# SER SENDO:
# A ENERGIA QUE SE CONSERVA AO SE TRANSFORMAR

## ANÁLISE DE SITUAÇÕES DA EMERGÊNCIA DO CONCEITO DE ENERGIA NA APRENDIZAGEM EM EXPOSIÇÃO CIENTÍFICA E NA HISTÓRIA

**Dissertação de Mestrado**

**MARLY IYO KAMIOJI**

**Área de Ensino de Ciências - Modalidade Física**

**ORIENTAÇÃO: AMÉLIA IMPÉRIO HAMBURGER**

**INSTITUTO DE FÍSICA E FACULDADE DE EDUCAÇÃO DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

**1995**

**RECONHECIMENTO**

À Amélia, cuja presença no trabalho é muito especial, pelo carinho, atenção, calma, paciência, disposição, disponibilidade e confiança. Pela genialidade com que sabe ouvir e ver. Pela energia e entropia com que me orientou na dissertação terapeuticamente.

À Kátya, que me apresentou este caminho, pelas sugestões no memorial

Aos amigos Sérgio, Sônia e Silvânia,

Ao Angelo, pelo apoio no trabalho em vídeo e pela revisão

A Vera Boholmeltz Henriquez e Maria Carolina Nemes (IFUSP)

A Alberto Villani e Ernesto W. Hamburger, pelo apoio institucional,

Aos monitores, professores e alunos visitantes da exposição que participaram desta pesquisa,

Aos meus professores de Marília, anos 1971 a 1977,

Aos professores da Fac. de Educação: Celso Favaretto, M. Tereza Fraga Rocco e Ana M. Pessoa de Carvalho.

Às secretárias Cláudia, Helen, Inês, Eliana, Lia, Iracema, Márcia, Sandraly e Dirce.

Ao Tigrão e Verdy, no apoio aos pepinos dos computadores,

Ao Nelson, pela revisão da parte de estudos históricos,

A todos os membros do grupo e ao pessoal do corredor de "ensino".

À Elvira de Souza Lima, pela participação na gravação da entrevista.

Ao Sr. Geraldo, pelas fotos, e Fernando, por tê-las escaneado,

Este trabalho teve o apoio financeiro da CAPES e CNPQ.

**ÍNDICE**

**ABSTRACT`/ RESUMO**

**INTRODUÇÃO**

**PARTE I**

**SER SENDO I: A FÍSICA ORGANIZA**
**I- EXPOSIÇÃO, ENTREVISTA E FORMAÇÃO DE CONCEITOS**
**I.1-CARACTERÍSTICAS DA EXPOSIÇÃO**
**I.2-A ENTREVISTA**
**I.2.A)-DESCRIÇÃO DE ENTREVISTA COM ALUNOS**
**I.2.A.a-CONTEÚDO COGNITIVO**
**I.2.A.b-CONTEÚDO EPISTEMOLÓGICO**
**1.2.B)-ENTREVISTA PEDAGÓGICA**
**I.3-FORMAÇÃO DE CONCEITOS**
**APÊNDICE: TRANSCRIÇÃO DA ENTREVISTA COM ALUNOS**

**SER SENDO II: OS MONITORES NA EXPOSIÇÃO**
**II.1- CARACTERÍSTICA DA EXPOSIÇÃO: FENÔMENOS FÍSICOS**
**II.2- A VISÃO DE MONITOR SOBRE A CONSTRUÇÃO DOS ALUNOS: IDÉIAS "PIAGETIANAS"**

**PARTE II**

**SER SENDO III: PROPOSTA DE PREPARAÇÃO DO MONITOR**
**III.1- ESTUDOS HISTÓRICOS PARA A FORMAÇÃO DE PROFESSOR/MONITOR**
**III.2- FORMALIZAÇÃO MATEMÁTICA DO CONCEITO DE ENERGIA NA EXPOSIÇÃO**
**III.3. TEORIAS DA APRENDIZAGEM - ALGUNS COMENTÁRIOS**

**SER SENDO IV: COMPILAÇÃO DE ESTUDOS HISTÓRICOS E EPISTEMOLÓGICOS SOBRE O CONCEITO DE ENERGIA**

**SER SENDO V: TRABALHO SÔBRE "DIÁLOGO" PIAGET x VYGOTSKY**

**CONCLUSÃO FINAL**

**ANEXO**
**I: TÉCNICAS DE FILMAGEM E MÉTODO DE ANÁLISE DE DADOS EM VÍDEO**

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

**SER SENDO**
**ABSTRACT**

We have studied the concept of energy in Physics in the historical and the Teaching-Learning contexts, i.e., from the point of view of its creation, its mathematical and experimental conceptual representation, of its scientific and ordinary meaning constitution.

As a preliminary exercise, we analysed some data about the Physics concepts teaching at the "Waves, Fields and Particles" Science Exhibition Center located at that time, in the Engineering Building of the University of São Paulo. The content of the Exhibition was regular demonstrations of phenomena delineated by classical theories of Mechanics, Eletromagnetism, Thermodynamics and some topics in Modern Physics.

An interpretation of the exhibition could be in terms of the concept of energy and its transformations, as was shown by an interview with four visiting students described here. During this interview set, which we named pedagogical, these students constructed the concept of energy. This interview is analysed in terms of phenomenological and epistemological implications in the exhibition.

A monitor thinking about teaching and learning has also been situated out of an interview. This monitor considers the pupil's previous subject matter knowledge as a requirement for teaching. By means of the ZDP (zone of proximal development), we are warned by Vygotsky against the extreme pre-requisites, which can limit the learning. We also make use of Vygotsky's concept in the analysis of the interview with students. The interview described in the first part of this work is a ZDP application example. It neither aims evaluation nor just data gathering. It will be developed to be a teaching-learning instrument. We believe this is possible, for it will be an interaction where the ZDP or the pupil's ability to "come to know" is to be considered.

The case study of the emergence of the concept of energy from the interview with pupils is analysed within the framework of dynamic systems given the complex nature of the considered phenomena. The interview was set out in the field of the interactions where information are exchanged between the interviewer and the group and between the peer to peer interaction. The meaning of the concept of energy in Physics was related to the context of the exhibition where the concept was implicitly present.

We came to the conclusion that this science exhibition, where the pedagogical interview can be utilized as a tool for teaching, has a good context for learning, once the students showed to have learned even though the docents hadn't focused the concept of energy directly. Then we commented about the need of a monitor's training, where historical and epistemological studies should be included. This training should also account for the exhibition's detected deficiency in approaching the scientific concepts in their mathematical formulation.

The research for the emergence of learning in the scientific exhibition center and in interviews is developed by proper tools: a video analysis system is devised to search for the most efficient language in the interaction between teacher and pupil, or in any other teaching-learning situations. Our aim is to establish propitious settings for dialogical interactions in the attempt of dealing with the Vygotsky's cognitive "proximal zone of development", which is important when we consider the "process" of learning a complex concept.

As a parallel outcome, we got some familiarity with video recording and analysis as an instrument for both developing and showing the student's acquisition of scientific knowledge of physical concepts.

**SER SENDO**

**RESUMO**

Estudamos o conceito de energia na teoria física a nível histórico e a nível de ensino-aprendizagem, isto é, do ponto de vista de sua criação, representação conceitual, matemática e experimental, na constituição de seu significado na teoria científica e na linguagem comum.

