		O motor aquecido solta pelo escapamento o gás carbônico quente, ele estando entre você o outro objeto, dá o pressentimento que o objeto está se mexendo.
"Força" quando aplicada para segurar, empurrar, levar alguma coisa.	"Energia" energia elétrica.	O vapor sobe lentamente e vai desaparecendo.
Para calcular o peso de um corpo caindo (conceito de peso no lugar de força). Calcular a força que age em um corpo com certa massa produzindo-lhe certa aceleração (conceito de força utilizada no seu próprio sentido).		Devido ao calor os corpos se dilatam, os sólidos. Os líquidos evaporam, os seres vivos, por reação normal se afastam quando o calor é excessivo.
		Sim, a água quando aquecida ela começa a soltar bolhas, evaporar.
Em situações que envolvam uma determinada massa e sobre esta massa atuem forças, nas quais originariam um movimento dotado de uma aceleração, direção e sentido.	Eu o usaria em situações que envolvessem "um trabalho". Por exemplo, se tivesse que empurrar um carro, precisaria de muita energia para isso! Ou então, em ligações elétrica, mas no caso seria energia elétrica e não energia química (como no exemplo anterior).	Sim. Quando está muito calor pode se ver, principalmente no asfalto, um determinado embaçamento, que é a evaporação.
Para realizar trabalho - em física, força de atrito, força resultante.	Elétrica e nuclear.	

2. Do que você precisa dispor para empurrar uma mesa?	3. Qual a idéia que você tem de fluido? Cite alguns fluidos que você conhece.	4. O que você sente ao esfregar a mão, durante algum tempo, sobre uma superfície, por exemplo, de madeira?
Precisa de uma força maior que a força de atrito para que a mesa se movimente.	Ar, calor, vapor, água, o que corre como líquido.	A mão começa a esquentar, chegando quase a queimar.
De energia capaz de desenvol - uma força maior que o peso da mesa e a força de atrito que age sobre ela.	Material líquido que pode gerar energia. Exemplo: água, álcool, petróleo.	Começa gerar calor, ou seja, liberar energia.
De uma força f qualquer que seja maior que a força de atrito	Já ouvi falar em fluido, mas ainda não tive a oportunidade de saber o que é, portanto não posso citar exemplos de fluidos pois não sei nem o que é, posso até conhecer algo que seja um fluido, mas como não sei a definição, não posso distinguir.	Sinto que ela esquenta e sinto também a força de atrito.
Precisamos de uma força para atuar sobre a mesa.	Fluidos são líquidos e gases.	Sente-se a mão ficar aquecida, isso devido à lei do atrito (atrito entre dois corpos, mão e mesa).
Devemos aplicar uma força sobre ela.	Fluido pode ser líquido ou gás.	Sinto esquentar ou até mesmo queimar, dependendo da madeira, isto ocorre devido ao atrito.
Força maior que a força de atrito estática da mesma.		Sinto minha mão esquentar.

5. Considerando a questão anterior, você pensaria em algum tipo de explicação que tivesse ligação com a passagem de algum tipo de fluido? Explique sua opinião sobre esta idéia, explicando os prós e os contras.	6. O que significa para você quando acaba a luz a expressão: "ACABOU A FORÇA"?	7. Você sabe explicar como a água do chuveiro é aquecida?
Sim, pois quando esfregamos a mão na madeira há uma transmissão de energia de nossas mãos para a madeira fazendo com que esta esquente.	Porque a luz é um tipo de energia (elétrica) e por sua vez energia é um tipo de força.	Por causa da energia que faz com que emita calor e faça com que a água esquente.
	Significa que houve interrupção na fonte geradora de energia, ou em seus cabos que a transportam.	Através da energia liberada pela sua resistência, isto é, a água passa mantendo contato com fios que através da energia neles aplicada, gera calor aquecendo a água.
Não pensaria, pois como disse no item 3 não sei o que é um fluido.	Significa que acabou a energia que gerava luz e que a energia é uma força.	Eu imagino: a corrente elétrica passa pela resistência do chuveiro, quanto maior o número de elétrons livres mais fácil será para a corrente fluir, ao passar corrente devido à fricção forma-se o calor aquecendo a água.
	Significa que acabou a luz, ou seja, a energia necessária para nós, pois a força depende da energia e vice-versa.	É aquecida através da eletricidade, que ao passar pela resistência do chuveiro vai se transformar em calor, e assim aquecerá a água.
	...vamos ficar no escuro, porque na minha casa quando fica escuro ou não tem força eu falo esta expressão. Ou até mesmo quando queima o fusível, e também porque acabou a força elétrica.	O chuveiro é aquecido porque tem uma ligação elétrica, fazendo com que haja uma corrente elétrica com isso a água fica quente.
Não, eu não pensaria no fluido. Eu acharia que este fenômeno seria algo relaciona à força de atrito. Pois a mão em atrito com a superfície da mesa liberaria energia, neste caso, calor.	Houve um corte temporário no fornecimento de energia elétrica.	A água é aquecida por uma resistência.