Como um exercício preliminar, analisamos alguns dados sobre o ensino de conceitos de física na exposição científica do IFUSP "Ondas, Campos e Partículas", de 1989 a 1990, e, em 1991, com o nome de "Do Caleidoscópio ao Carrossel", no prédio da Engenharia Mecânica (Escola Politécnica). A exposição apresenta fenômenos das teorias da física nos campos da mecânica, eletricidade e magnetismo, termodinâmica e ótica, fenômenos que implicam ações em escalas macroscópicas e a nível atômico.

Descrevemos uma entrevista de 13 minutos com quatro alunos de 1º grau que visitaram a exposição com monitoramento. Durante a situação da entrevista, que chamamos de pedagógica, esses alunos constróem o conceito de energia. Essa entrevista é analisada em termos dos contextos fenomenológico e epistemológico, contidos na exposição, ainda que os monitores que acompanharam a visita não falassem em energia.

Descrevemos também uma entrevista com um monitor sobre ensino e aprendizagem. Enfocamos o conceito de "conhecimento prévio do aluno como requisito para ensino", e analisamos usando o conceito de zona de desenvolvimento proximal (ZDP) de Vygotsky.

Usamos a moldura de Vygotsky (VY 1896/1934) na análise da entrevista com os alunos, que é um exemplo de como considerar a ZDP. Ela não visa avaliação, e nem apenas coleta de dados. Propomos o desenvolvimento de *entrevistas pedagógicas* para já

se constituir uma situação de ensino-aprendizagem, como uma interação desejável, dialógica, onde a ZDP, isto é, a capacidade do aluno "vir a saber", seja desenvolvida.

A análise da emergência do conceito de energia no caso estudado da entrevista com alunos é feita com a perspectiva de sistemas dinâmicos, dada a natureza complexa dos fenômenos estudados. A História e Filosofia das Teorias Científicas são usadas como ferramenta heurística para identificar correlação na constituição do espaço de significação.

Concluíremos que, se os monitores não enfocavam diretamente o conceito de energia e os alunos aprendiam mesmo assim, é porque a exposição é um bom contexto onde a entrevista pedagógica pode ser utilizada como instrumento de ensino, Por fim, falamos da necessidade de um treinamento para monitores, onde sua formação inclua estudos históricos e epistemológicos e uma preparação para suprir a deficiência que detetamos na exposição, isto é, a de não abordar os conceitos na sua forma matematizada.

A pesquisa das condições para aprendizagem na Exposição Científica e em Entrevista se desenvolve com instrumentos próprios: um sistema de análise em vídeo foi construído para pesquisar a linguagem usada na interação entre professor e aluno. Objetivamos estabelecer condições propícias para interações dialógicas.

Como resultado secundário, foi adquirida certa familiaridade em trabalhar com o vídeo como instrumento para, ao mesmo tempo, mostrar e desenvolver aquisição do conhecimento científico de conceitos de física.

A OBJETIVIDADE

*"Sempre evitei falar de mim*

*Falar-me*

*Quis falar de coisas.*

*Mas na seleção dessas coisas*

*não haverá um falar de mim?"*

João Cabral de Melo Neto

em Agrestes

(in curso "Epistemologia e Física", Império Hamburger, 1994)

**SER SENDO**

**INTRODUÇÃO**

**ESTE TRABALHO: O QUE FOI SENDO, SEU CONTEXTO E SEU PROCESSO**

1. Energia - Conceito fundamental da física

O estudo do conceito de energia se insere na perspectiva de apontar alguns problemas encontrados no ensino de conceitos. Não existe uma definição única, imediata e pronta do que seria *energia* como conceito físico, e isso é uma das dificuldades que os educadores têm ao ensiná-lo. Em geral, ensina-se energia potencial, cinética, ou, em separado, a energia elétrica, o calor, etc. Não existe uma frase que vai dizer claramente o que é energia.

*"Temos que pensar que, em física, o conceito toma significados bem definidos, relativos às teorias. Na mecânica, energia está ligada ao movimento. Assim pensamos na energia do movimento, a energia cinética, que depende da massa e do quadrado da velocidade. Ela assim é um número, e não define uma direção como o conceito de quantidade de movimento ou o conceito de força. Temos que pensar que é a energia que um corpo em movimento carrega. E que sua massa e sua velocidade de movimento vão dar a medida dessa propriedade do corpo. E a que estaria ligada essa propriedade? Que ações do corpo em seu movimento dependem ou se caracterizam pelo fato dele ter, conter, se manisfestar, realizar, tornar visível, tornar efetiva sua energia de movimento? Podemos pensar que ele já tinha, antes de se mover, a potencialidade de desenvolver essa possibilidade, e que, então, essa potencialidade chamariamos de energia também, mas não energia do movimento, cinética, mas energia potencial. Então, na Mecânica, construímos o conceito de energia e de sua conservação, pensando nos fenômenos que caracterizam os movimentos dos corpos cujas propriedades estão contidas nas leis da natureza na forma em que elas aparecem nas teorias. Nessa construção, é necessário*

*distinguir a natureza escalar da energia, da natureza vetorial da quantidade de movimento e da força, que também são conceitos ligados às características do movimento dos corpos. Também temos que construir as ligações com os conceitos de ação e de trabalho. E também temos que compreender o que é uma teoria científica e o que são as suas leis. Daí entendemos que o significa científico é limitado às condições de definição dos fenômenos que dizem respeito a essas teorias, e não a qualquer significado relacionado com a 'palavra'. Energia, em seu significado geral, amplo, na linguagem cotidiana, tem muitos sentidos. Esses são mais vagos e até podem ser adquiridos novos sentidos, conforme um escritor o invente."* (Império Hamburger 1992/1993).

Para aprender o conceito em física, torna-se necessário desenvolver uma linguagem que requer um conjunto complexo de relações teóricas, experimentais, técnicas e conceituais. Várias significações de energia em contextos diversos, por exemplo, emergem em entrevistas com alunos. Esse universo conceitual sobre o conceito de energia em alunos de 1º grau tem sido retratado num quadro sinótico.

Por exemplo, para a pergunta que foi apresentada para alunos da 2ª série do 2º grau de escola estadual, "Em que situações diferentes você usa o conceito de energia, e com que significados?", temos o seguinte quadro sinótico das respostas[1]:

[1]In Império Hamburger. Caderno sobre Ensino de Conceitos II. Outros quadros sinóticos têm sido feitos. Ver por exemplo dissertação de mestrado de Terezinha Higa (1988) e Kátya Margareth Aurani (1986)

- ENERGIA
  - PROPRIEDADE
    - Corpos
      - Altura
      - Queda
    - Força
    - Transformação
  - UTILIDADE
    - Realizar Trabalho
    - Correr
    - Voar
    - Nadar
    - Movimentar
    - Iluminar
    - Esquentar, Acender
    - Gerar Força
  - FORMAS
    - Armazenada (pilha)
    - Física
      - Potencial
      - Cinética
      - Térmica
      - Força
      - Elástica
    - Outros
      - Alimentar
      - Poder
      - Mental
      - Vontade
      - Trabalho
      - Esforco

Os quadros sinóticos foram propostos como metodologia de sala de aula: podem ser usados como ponto de partida, como instrumento de mediação para uma dialogicidade,

uma vez que ele contém as individualidades expressas do pensamento de cada um, ao mesmo tempo em que mostra o conhecimento global da classe. Cada aluno se reconhece e vê a classe. O professor vê a classe como fonte de significados. Cabe ao professor apontar as semelhanças e diferenças entre o conhecimento da ciência contido entre esse conjunto de alunos e o que forma o corpo das teorias que está nos livros didáticos (Império Hamburger 85; Higa e Império Hamburger, SBPC [Resumos]; Higa 88).

Devido à complexidade do conceito de energia, muitos artigos têm tratado da sua abordagem, sugerindo cada qual uma diferente. Kirwan fez uma boa compilação de diferentes estratégias de ensino: derivá-lo do conceito de trabalho, tratar como uma transformação, através da cadeia de transformação, usar o combustível como ponto de partida para o desenvolvimento do conceito de energia, mostrar transferências de energia (tranferência de calor, de energia cinética), usar um conversor de energia ; falar em formas de energia, energia primária, de fontes de energia, e enfatizar a necessidade de apontar a direcionalidade do processo de transformação através do conceito de entropia seriam algumas (Kirwan 1985).

As estratégias procuram quase sempre levar em conta as características difíceis do conceito, como sua onipresença invisível, seu caráter abstrato, "camaleônico" (uma hora se vê o seu efeito, outra não se vê - Carr, Kirkwood 1968), sua universalidade e, ao mesmo tempo, localidade ("na natureza nada se cria ou se destrói" - lei da conservação em termos negativos), sua interdisciplinaridade, que faz reduzir a complexidade do conceito físico (usado na psicologia, na biologia: ciclo respiratório, mitocôndrias, fotossíntese-transformação de energia luminosa em energia química) e etc. É um conceito que reúne um número de fenômenos associados com mudança, ao mesmo tempo em que se conserva, sendo definida por duas palavras opostas: transformação e conservação (daí a dissipação de energia ficar difícil de ser compreendida sem falar em energia livre e entropia). Os fenômenos nos quais a energia aparece diferem pela sua natureza e mecanismo, daí as fórmulas matemáticas descrevendo formas de energia serem

diferentes.. Além disso, é uma quantidade que depende não somente de vários atributos de um objeto ou fenômeno (massa, velocidade), mas também de circunstâncias: energia é uma função de estado, seu valor absoluto é desconhecido (Kirwan, D.F. 1985), apesar de ser um conceito bem generalizado, vale para todo o universo e natureza, mas sua lei de conservação não pode ser provada fora de sistemas isolados. O físico Feynman (1963) chegou a chamar a energia como constante escalar de fato estranho: "não é uma descrição de um mecanismo ou qualquer coisa concreta; é apenas um fato estranho que podemos calcular algum número e, quando acabamos de observar a natureza passar por seus truques e calculamos o número novamente, ele é o mesmo!" (in Brook and Wells 1988).

O conceito surgiu da aliança entre técnica e ciência, no século XIX: através dos estudos de muitos engenheiros preocupados com a questão do calor e trabalho, acabou sendo principal objeto da ciência energética, e culminou como objeto da Termodinâmica, juntamente com seu complemento - a entropia. Hoje em dia, esses dois conceitos continuam próximos dos engenheiros, que os manipulam em suas aplicações, mostrando a importância tecnológica do desenvolvimento da Termodinâmica. Os conceitos de energia e entropia, também devido à tecnologia, estão presentes no cotidiano dos alunos, tendo tomado significados diversos do da física. Os educadores e cientistas têm sentido crescentemente a necessidade de discutir a preservação de fontes de energia livre na sociedade atual para esta e para sociedades futuras.

## 2. Aprendizagem

Eu própria, durante nossa pesquisa, fui me familiarizando com esse conceito e aprendendo um pouco o que seria ensiná-lo. Além do contato com a orientadora e o nosso programa, a exposição, monitores, alunos e professores, os estudos das origens dos conceitos científicos permitem a formação de ligações próprias com a realidade desses conceitos em diversos planos de significação. Cada ligação da informação externa com a estrutura interna é particular e tem uma dimensão criativa. Nessa situação, aumenta a

sensibilidade do pesquisador/professor para a compreensão pré-científica dos conceitos que os estudantes apresentam, dando lugar para discernimento e construção da "zona proximal" de desenvolvimento de Vygotsky, conceito fundamental que usaremos ao longo do trabalho. Como existe essa reciprocidade, vou contar um pouco sobre a história do nosso processo de trabalho.

3. Métodos e Técnicas desta dissertação

Essa dissertação é o resultado de seis anos de estudos, que começaram quando auxiliava, com bolsa de aperfeiçoamento, a Professora Elvira de Souza Lima[2] nas suas pesquisas na área de Psicologia da Aprendizagem (1989). A **câmara de vídeo** era, então, o nosso principal instrumento de pesquisa. Aprendi algumas técnicas de vídeo, que constam do **Anexo** desta dissertação. Filmava muito a exposição de ciências, situada na Escola Politécnica, e o Museu de Arte Contemporânea da USP, para tomarmos dados para estudos da relação entre Arte e Ciência.

No mesmo ano, em viagem particular, visitei os **museus de Ciências** de Paris (La Villette) e de Londres, e também o "Musée de L'Homme" de Antropologia, em Paris. Dentre os museus de arte, o Louvre, o British Museum, "Madame Tussaud" e o National Gallery. Mais tarde, em 1992 e 1993, visitei também os Museus "Reuben H. Fleet Space Theater and Science Center" e o museu de História Natural de San Diego, o Flandrau Planetarium, em Tucson, e o observatório astronômico em Kitty Peak, já como aluna de pós-graduação em Ensino de Física.

Como voluntária do museu de crianças de Tucson (1992)[3], tive oportunidade de interagir com crianças e adolescentes. O museu tinha um acervo permanente de demonstração sobre Ciências, mas cheguei a preparar algumas experiências mais fáceis de montar, com material acessível, para exercitar uma forma de ilustração conceitual, que é a

[2]A prof. Amélia Império Hamburger também participava das nossas reuniões e pesquisa
[3]Sob a direção de Sara Congdon

apresentação de fenômenos, integrados com diálogo do tipo socrático (Socratic-like dialogue)[4]. Em uma aula piloto para crianças de 8 a 11 anos, tratei sobre o tema de "calor e temperatura". Em seguida, transcrevi a aula[5], que serviria como uma espécie de guia para os monitores-adolescentes do museu.

Quando iniciei o programa de Mestrado (1990), sob a orientação da Professora Amélia Império Hamburger, demos continuidade ao trabalho iniciado com Elvira Souza Lima de gravação de entrevistas. Nessas entrevistas, percebemos que a situação no contexto da exposição era muito propícia para interações de ensino-aprendizagem. E, como não queríamos apenas diagnosticar o que os alunos pensavam, e sim investigar, propusemos **Entrevistas Pedagógicas** como uma linha de pesquisa, de desenvolvimento de técnicas de interação, diferentes das Entrevistas Clínicas de Piaget. Uma entrevista de diagnóstico, que revelasse somente a lógica do aprendiz, não parecia adequada para uma intenção de ensino imediato. Aliás, muitas aplicações dos resultados das pesquisas de Piaget têm sido usadas para concluir o que não se podia ensinar para o aluno: o aluno que se encontrasse no estágio concreto, por exemplo, não poderia aprender conceitos abstratos, que só poderiam ser ensinados quando estivesse no estágio formal. Os nossos dados da entrevista que descrevemos na primeira parte desta dissertação contrariam essa interpretação: os alunos que seriam normalmente classificados como tendo pensamento concreto, por serem do 1º grau, mostram poder aprender o conceito de energia, que é abstrato.

Para que a entrevista revelasse mais a lógica do aprender do que a do aprendiz, recorremos ao conceito de **zona de desenvolvimento proximal de Vygotsky**. Para entendermos esse conceito, contrapomos as idéias de Vygotsky com as de Piaget através

---

[4]Esse tipo de diálogo tem semelhanças com as entrevistas pedagógicas. Pressupõe a existência de componentes simétricas e assimétricas da interação dialógica e permite a condução por parte de quem ensina. Apesar de ser mais determinada que espontânea, ambas as componentes estão presentes, o que permitiu exercitar o exercício do diálogo.