8. Em que situações diferentes você usa o conceito de força e com que significados? (Você se lembrou do conceito usado na Física?)	9. Em que situações diferentes você usa o conceito de energia e com que significados?	10. Você já observou alguma coisa se mexendo por causa do calor (vapor, ar quente,...)? Descreva as situações.
Quando um corpo está em repouso ou movimento retilíneo uniforme a menos que seja aplicada uma força sobre ele. Exemplo: qualquer objeto que quisermos movimentar, ele só se movimentará se aplicarmos uma força que seja maior que a força de atrito.	Quando vai trabalhar, estudar, fazer qualquer movimento como andar, pular, cantar, estou gastando energia.	Vapor quando tomamos banho, e a água fica muito quente, começa a sair vapor chegando a embaçar o espelho que fica no banheiro.
Para realizar algum trabalho, gerar energia, para deslocar algo.	Como gerador de força (energia elétrica).	Não.
Me lembrei que a força é usada em física mas não consigo lembrar o conceito usado na física, mas acho que força é igual a F=m.c, ou seja, força é resultante da multiplicação da massa de um corpo pela sua aceleração.	A energia é um conceito de difícil definição, podemos falar em energia química, solar etc.. A energia que está ligada ao movimento é chamada energia cinética, na física o princípio de conservação de energia é o seguinte: a energia nunca é criada ou destruída, mas apenas transformada de um tipo em outro. O total de energia antes da transformação é igual ao total de energia depois da mesma.	
Quando puxamos ou empurramos alguma coisa, para por o corpo em movimento, parar ou mudar a direção do corpo, bater em alguém, levantar um corpo e qualquer outro tipo de força. Em todos esses casos, força está no sentido de energia que faz com que a gente produza força.	Usa-se o conceito de energia exatamente quando se faz força, por exemplo: para levantar um corpo precisamos ter o nosso corpo cheio de energia para fazer a força, do contrário, não acontecerá nada. Outro exemplo é da questão 6 "Acabou a força", isto é, acabou a energia que gerava luz. Energia é a capacidade de realizar trabalho.	Sim. Por exemplo a água fervente da chaleira (ebulição) em que há grande liberação de vapor devido ao calor do fogo. Um outro exemplo é o sorvete que permanece durante muito tempo fora da geladeira, por causa da grande quantidade de calor vai se derreter atingindo a forma líquida (fusão).
Em uso o conceito de força para fazer alguma coisa, isto é, para causar movimento. Por exemplo, um jogador de vôlei ao cortar, o público diz: "corte com força", esta expressão quer dizer, para ele cortar com uma intensidade, fazendo com que a bola vá com uma certa velocidade.	Energia é a capacidade dos corpos de produzir trabalho através de força.	Sim, já observei o vapor quando estou fazendo café, o ar quente que sai ele se espalha pela cozinha e logo some poque o ar se evaporou, a mesma coisa com o vapor o nome até diz evaporação.
Quando agem sobre um corpo qualquer destas forças (peso, normal, tração, força, força de atrito etc..	Com o significado de estudar estas forças.	Balão de ar quente. Enche-se o balão com ar quente, como o ar quente é mais leve que o ar ambiente faz com que o balão suba.