[5] Essa aula não será incluída nesta dissertação, apesar de ter sido um exercício do exercício de interação com alunos

de um suposto debate[6]. Aplicamos esses estudos sobre as teorias de aprendizagem (**Ser Sendo V**) na análise das entrevistas.

A entrevista descrita na primeira parte deste trabalho é uma situação de interação mediatizada pelo conceito de energia na exposição. Como este conceito teórico foi construído social e historicamente, ele não pode ser aprendido sozinho, mas precisa ser ensinado, para que tenha a conotação da linguagem e da lógica da teoria científica. A 'interação' tem, então, esse significado específico. Mesmo a interação do aluno consigo mesmo pressupõe uma dimensão social e histórica, pois este, quando pensa sobre o conceito de energia, pensa numa construção humana; ele interagiu antes com os livros, com produtos tecnológicos contendo aplicações do conceito, ou já ouviu de outras pessoas ou através da mídia, que propaga, na maioria das vezes, apenas um significado cotidiano, diferente do significado que possui em física (O'Loughlin 1992).

É importante enfatizar o **contexto das interações**, pois, do nosso ponto de vista, o aprendizado não é um processo mentalístico e individualístico (do sujeito isolado), como apresentado em algumas formas de pedagogia fundadas no construtivismo Piagetiano (O'Loughlin, 1992). O'Loughlin, por exemplo, apresenta algumas abordagens construtivistas, como a de Fosnot, onde o aprendiz deve ser ativo, pois deve construir a experiência do mundo objetivo através de uma estrutura lógica. O'Loughlin cita Donaldson (1978), que também aceita, em geral, a estrutura piagetiana, descontextualizando o processo de raciocínio. De acordo com O'Loughlin, ambos os citados reduzem o papel do professor no diálogo com o aluno ao de inquiridores para fazer o aluno pensar. Neste tipo de diálogo não há negociação de significado.

O contexto tratado aqui, a **exposição**, contém painéis escritos e experimentos de física montados, demonstrando vários processos de conversão de uma forma de energia

[6]Começamos com o estudo do texto de J. Piaget "Comentários sobre as observações críticas de Vygotsky" que apresentei em seminário no curso "Linguagem Oral e Escrita- Elementos para uma tipologia"de Maria Tereza Fraga Rocco em 1991. As críticas de Vygotsky podem ser encontrados no seu "Pensamento e Linguagem", 1989, Editora Martins Fontes.

em outra. **Estudos históricos e epistemológicos** (contidos na compilação em **Ser Sendo IV**) esclarecem que os processos de conversão, disponíveis aos pioneiros descobridores-inventores[7] do princípio de conservação de energia, na época do seu estabelecimento, foi elemento importante para a compreensão de parte essencial do conceito de energia, no seu novo significado. Todo elemento que fez parte integrante de um estágio histórico na compreensão pelos cientistas de um conceito também poderá contribuir nas etapas do aprendizado de um aluno comum.

A respeito disso, estudos indicam que muitos alunos que se expõem ao conhecimento de física pela primeira vez usam um método de conhecimento mais descritivo, uma lógica simples de discernir diferenças de procedimento sem atinar com regularidades não facilmente aparentes. Isso leva a considerá-los aristotélicos. Uma exposição científica leva a enfatizar os princípios comuns a vários fenômenos. Isso não quer dizer, contudo, que os alunos tenham que passar primeiro por todos os séculos anteriores ao surgimento de um conceito para aprendê-lo. Os conceitos científicos em épocas posteriores à sua origem se disseminam na sociedade por meio de suas aplicações tecnológicas e, assim, os estudantes já se familiarizam com seu uso (Império Hamburger 1985), como podemos observar também pelos dados.

Interpretamos os nossos dados sobre a aprendizagem do conceito de energia na entrevista como um fenômeno complexo, isto é, uma sequência de correlações provindas de causas múltiplas que atuam cada uma de acordo com seus princípios de ação - podem ser combinadas ou desencontradas. A entrevista foi escolhida para análise depois de se perceber que os estudantes enunciavam de formas "inesperadas" compreensão tanto epistemológicas - o que é o conhecimento científico - como cognitivas - o que é energia no contexto da teoria física. É "inesperada" no sentido de que, para quem está analisando, a entrevista contém características do grupo e daquele momento. Não é óbvio, à primeira vista, que esta entrevista contém um significado que pode ser aproveitado: análises

[7]A. Império Hamburger usa a palavra 'descobridores-inventores'-SBPC 1989 (RJ)

tradicionais, em geral, considerariam que eles aprenderam somente se encontrassem características previstas e procuradas pré-determinadamente, isto é, se os alunos repetissem a lógica do professor ou monitor como se fosse a única. Ao mesmo tempo em que a entrevista deixa margem e aproveita coisas inesperadas e não pré-determinadas, ela é uma entrevista que conduz para uma definição. Mas a definição deve ter características dos sujeitos entrevistados. A primeira impressão da entrevista poderia ser de que a situação se desenvolveu de forma espontânea e não tinha coisa preparada. A "tradição" diz que só coisas preparadas, e não coisas espontâneas, vão dar resultados. Essa entrevista analisada não foi preparada, mas podemos dizer que ela não é apenas espontânea[8], pois a entrevistadora é "preparada" em relação a pesquisas e trabalhos anteriores, desde 1982,[9] na relação dos alunos com o conceito de energia. Essa questão mostra que o professor/entrevistador tem que ter disponibilidade. A análise da entrevista com os alunos mostra que o professor/monitor/entrevistador pedagógico tem que aprender a ter disponibilidade também para olhar e ver que os alunos aprenderam. Eu também, durante a análise, aprendi a ver a entrevista, pois a interação com a entrevista foi um trabalho meu de percepção. Procuramos estar atentas a outras formas de lógicas, isto é, não somente aquela que o aluno segue pensando o jeito de pensar do entrevistador ou professor/monitor.

Em **Ser Sendo II,** apresentamos alguns resultados de análise de entrevista com um monitor da Exposição de Ciências "Do Caleidoscópio ao Carrossel", na tentativa de analisar processos e linguagem envolvidos para educar num museu. Estes incluem não

---

[8]Uma análise semelhante foi feita de dados experimentais de Maria Isabel Pedrosa (caso de psicologia). Mostra situação do movimento browniano como metáfora, como valor heurístico, incentivador da imaginação. Analogia com o movimento browniano tem um valor de pensar coisas e precisar categorias de pensamento e fazer correlações que são feitos no movimento browniano. A espontaneidade é uma caracterísitca, uma palavra que o Jean Perrin classifica ou descreve o movimento browniano: cada manifestação, cada mudança de direção, das partículas no movimento browniano se dá sem determinação prévia, é como se fosse uma escolha do momento, com outras determinações que não entram em consideração e por isso que é de natureza probabilística e não uma propriedade. (Ref: Pedrosa, Carvalho e Império Hamburger-1995)

[9]Na época da entrevista (1989) tinha elaborado o trabalho dos painéis de Termodinâmica conjuntamente com Kátya Margareth Aurani e outras alunas. Ref: SNEF 1989 RJ

somente os comportamentos dos monitores que podem ser observados na exposição, mas também o planejamento, pensamento e tomadas de decisão que ocorrem durante e depois da interação com os alunos.