2. Do que você precisa dispor para empurrar uma mesa?	3. Qual a idéia que você tem de fluidos? Cite alguns fluidos que você conhece.	4. O que você sente ao esfregar a mão, durante algum tempo, sobre uma superfície, por exemplo, de madeira?
De uma força maior do que a força de atrito entre a mesa e a superfície que se encontra, caso não possua atrito apenas de uma força que a faça mover.	Fluido é a passagem de líquidos, gases, eletricidade por um material. Fluido de eletricidade.	Calor devido ao atrito entre os dois.
...é necessário ter uma força para agir sobre a mesa, pois todo corpo em repouso tende a permanecer no mesmo estado. Essa força tem que ser maior que as forças resistentes que atuarem no corpo, se elas existirem.	Fluido é algo que escorre através de um lugar que possa ser previsto, ou melhor, o escorrer de alguma coisa líquida ou no estado gasoso. Exemplo: fluido de um rio, o fluir do sangue nas veias.	Devido ao atrito, ao esfregar a mão sobre uma superfície sólida, eu sinto que ela começa aquecer.
É necessário que você faça uma força F e esta deve ser maior do que a força de atrito existente entre o chão e a mesa para que haja deslocamento.	São líquidos e gases. Exemplo: gás de isqueiro.	Ao esfregar a mão contra uma superfície de madeira eu estarei atritando dois corpos, como conseqüência desse contato, ambos esquentarão provocando calor.
De uma força que seja superior à força de atrito que o chão provoca.	Eu penso que fluido sejam os líquidos, como a água, o óleo etc..	Sinto que a mão é aquecida.
Força maior que a força de atrito existente entre a mesa e a superfície.	Os fluidos que conheço são os usados popularmente na linguagem cotidiana: fluidos de água - jatos de água; maus fluidos - maus pressentimentos.	Sinto um certo calor na mão.

5. Considerando a questão anterior, você pensaria em algum tipo de explicação que tivesse ligação com a passagem de algum tipo de fluido? Explique sua opinião sobre esta idéia, explicando os prós e os contras.	6. O que significa para você quando acaba a luz a expressão: "ACABOU A FORÇA"?	7. Você sabe explicar como a água do chuveiro é aquecida?
	Que acabou a energia elétrica que é a força que faz a lâmpada acender.	A energia elétrica é levada até a resistência do chuveiro, é transformada em calor, e este calor aquece a resistência que é transmitida à água.
Eu pensaria em algum tipo de fluido se o calor passasse de um corpo para outro, mas nesse caso, o calor é produzido nos dois corpos através do atrito.	Significa que a corrente elétrica que fazia a lâmpada liberar luz acabou.	Através de uma resistência feita de metal que é aquecida pela eletricidade.
	...Talvez houve um curto-circuitol, com os fios elétricos... e este provocou interrupção da energia...e fez com que a força... fosse interrompida... Pode ser também que a lâmpada tenha se queimado e a energia que penetrar nesta lâmpada é interrompida,pois é no filamento que se penetra a energia para que haja iluminação ...	Há resistência interna no chuveiro. Quando o chuveiro estiver ligado, fecha-se os contatos da resistência e a água aquece-se com a resistência quente.
Poderia ser a ação do fluido que a mão solta por transpiração. Esse fluido é aquecido com o atrito entre a mão e a madeira.	Quer dizer, para mim, que a corrente elétrica ou a força elétrica foi interrompida.	Eu acho que existe um dispositivo elétrico que faz com que a água se aqueça.
Seria a passagem de um fluido energético de calor. Talvez pelo atrito existente na superfície. Como também esfregar duas pedras, uma na outra, para fazer fogo.	A expressão é popular e quer dizer acabou a força elétrica necessária para gerar luz em um campo. Seria mais certo dizer que não houve a transmissão de energia elétrica.	Porque o chuveiro é ligado a luz elétrica e esta lhe transmite energia capaz de produzir calor.