Como o ensino é um empreendimento complexo, assim como sua relação com a aprendizagem, muitos educadores têm visões diferentes do que acham ser uma boa aula, e sobre o que os alunos pensam. O professor sempre leva uma concepção e crença para a sala de aula (e, se ele sentir necessidade de mudá-las, vai encontrar muitas barreiras que consistem não somente da resistência institucional, mas das suas próprias). A entrevista com o monitor nos conta que ele tem um conhecimento de que o ensino exige do professor não somente o conhecimento da matéria como também um conhecimento do aluno e da instituição com que está lidando. O conhecimento do monitor tem um papel muitas vezes negligenciado no ensino.

O reconhecimento, válido, de que o conhecimento prévio do aprendiz tem um papel no aprendizado, levou muitas vezes o foco no aluno ao extremo e, às vezes, a uma certa obssessão em um ensino centrado no aluno por parte de pesquisadores em educação (Peterson, Fennema, Carpenter, 1991). Muitos ficamos com a idéia de que era difícil demonstrar ou verificar que havia aprendizagem através da observação de aulas do tipo palestras, em que só o professor fala e os alunos aparentemente não esboçam nenhuma reação que garanta que a leitura seja "entendi". Porém, não muito recentemente começou-se a reconhecer que, assim como o conhecimento é central para um aprendizado do aluno na aula, ele é também central ao pensamento do professor e ao ensino, tanto como para um crescimento profissional e desenvolvimento do professor. A nossa hipótese de trabalho é de que o conhecimento do conteúdo da matéria pelo professor interage com as suas suposições e explicita crenças sobre o ensino e aprendizado, sobre os alunos e sobre o contexto, que modela os modos como eles ensinam física aos estudantes. A ênfase não é só sobre o que os professores sabem sobre o assunto, mas também sobre o que eles querem que os alunos saibam, e como eles propõem ensiná-los.

A entrevista com os alunos mostra que o professor/monitor/entrevistador pedagógico tem que aprender a ter disponibilidade para olhar e ver que os alunos aprenderam. A parte da entrevistadora é um instrumento heurístico para aprendizagem para aqueles meninos se organizarem e, portanto, oportuno para monitores que estão em contato com um público bastante variado.

Esses estudos foram essenciais para que a análise da entrevista e a tomada de dados não seguissem apenas regras de lógica simples e se tornassem exercícios estimulantes do pensamento, que realizamos com certa insegurança porque novos, não usuais, mas com prazer. Estudamos paralelamente a origem e evolução do conceito de energia e também, críticamente, as teorias da aprendizagem de conceitos (aproveitamos, inclusive, trabalho de curso sobre debate Piaget x Vygotsky).

O diálogo entre Piaget e Vygotsky seria desencontrado no tempo, pois Vygotsky morreu em 1934 e Piaget respondeu suas críticas somente 50 anos depois. Porém, a contraposição de suas idéias deixou transparecer as diferenças: apesar de ambos serem interacionistas, isto é, considerarem que os fatores internos interagem com os externos, Piaget enfatiza mais os fatores internos, estudando, por exemplo, o desenvolvimento do pensamento da criança de forma completamente independente do processo de aprendizagem. Para Vygotsky, os fatores internos não são puramente internos, mas sim frutos de interação com os externos. Os fatores externos podem ser transformados e estão em constante modificação. Em outras palavras, trata-se de uma visão dialética: a realidade e o homem são inseparáveis.

Piaget e Vygotsky também têm pressupostos diferentes em relação ao papel do outro (em alteridade ao sujeito) na aprendizagem (Oliveira 1994)[10]. O conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP) é o reconhecimento da possibilidade de desenvolvimento num processo em que **o aprendizado deve caminhar à frente**, uma vez que o ensino é baseado numa relação interpessoal. Uma entrevista visando uma atuação na

[10] Comentários na banca de qualificação

ZDP pode servir para organizar o conhecimento em termos de pensamento e linguagem. A entrevista clínica da pesquisa psicológica piagetiana procura classificar apenas o nível ou estado psicológico em que a criança se encontra, ou seja, o que ela já atingiu, e não o que ela poderá atingir. Como disse Vygotsky, as entrevistas clínicas apenas fornecem dados para verificar o progresso feito até o momento da entrevista, procurando pesquisar o nível de raciocínio existente. Elas são limitadas para avaliar o desenvolvimento em potência dos alunos. Numa entrevista clínica, o aluno pode entrar e sair dela com o mesmo nível anterior de aprendizado, e não necessariamente sair sabendo mais por tê-la feito, como é o caso esperado da entrevista que explora a ZDP, e que é, portanto, estimulante do ponto de vista pedagógico, tanto para o entrevistado como para o entrevistador, que pode aprender e ensinar. Nas entrevistas pedagógicas, deve-se criar um 'clima interpessoal', uma **'relação partilhada'** (Oliveira, Z.M.R. 1993), o que possibilita atuar para a aprendizagem na ZDP.

A abordagem de Vygotsky traz implicações para nossa pesquisa de levantamento de condições que possibilitem uma interação dialógica: por exemplo, o entrevistador na interação da entrevista pedagógica, ou o monitor/educador em geral, deve levar em conta que o conhecimento é socialmente construído; não podemos falar do ato de conhecer sem considerar a pessoa que, constituída historica e socialmente, engaja-se no processo de conhecer, dentro de um contexto econômico e cultural (O' Loughlin 1992). Vygotsky enfatiza a transformação da realidade pelo homem. O modelo de Piaget, em contraste, apresenta o problema central da epistemologia como vir a conhecer a realidade "como ela é", a fim de se adaptar com sucesso a ela.

Trabalhamos também dentro da moldura filosófica-psicológica do "Pensamento e Ação" de **Henry Wallon,** onde a "afetividade" como uma soma de "**fusão e diferenciação**" e a "**representação**" seriam outros conceitos fundamentais que caracterizariam a situação de interação a ser estabelecida para avaliar a potencialidade de mudança de compreensão de significado (Wallon 1942).

Na **construção do significado**, a linguagem é um dos meios mediadores entre o pensamento da pessoa e a influência do ambiente institucional, social, cultural, histórico. Privilegiar apenas o discurso racional/técnico/científico na interação acaba silenciando os alunos. Se suas falas, situadas socio-culturalmente, são negadas através do controle e a definição de tipos de discursos permissíveis nas interações de ensino, os alunos podem ser levados a não se esforçar por um entendimento genuíno, e dar opiniões que pensam estar de acordo com as expectativas do professor.

**O processo dialógico de construção do significado pensa o vir a saber incluindo a subjetividade da pessoa, pois a zona de desenvolvimento proximal (ZDP) depende da história do indivíduo**.

Organizamos, deste modo, as falas dos alunos sobre o conceito de energia num **quadro sinótico** (pagina 45). Agora, como o aluno não constrói o conhecimento sozinho, não basta apenas trazer a subjetividade do aluno para a interação; o professor pode partir do quadro sinótico para ensinar os conceitos científicos no contexto da ciência e com a linguagem das ciências que foram construídos historicamente e, porisso, precisam ser ensinados. No caso do conceito de energia, a sua evolução histórica mostra que o seu desenvolvimento dentro da teoria física está fortemente ligado com a descoberta da sua lei de conservação, que requereu condições experimentais específicas e quantificações relacionadas com a linguagem matemática. Propomos que a definição matemática do conceito também seja introduzida e enfatizada na exposição de Ciências, uma vez que ela é parte esssencial do conceito científico.