8. Em que situações diferentes você usa o conceito de força e com que significados? (Você se lembrou do conceito usado na Física?)	9. Em que situações diferentes você usa o conceito de energia e com que significados?	10. Você já observou alguma coisa se mexendo por causa do calor (vapor, ar quente...)? Descreva as situações.
Na mecânica, na eletricidade. Na eletricidade força é energia que faz os aparelhos elétricos funcionarem.	Na eletricidadel, é a força que dá ao corpo a capacidade de obter trabalho.	O calor faz o ferro dilatar, na água ele provoca bolhas que ocasiona a evaporação das mesmas ou aumento de seu volume etc..
(a) Gritar com força=de maneira a ser escutado o longe possível. (b) Acabou a força= en.elétrica (c) Faça mais força=conceito da Física força é aquilo que modifica o estado do corpo ou deforma.	Gastar energia=se cansar energia elétrica=conceito normal	Fumaça de uma chaminé vinda de algo que esteja sendo queimado. O ar quente devido sua menor densidade, em relação ao ar frio, tende a subir, levando junto partículas de cinza, poeira etc..
Em física a palavra força é aquela que produz deformação ou aceleração de corpos; em situação de brincadeiras de cabo de guerra, luta de boxe, força tem sentido de exercício físico pela pessoa.	Energia potencial quando um corpo está parado, dizemos que ele tem energia potencial. Exemplo: água de uma represa. Energia cinetica é quando o corpo sai da energia potencial, isto é, começa a se movimentar. Exemplo: quando a agua cai. A energia cinética é transformada em mecânica, quando, por exemplo, a água move as turbinas. Esta é transformada em elétrica que segue pelas linhas de transmissão e ao ser distribuida em residencias, fabricas etc., estará realizando alguma forma de trabalho.	A água que se ferve em um recipiente. Quando esta começa a ferver, ela começa a se mover e soltar vapor e sobe. Se esta continuar fervendo, vai se evaporar totalmente, irá se consolidar e esfriar caindo em gotas de chuva na terra, e se esta água for utilizada novamente com o mesmo princípio, o ciclo se repetirá.
"O homem tem força", significa que ele tem a capacidade de mover, levantar certos objetos ou coisas de massas muito grande. "Tenha forças", significa agüente etc..	"Ele tem energia", significa que ele tem força, poder etc..	Sim. O balão de ar quente. O ar quente. O ar quente é mais leve que o ar não aquecido, por isso ele tende a subir. Se enchermos o balão de ar quente veremos que ele vai se movimentar pois age uma força de ar quente sobre ele que tende a subir.
Força peso, a força que o bloco faz no solo. Força normal, a reação normal que o solo faz. Força de atrito, uma força que se opõe ao movimento. Força de resistência do ar, uma força que se opõe ao movimento.	Energia é a capacidade dos corpos de produzir trabalho. Energia potencial. Energia cinética. Energia que algum alimento dá.	

2. Do que você precisa dispor para empurrar uma mesa?	3. Qual a idéia que você tem de fluidos? Cite alguns fluidos que você conhece.	4. O que você sente ao esfregar a mão, durante algum tempo, sobre uma superfície, por exemplo, de madeira?
Precisaria de uma força igual ou maior que o peso da mesa para poder movimentá-la.	Acho que nunca estudei fluidos mas tenho uma idéia que seja uma coisa líquida por causa dos antigos isqueiros que se botavam fluidos para poder funcionar.	Sinto que há atrito pois a mão ou madeira ou qualquer objeto, ele se esquentar no caso das mãos.
De uma força para realizar esse trabalho.	Material líquido.	Sinto como se estivesse queimando minha mão devido ao atrito entre a madeira e a mão.
Força, energia.		Nossas mãos aquecem.
De uma força propulsora F > Equilíbrio > Fat'	São líquidos que geram força. Fluido estática = sem movimento. Fluido dinâmica = com movimento. Exemplo: água, álcool etc..	Calor, aumento de temperatura.
Precisamos de uma força.	É algo líquido.	Sinto que está esquentando, pois há atrito.
Primeiro a massa precisa estar em inércia, é só efetuar a força.		Devido ao movimento que é exercido sobre a madeira a mão vai aquecendo cada vez mais.
Preciso de força.	É aquele que ocorre como líquido ou qualquer líquido ou gás. Ferro elétrico.	Eu sinto que ela esquenta.