A matematização na exposição é deixada de lado por ser considerada difícil e por se subestimar a capacidade dos alunos de compreender. Na segunda parte deste trabalho (**Ser Sendo III**) tratamos desse assunto: achamos que é sempre bom dar a mais do que limitar, deixando de dar, partindo do pressuposto que é difícil e os alunos não vão entender. Existe sempre a possibilidade de algum aluno que está assistindo a apresentação

entender alguma coisa: a ZDP pode ser atingida e desencadear seu processo de aprendizagem.

Isso vem de encontro à necessidade de auxiliar o monitor: o ensino de ciências é uma atividade complexa, que muitas vezes é reduzido pelo professor ao uso de um livro-texto, como se fosse uma bíblia, e a apresentação de proposições e conceitos que custaram milênios de trabalho de pensamento como se fossem auto-evidentes. Este professor não se apropriou autonomamente e descontextualiza, por exemplo, o conceito de energia em física, que hoje em dia é tão familiar que parece que sempre existiu com o significado científico atualmente disseminado. No entanto, o professor assim age por razões práticas e necessidade imediata, suprindo a falta em sua formação com o material disponível.

Não existindo uma teoria única da educação que dê conta de todas as disciplinas, com todas as suas particularidades, é preciso dar subsídios aos educadores, sejam professores, monitores de museu cognitivo ou estudantes de licenciatura, para que o conhecimento que eles têm que ter para serem bem sucedidos na tarefa de ensinar atinja os múltiplos objetivos: envolve desde o conhecimento da matéria que vão ensinar (o que inclui saber traduzir a linguagem científica para a pedagógica), conhecimento do ambiente (contexto físico e psicológico do aluno, variante emocional de motivação e outros fatores), de gerenciamento de uma classe (dividí-los em grupo, mantê-los atentos, planejar uma aula - sequenciar os passos, preparar bons exemplos, decidir se a atividade é individual ou para casa, decidir se a aula vai ser teórica, prática ou de campo, ou de revisão e reforço, etc.), até o conhecimento dos alunos (o que implica saber como eles aprendem, prever suas dificuldades, etc.).

Estudamos a construção histórica do conceito de energia para subsidiar o professor e monitor porque pensar a origem de um conceito científico é perceber a ciência como atividade humana. Isso pressupõe entender o pensamento científico em oposição ao não científico, e estabelecer uma ligação da ciência com a realidade de quem a estuda. Verifica-se uma mudança positiva nas atitudes dos professores e alunos que consideram a

origem de um conceito na história, devido à melhor compreensão do conceito, visto também que as concepções anteriores dos alunos abrangem o conhecimento anterior do científico.

Desenvolvemos um método de análise que também considera o contexto e toda a conjunção envolvida, não dicotomizando entre dados e pesquisador. O pesquisador é quem escolhe os dados. A própria análise é uma interpretação do observador, que acaba atribuindo significados e fazendo seu recorte, como na Mecânica Quântica, onde a medida é o resultado da interação do observador e do objeto a ser medido[11]. Tampouco há um distanciamento entre objeto e pesquisador, isto é, não tememos, ao incluir a subjetividade, perder a objetividade.

O nosso título "Sendo Ser / Ser Sendo" precisa de uma explicação, pois é uma síntese da nossa forma de compreender a dinâmica da aprendizagem ligada às interações e ao contexto. Todos os sujeitos ficam incluídos no processo: não isolamos o objeto da interação que depende da nossa ação. Ao agir, pensamos sobre as nossas ações ao mesmo tempo. O sujeito é o "ser" que fica "sendo" na interação com outros sujeitos e com o objeto simultâneo ao contexto. Falamos do sujeito que aprende, mas também falamos do sujeito na história.

A primeira lei da Termodinâmica foi formulada por vários sujeitos que, se não interagiram diretamente, fizeram coletivamente o conceito de energia emergir. Retropesctivamente, dizemos que a "descoberta" foi simultânea, pois o produto ou novo significado só é reconhecido quando sua expressão mais madura se explicita (Pedrosa et al 1995; Kuhn 1962). "Quando um produto surge, ou melhor, quando é reconhecido, ele não parece "novo", mas parece já contido no processo" (Pedrosa et al 1995, Escher). Os estudos do processo de construção do conceito de energia na teoria da física, nos contextos originais e na sua evolução histórica, mostra que esse adquiriru sentido ao se

[11]O princípio da incerteza diz que não é possível medir a posição de uma partícula sem afetar sua velocidade e vice-versa.

perceberem as possibilidades de transformação. Nos painéis da Exposição e nos cursos de Extensão e Divulgação que têm sido oferecidos, os conceitos de entropia e energia são considerados indissociáveis nos enunciados das 1a e 2a leis da Termodinâmica. Daí o conceito de energia ficou "sendo" na sua transformação. O seu "ser", o conservar, só emergiu e foi possível reconhecer quando se transformou no mesmo "ser" de forma diferente.

Tratamos o conhecimento científico como expressão complexa de uma linguagem, de símbolos, gestos, relações de uma estrutura dinâmica e lógica de significados, e seu processo de criação através da percepção de novos fenômenos e novas sínteses. Aprofundaremos, a fim de desenvolver as entrevistas pedagógicas, a questão das representações na linguagem científica correlacionando com a variedade de significado no uso cotidiano atual (Heller, A. 1970).

Estamos procurando as palavras adequadas que representem a dinâmica do desenvolvimento, da aprendizagem e do conhecimento. Propomos buscar nova linguagem que expresse bem o movimento do "ser sendo", para o professor dispor de palavras apropriadas que farão emergir o conceito de energia no aluno até a superação para a formulação científica.

## 4. Sobre a estrutura organizacional da dissertação

Dividimos o trabalho em duas partes: a Parte I trata da análise de dados de campo, e a Parte II contém estudos para subsidiar os monitores (ou professores). As partes foram separadas, mas, como formam um todo do trabalho, elas se juntam novamente na idéia de complexidade que procura passar: o processo da construção do conceito de energia, tanto na história como na sala de aula.

A Parte I é constituída de dois capítulos: Ser Sendo I trata da análise de dados com alunos, através da entrevista pedagógica feita na Exposição Científica que queremos

avaliar; Ser Sendo II apresenta dados tirados de entrevista de diagnóstico com um monitor.

Dessas análises, detetamos uma certa organização interna do conhecimento por parte dos alunos, no sentido epistemológico e um conhecimento pedagógico de senso comum por parte dos monitores. Concluímos daí a possibilidade de aprendizado dos alunos numa exposição científica, no nível da formulação científica dos conceitos, principalmente se fosse promovida uma interação maior dos monitores com teorias pedagógicas e subsídios históricos e epistemológicos.

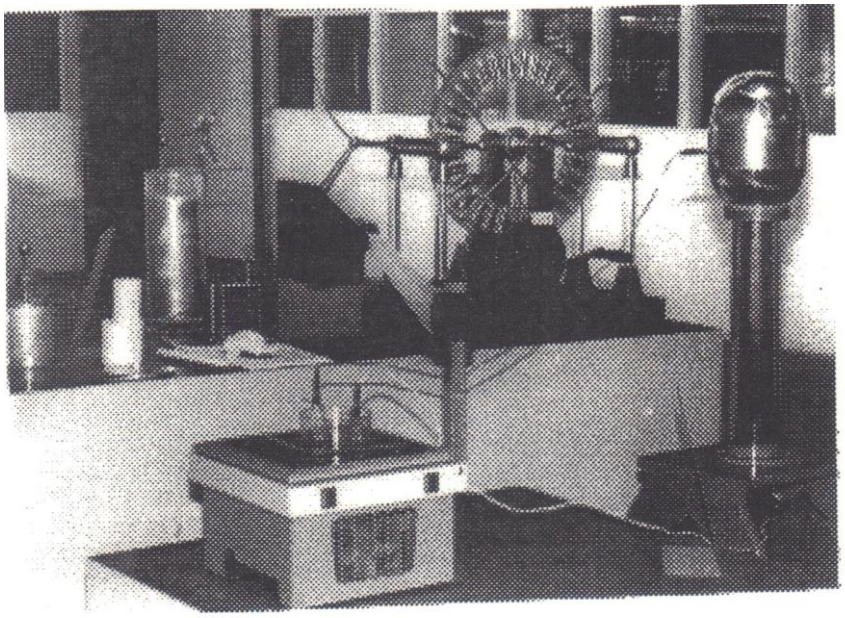
A Parte II trata, então, da formação dos monitores. Em Ser Sendo III, apresentamos sugestões para completar a apresentação do conceito de energia, incluindo sua forma matematizada. Em Ser Sendo IV, incluímos uma compilação de estudos das origens do conceito de energia e da emergência da Lei de sua conservação. Em Ser Sendo V, discutimos algumas questões sobre teorias de aprendizagem e desenvolvimento, onde destacamos alguns conceitos de Vygotsky e Piaget.

## PARTE I
## SER SENDO I

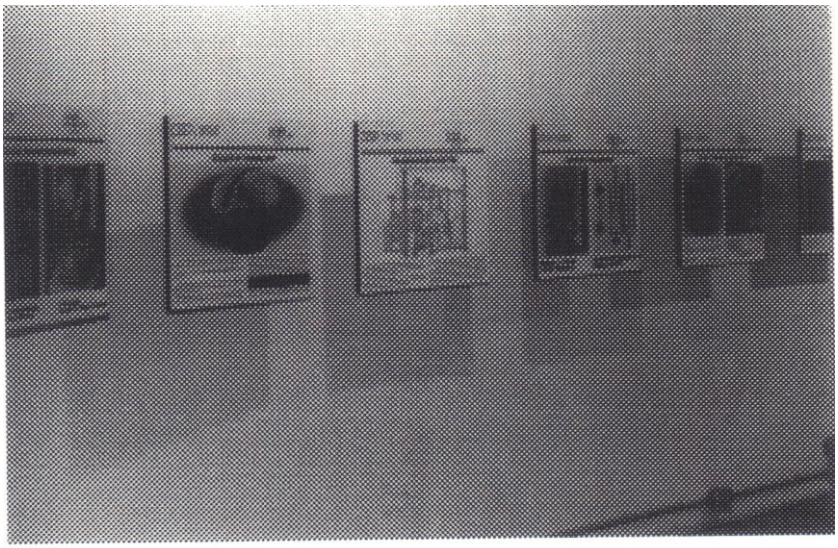
# "A FÍSICA ORGANIZA"

Fotos da exposição[12]

[12] Ver também imagens em vídeo. Ref.n.72. Ver fita na videoteca do IFUSP n.337.



EVOLUÇÃO DO SOL



USP / INSTITUTO DE FÍSICA

CIÊNCIA EDUCAÇÃO

O CAMINHO DO FOGO

*"Coisas que quem estuda, que passa uma relação com outro, vai, junta as coisas, junta uma coisa com a outra e vê que forma energia" (aluno de I grau da Escola Vicente Leporace)*

A resposta acima à pergunta: -*O que é energia para voces nessa exposição?* e -*Energia está ligada a quê?*, contém um rico conteúdo epistemológico. Considerando que ela foi dada por um jovem de apenas 14 anos, ela nos inspirou a analisar o papel da entrevista e o seu contexto, a exposição, na formação do conceito.

## I)- A EXPOSIÇÃO, A ENTREVISTA E A FORMAÇÃO DE CONCEITOS

Os atos de ensinar contidos na exposição e na entrevista "passam" ao aluno além de um conteúdo cognitivo, um conteúdo epistemológico.

Na exposição, preparada com coerência cognitiva, está presente a idéia de que o "conhecimento científico não é absoluto, i.e., não é identico à realidade física em geral, mas se refere a recortes bem delineados em sua forma de definir e contextualizar fenomenologicamente" (Império Hamburger 1993)

A história e a apresentação dos fenômenos em experiências de demonstração são formas de ilustração conceitual que devem estimular as questões já encaminhadas para respostas significativas. Na interação dos alunos com o conhecimento dos monitores no contexto da exposição, e vice-versa, pretende-se através da ação didática <u>transformar</u> o conhecimento cotidiano desses alunos, que está contido na teoria científica, em construção de conceitos científicos.

Através de gestos, ações, palavras como unidade de pensamento e os aparelhos da Exposição, que contém ações de construção não só técnica, o aluno vai poder superar uma visão fragmentada e chegar a uma certa compreensão do conhecimento construído e formalizado em uma evolução histórica. (Leroy-Gourhan (s/d); Fleshner 1970)

A ênfase será dada na situação de interação, de alunos com os fenômenos e de alunos com as maneiras de pensar dos monitores e através de sua ligação particular, que revelem nesse contexto particular, uma postura contida nas teorias científicas. O diálogo é importante no processo de organização dos conteúdos e de ligação do pensamento com a realidade, que é exterior e interior (Vygotsky 1989; Bakhtin s/d). O visitante vai organizar o conteúdo aprendido fazendo uma ligação própria de acordo com sua história, com a ajuda de interações que considerem sua zona de desenvolvimento potencial. As interações mediadas pelo conceito podem ser aluno-aparelho, aluno-monitor, aluno-entrevistador, aluno-aluno e aluno-professor.

Analisaremos uma Entrevista Pedagógica com alunos que visitaram a Exposição em termos da organização de conteúdo após as demonstrações e durante a própria entrevista, o que inclui análise crítica sobre as perguntas feitas nela em função dessa organização do entrevistado.

## I.1.CARACTERÍTICAS DA EXPOSIÇÃO

A exposição como delimitadora do contexto para o ensino do conceito de energia mostra-se ter sido preparada com coêrencia cognitiva. Isto quer dizer que tanto a forma didática que ela é organizada através da escolha, projeto, construção e distribuição de montagens[13] experimentais nas bancadas de demonstração (Eletricidade, Magnetismo, Óptica, Termodinâmica, Mecânica) e de painéis, como a atuação dos monitores se relacionam no seu conjunto.

As experiências foram cuidadosamente escolhidas, considerando a evolução histórica do conceito: são construções das diferentes formas de energia transformando-se umas nas outras, que vão até a bancada de Termodinâmica (organização espacial). Ao redor desta os painéis mostram a idéia de evolução (Terra, Vida, Sol, Estrelas e Universo)

[13]Montagens- Laboratório de Demonstração- IFUSP- ref. E.W.Hamburger. Disposição na Exposição- Haron Cohen (Arquiteto) discutindo com o grupo (A.Império Hamburger e E.W.Hamburger)

A disposição é coerente com uma visão da demonstração da "Energia e suas Transformações e a Evolução de Sistemas Físicos e Biológicos". É interessante notar que a Exposição originária foi a grande mostra no Museu de Tecnologia 1987 (E.W.Hamburger) cujo tema era a Energia. A exposição deixa transparecer que seus organizadores tem uma forte ligação com o conhecimento das teorias físicas.