5. Considerando a questão anterior você pensaria em algum tipo de explicação que tivesse ligação com a passagem de algum tipo de fluido? Explique sua opinião sobre esta idéia, explicando os prós e os contras.	6. O que significa para você quando acaba a luz a expressão: "ACABOU A FORÇA"?	7. Você sabe explicar como a água do chuveiro é aquecida?
	Quer dizer que a fonte que estava gerando energia elétrica ou outra força qualquer foi interrompida.	...No chuveiro há uma peça chamada resistência que quando queima o chuveiro não mais aquece a água que passa por ele e também como já diz chuveiro elétrico, por causa da força da eletricidade que pode hoje mover ou fazer funcionar muitas coisas.
	Que a energia elétrica que gera a luminosidade, e desprende o calor teve algum problema.	Quanto maior a energia elétrica, despende uma quantidade maior de calor pelo impacto grande entre as moléculas de água.
	Que não há mais intensidade de corrente passando pelo condutor.	Não.
Sim. Com o calor aumentaria a pressão e velocidade da corrente sangüínea.	Força = eletricidade, portanto Não. Força = não eletricidade.	Através da resistência regulável alimentada por corrente elétrica.
		É necessário primeiramente uma queda de água para fazer as instalações de uma hidrelétrica.
	A expressão acabou a força é um costume, são os movimentos que sobrecarregam e desligam por si próprios.	
O ferro elétrico quando a gente liga ele esquenta, desliga, ele esfria.	Significa que algum defeito na corrente elétrica.	

8. Em que situações diferentes você usa o conceito de força e com que significados? (Você se lembrou do conceito usado na Física?)	9. Em que situações diferentes você usa o conceito de energia e com que significados?	10. Você já observou alguma coisa se mexendo por causa do calor (vapor, ar quente...)? Descreva as situações.
O conceito de força é usado de vários modos, no caso da física na parte dinâmica força é a causa que produz aceleração de um corpo e assim tem muitas e muitas idéias e conceitos de força.	É usado de várias formas como por exemplo quando corro bastante costuma se dizer que está sem energia para fazer mais nada e é também aquilo que é armazenado como o exemplo da pilha ela armazena energia para poder fazer funcionar rádio, gravadores etc..	Por exemplo, um trem a vapor, eles usam madeira para acender uma grande quantidade de calor para que o tram possa se movimentar.
"Força" no sentido de energia, no sentido de poder, no sentido ser forte, no sentido de movimentar algo.	"Energia" quando queremos dizer "vontade de fazer algo", ou no sentido da maneira que uma força é realizada para se fazer um trabalho; firmeza ou vitalidade.	Quando aquecemos a água, por exemplo, o vapor vai se desprendendo, tem umas particulazinhas pequeninas.
Empurrar uma mesa (no sentido de aplicar uma força); ser mais forte do que alguém (no sentido de ter mais força).	Acender uma lâmpada (energia luminosa), aquece-se ao sol (no sentido de obter calor).	Balões de ar quente, balões (de festa junina), trem a vapor, a tampa do bule quando a água entra em estado de evaporação, a válvula de escape de vapor da panela de pressão.
Energia elétrica, humana, corporal.	Energia cinética, potencial, elástica, elétrica, mecânica etc..	Já. Água evaporando na rua depois da chuva, a fogueira queimando e as madeiras caindo.
Quando formos deformar um corpo, empurrar um objeto. A força pode ser de atrito, centrípeta, centrífuga, pode ser força peso, normal.	Quando o corpo está numa mesma elevação armazena energia, ou quando cai possui também energia. Pode ser energia potencial e energia cinética.	Um trem ou um barco a vapor pois o vapor os faz se movimentar.
Em qualquer coisa capaz de deformar um corpo, produzir ou alterar um movimento em muscular ou gravidade.	Quando a energia é usada em trabalho aplica-se a força. As aves usam energia para voar e nadar. Os músculos, movimentando-se consomem energia.	A panela de pressão. Os alimentos são cozidos mais rapidamente na panela de pressão, o aumento de pressão interna aumenta o ponto de ebulição, o líquido ferve numa temperatura maior.

2. Do que você precisa dispor para empurrar uma mesa?	3. Qual a idéia que você tem de um fluido? Cite alguns fluidos que você conhece.	4. O que você sente ao esfregar a mão, durante algum tempo, sobre uma superfície, por exemplo, de madeira?
De uma força.	É um calor desprendido, no caso da chama do fogo, ela desprende um fluido quente.	A mão aquece devido ao calor desprendido entre atrito da mão com a madeira.
Força maior que a massa da mesa.	Fluido de isqueiro líquido que evapora, usado no isqueiro.	Sinto a mão esquentar, havendo um atrito entre as mãos, provocam calor.
De força.	É um gás. Exemplo: fluido de isqueiro.	A temperatura da mão aumenta.
Das mãos.	Quando se desprende calor.	Dor.

5. Considerando a questão anterior, você pensaria em algum tipo de explicação que tivesse ligação com a passagem de algum tipo de fluido? Explique sua opinião sobre esta idéia explicando os prós e os contras.	6. O que significa para você quando acaba a luz a expressão: "ACABOU A FORÇA"?	7. Você sabe explicar como a água do chuveiro elétrico é aquecida?
No caso da mão esfregando uma madeira, não existe um fluido pois não foi desprendido nenhum gás nesta ação. Houve apenas um aquecimento da mão provocado pelo atrito.	Significa que acabou a energia luminosa originada pela energia elétrica. Toda energia possui uma certa "força", talvez seria o motivo do uso da expressão: Acabou a Força.	A energia elétrica é responsável pelo aquecimento da água, esta, então é transformada em energia térmica.
Álcool, quando você esfrega nas mãos, provoca calor.	A luz foi cortada, terminou a força, não há eletricidade para com que possa funcionar aparelhos. Exemplo: televisão, telefone, geladeira, ferro de passar roupa etc..	Através da energia térmica.
	Que a energia elétrica do local acabou. E a energia elétrica não deixa de ser uma força.	Através da energia térmica.
	Errada.	Porque a água passa pelos resistores e também por efeito da energia elétrica. Energia térmica.

8. Em que situações diferentes você usa o conceito de força e com que significados? (Você se lembrou do conceito usado na física?)

Força é uma grandeza vetorial, possue direção, sentido e intensidade.

Aplicamos uma certa força, para levantar algum objeto, ou arrastar, colocá-lo em outro lugar. Exemplo: empurrar um carro, aplicamos uma força. Levantar um peso do chão. Até quando estamos correndo, gastamos energia do nosso corpo.

9. Em que situações diferentes você usa o conceito de energia e com que significados?

A energia é responsável pela capacidade de realizar trabalho. Sem energia fornecida pelos alimentos não se realiza trabalho (no caso do ser humano). A energia pode estar armazenada (potencial.

Energia mecânica (liquidificador), térmica (chuveiro, ferro de passar roupa etc.), solar (sol), luminosa (lâmpada acesa), elétrica (lâmpada apagada) etc..

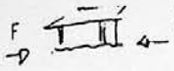
10. Você já observou alguma coisa se mexendo por causa do calor (vapor, ar quente,...)? Descreva as situações

Sim, balão subindo. Ele sobe devido ao gás carbônico desprendido pela chama da tocha, que é menos denso que o ar.

Água em forma de vapor, energia em forma de vapor (desenho de um bule).

O barulho da água fervendo.

A água quando se aquece começa a borbulhar.

2. Do que você precisa dispor para empurrar uma mesa?	3. Qual a idéia que você tem de fluidos? Cite alguns fluidos que você conhece.	4. O que você sente ao esfregar a mão, durante algum tempo, sobre uma superfície, por exemplo, de madeira?
É necessário uma força.	Fluido é um gás que se evapora.	Segundo a lei de Newton (ação e reação) quando apoiamos a mão em uma mesa. Quando esfregamos a mão sentimos a força de atrito.
F  Força de atrito.		
Força.	Substância líquida capaz de se dissolver. Gasolina, gás etc..	Existe um atrito na madeira.
Uma força.	Fluido seria um gás. Há fluido nos isqueiros.	Força de atrito.
Precisaria de uma força.	Fluido seria um gás, fluido que vai em isqueiro.	Sitno uma força de atrito.
Preciso de força, aceleração, ponto de aplicação para a força, espaço, conhecer a força de resistência, pois se esta for maior não poderei empurrar a mesa.	Nome que se dá a alguns líquidos ou gases. Água, ácido, álcool etc..	Sitno que a mão esquenta.
Temos que dispor de uma força, sentido e direção se quisermos dar direção e sentido a essa mesa.		A mão esquenta devido a uma força de atrito na madeira.
De uma força que seja compatível a mesa, sem atrito.	Uma coisa com forma de gás ou líquido. Gás carbônico, oxigênio.	Calor por causa do atrito.
Força suficiente para empurrar a mesa.	De uma evaporação, como o vapor de água.	Sentimos prender a mão, como se estivesse segurando a mão, tudo isso por causa da superfície da mesa, por ela possuir um atrito áspero.
De uma força F maior que a massa da mesa, isto é, uma força maior que o peso P da mesa.	Sitno a presença da força de atrito, que agindo opostamente a força aplicada pela minha mão, liberta um certo calor.	

5. Considerando a questão anterior, você pensaria em algum tipo de explicação que tivesse ligação com a passagem de algum tipo de fluido? Explique sua opinião sobre esta idéia explicando os prós e os contras.	6. O que significa para você quando acaba a luz a expressão: "ACABOU A FORÇA"?	7. Você sabe explicar como a água do chuveiro elétrico é aquecida?
Não vejo nenhuma ligação entre fluido e a força aplicada na madeira.	Quer dizer que cessa a passagem da corrente elétrica. Cessa a condução de corrente elétrica.	Através da resistência, gerando calor (corrente elétrica) aquece a água.
	Significa esgotamento de energia elétrica.	Através da resistência elétrica.
	Significa que a energia existente acabou.	Energia térmica.
	Significa que acabou a energia.	A água fica aquecida com a energia elétrica.
Sim, que o atrito existente entre a mão e a madeira.	Foi desligada a corrente elétrica ou seja, o fornecimento desta energia pára (força mecânica - inativada).	É explicada pela energia elétrica transformada em térmica.
	...significa que acabou a energia, pois toda força que exercemos necessitamos de energia.	Através da energia térmica.
	Porque não está conduzindo corrente elétrica nos fios.	Por causa da resistência, que nela consiste.
	Significa acabou energia elétrica.	É aquecida através do calor da resistência elétrica que aquece a água.
		Por meio da energia térmica.

8. Em que situações diferentes você usa o conceito de força e com que significados? (Você se lembrou do conceito usado na física?)	9. Em que situações diferentes você usa o conceito de energia e com que significados?	10. Você já observou alguma coisa se mexendo por causa do calor (vapor, ar quente...)? Descreva as situações.
Força é uma grandeza vetorial. Força depende da massa e relaciona-se com a aceleração. F=m.a.	Energia é a capacidade de realizar trabalho. Exemplo: empurrando uma mesa gastamos energia.	O movimento da terra. A terra no seu movimento de translação (ao redor do sol). Uma substância líquida submetida a uma temperatura elevada evapora-se.
Quando acaba força em casa; seria a força elétrica ou quando aplicamos qualquer força sobre o objeto seria a força cinética.		Quando a água é fervida, observa-mos a bolha que ocorre.
Quando se empurra um vagão despende-se uma energia, que ao se deslocar encontra uma força contrária.	Ao acender uma lâmpada, ao ligar um chuveiro elétrico a água aquece-se, ao correrm os, isto significa que vamos usar energia térmica, cinética, mecânica.	A água ao ferver.
Por exemplo, quando um corpo exerce uma força sobre um bloco, encontrando uma força contrária, ou seja, uma força de atrito.	Ao ligar uma enceradeira, ao correr, ao acender uma luz, significa que usamos energia térmica, cinética e mecânica.	O vapor da água ao ferver.
Força é todo um trabalho feito considerando-se uma determinada aceleração sobre um corpo com determinada massa.	Energia é capacidade de realizar trabalho. Ex.: energia térmica: chuveiro esquenta a água para torná-la mais quente - igualar o calor do corpo com a água.	Vapor saindo de uma chaleira. Balão de ar quente.
Força é grandeza vetorial, possui intensidade e sentido e direção.	Energia é a capacidade de realizar trabalho e proveniente de diversos fatores, como energia térmicaa, mecânica, elétrica.	Evaporação da água, quando ela é fervida ela passa ao estado líquido para o gasoso.
Quando ligamos alguma coisa elétrica. Energia térmica.	Quando estamos realizando trabalho. Energia potencial.	Sim, a tampa do bule se mexendo por causa do calor (água borbulhando ou balançando).
Usamos força quando é para levantar alguma coisa pesada ou quando formos empurrar alguma coisa, em um determinado sentido.	No sentido quando estamos cansados ou mesmo desanimados é porque precisamos de mais energia e mais alimentos.	Se mexendo não, mas quando está se evaporando algo está desaparecendo aos poucos.
	Em situações de realização de trabalho. Energia é o trabalho exercido por uma força.	

8. Em que situações diferentes você usa o conceito de força e com que significados? (Você se lembrou do conceito usado na física?)	9. Em que situações diferentes você usa o conceito de energia e com que significados?	10. Você já observou alguma coisa se mexendo por causa do calor (vapor, ar quente...)? Descreva as situações.
Força é uma grandeza vetorial. Força depende da massa e relaciona-se com a aceleração. F=m.a.	Energia é a capacidade de realizar trabalho. Exemplo: empurrando uma mesa gastamos energia.	O movimento da terra. A terra no seu movimento de translação (ao redor do sol). Uma substância líquida submetida a uma temperatura elevada evapora-se.
Quando acaba força em casa; seria a força elétrica ou quando aplicamos qualquer força sobre o objeto seria a força cinética.		Quando a água é fervida, observamos a bolha que ocorre.
Quando se empurra um vagão despende-se uma energia, que ao se deslocar encontra uma força contrária.	Ao acender uma lâmpada, ao ligar um chuveiro elétrico a água aquece-se, ao correrm os, isto significa que vamos usar energia térmica, cinética, mecânica.	A água ao ferver.
Por exemplo, quando um corpo exerce uma força sobre um bloco, encontrando uma força contrária, ou seja, uma força de atrito.	Ao ligar uma enceradeira, ao correr, ao acender uma luz, significa que usamos energia térmica, cinética e mecânica.	O vapor da água ao ferver.
Força é todo um trabalho feito considerando-se uma determinada aceleração sobre um corpo com determinada massa.	Energia é capacidade de realizar trabalho. Ex.: energia térmica: chuveiro esquenta a água para torná-la mais quente - igualar o calor do corpo com a água.	Vapor saindo de uma chaleira. Balão de ar quente.
Força é grandeza vetorial, possui intensidade e sentido e direção.	Energia é a capacidade de realizar trabalho e proveniente de diversos fatores, como energia térmicaa, mecânica, elétrica.	Evaporação da água, quando ela é fervida ela passa ao estado líquido para o gasoso.
Quando ligamos alguma coisa elétrica. Energia térmica.	Quando estamos realizando trabalho. Energia potencial.	Sim, a tampa do bule se mexendo por causa do calor (água borbulhando ou balançando).
Usamos força quando é para levantar alguma coisa pesada ou quando formos empurrar alguma coisa, em um determinado sentido.	No sentido quando estamos cansados ou mesmo desanimados é porque precisamos de mais energia e mais alimentos.	Se mexendo não, mas quando está se evaporando algo está desaparecendo aos poucos.
	Em situações de realização de trabalho. Energia é o trabalho exercido por uma força.	