Nesse espaço informal de aprendizagem, isto é, fora da sala de aula, entram elementos de evolução do conceito de energia, onde o aluno pode interagir com os fenômenos apresentados e com os monitores. É portanto um espaço de interação que contextualiza a Zona de Desenvolvimento Proximal, e que vai favorecer o processo de construção do conceito de energia de cada aluno, conforme a história anterior da interação desse aluno com o conceito e com outros conceitos em práticas cotidianas.

Quanto à apresentação da exposição, ela segue uma metodologia, onde a visita dos alunos é marcada com antecedência pela escola interessada e um professor da escola sempre acompanha os alunos, sendo este não necessáriamente o professor de ciências. Uma vez que a apresentação é guiada por monitores que falam o tempo todo, achamos importante a análise da postura e da linguagem pelo monitor. Para fazer isso (Ser SendoII), escolhemos, entre vários monitores, um, considerado “bom” do ponto de vista da interação com alunos e do conhecimento de Física, pessoa comunicativa e interessada.

## I .2.A ENTREVISTA

Queremos "olhar e ver" a entrevista, utiliz*ando* um método de análise que permite criar formas de perceber em cima do diálogo. Sem redução a um ponto de vista lógico-causal, devemos incluir correlações de significado sugeridas pelo estudo da origem e da evolução dos conceitos, do estudo crítico das teorias da aprendizagem de conceitos e da

visão de atuação do professor num sistema dinâmico de interações construtivas, i.e., que vão constituir significados mutuamente reconhecidos.

Vamos criar significados a partir dos dados, interpret*ando*- os, como produto de várias possibilidades de interação. Interpretamos também que esse "espaço de informação ou, espaço de significação, compreende a zona de desenvolvimento proximal (ZDP) de Vygotsky. Fazemos a metáfora de que isso significaria possibilitar perceber ("ver") as possibilidades contidas nas faces de um dado. No sentido de Wallon, é incluída a afetividade, a emoção, na fusão (componente direta da interação com o outro) e na diferenciação (componente mediatizada pela objetividade).

A ZDP implica considerar o processo e não apenas o produto acabado: a ZDP como potencialidade pretende dizer algo sobre o presente e intervir no conhecimento futuro do entrevistado. Mas como medida desta potencialidade só pode ser feita depois de realizada, portanto depois da intervenção. Tem assim um sentido mesmo de probabilidade. Ela é um "vir a saber" ("coming to know", O'Loughlin, 1992). Nas nossas entrevistas pedagógicas, a interação entrevistador-entrevistado, pretende estar "sendo" uma ZDP, organiz*ando* o sistema cognitivo tanto do entrevistado como do entrevistador, de modo que "eles saiam sab*endo* novos significados, t*endo* feito novas correlações".

## I.2.A) DESCRIÇÃO DE ENTREVISTA [14] com alunos da Escola Vicente Leporace : ANÁLISE DE RESPOSTAS E PERGUNTAS

Analisamos os dados em vídeo sobre a interação da entrevistadora de quatro pessoas de 14 anos. Um dos dados interessantes de olhar também v*endo* é que existe uma interação fortíssima entre eles, nas falas, nos gestos, nas posturas..., momentos de

[14]gravação: 19 de setembro de l989 por Elvira de Souza Lima
entrevistadora: Amélia Império Hamburger (E)
entrevistados: alunos (A1), (A2),(A3) e (A4); A=aluno não identificado:A1,A2,A3 ou A4

desorganização<=>organização, que fazem parte de todo processo de conhecimento e criação. A primeira pergunta que a entrevistadora fará delimitará um caminho que abrirá espaço para um segundo nível (fase) de organização. Assim como vimos através dos estudos históricos em anexo, que as teorias físicas evoluíram ao terem seus objetos mais explicitados e delimitados, poderemos observar em qualquer processo de aprendizagem, dois instantes: o de abrir e de fechar, que servirão de calibração para uma análise de dados, em que detectamos alguns momentos, aos quais acabamos "atribu*indo* significados" (Pedrosa, Carvalho e Império Hamburger 1995).

1º_MOMENTO - MOVIMENTO AGITADO E ESPONTÂNEO (1MIN E 9 SEG):

Abrindo:

Os quatro alunos entrevistados (A1, A2, A3 e A4) sentam-se em frente à entrevistadora um tanto agitados, faz*endo* gestos de expectativa e d*ando* risadas. Olham para a câmara como que se preocupa*ndo* com a sua presença, olham e se agitam em relação à presença mais ao longe, de um ou outro de seus colegas. O silêncio inicial da entrevistadora permite deixá-los a vontade, livres: esse momento caótico torna-se importante para um primeiro tempo de auto-organização, isto é, a preparação para a situação da entrevista. A situação um pouco desordenada vai se configur*ando* numa tendência de enrijecimento, de ordenação, de estruturação, a partir da escolha dos assentos- vai se constitu*indo* para uma postura tensa, atenta, de preparação para ouvir e responder as perguntas. A agitação anterior s*endo* preparatória para que eles próprios **se ponham à espera**. Eles, ao final desse momento, reconhecem uma situação, recort*ando,* no silêncio da entrevistadora, uma atitude de espera. Eles vão se aquient*ando* na expectativa do que vai acontecer. Eles vêem que enquanto eles estão se mex*endo* nada vai acontecer, então eles vão diminu*indo*, até ficarem mais alertas, fech*ando* o primeiro momento.

A entrevistadora (E) dá então um "booting" para definir os tipos de interação a serem desenvolvidos:

*E: A gente vai entrevistar vocês para ficar sabendo como está sendo esta comunicação das pessoas que fizeram a exposição e tem uma intenção mostrando essa coisa. Como que vocês que vêem a exposição, reagem ao que está sendo mostrado. Então vou fazer umas perguntinhas assim, vocês respondem o que vier na cabeça, tá?*

2º MOMENTO - OS ALUNOS COMEÇAM A SE ORGANIZAR CONJUNTAMENTE: CRIAÇÃO DE SIGNIFICADO INTERSUBJETIVO (17 seg)

Os alunos se manifestam, $A_1$ e $A_3$ fazem gestos desordenados apont*ando* entre si e balbuci*ando* palavras: “as respostas gente”..., “fala o que vem direto da cachola”..., conclam*ando* a pensar sobre a pergunta conjuntamente. A frase 'o que vier na cabeça' vai deix*ando* os alunos soltos para não se sentirem tensos de que tenham que usar a linguagem formal de escola, ou fazer testes no padrão a que estão acostumados. Traduz*indo* até "cabeça" por "cachola", eles demonstram estar tenta*ndo* entender a pergunta, fal*ando* sobre ela.

Esse momento se delimita pela primeira pergunta da entrevistadora que interfere: *"Que tipo de coisa vocês viram aqui na exposição?"*. Essa pergunta bem geral, já vai delimita*ndo* um contexto, a fim de fornecer uma objetividade, uma mediação que deverá orientar a atribuição compartilhada de significado.

Vão-se explicita*ndo* as interações ocorr*endo* nesse espaço intersubjetivo.

A palavra 'coisa' é colocada torn*ando* a pergunta aberta para uma dialogicidade. Ela é vaga, usada no lugar de um jargão, que viria carregado com “autoridade” do saber científico: Cada significado de palavra está ligado com o ambiente histórico, cultural e institucional. A linguagem que o entrevistador/educador usa passa mensagens

epistemológicas para os alunos sobre suas capacidades de construir significados e suas percepções da atuação social e pessoal (O' Loughlin 1992).

Também a palavra 'coisa' acabou transmit*indo* a mensagem de que outras formas de discurso, além das formais, serão permitidas. (Aceitar) todas as formas de discurso que os alunos trazem (implica) reconhecer que a habilidade deles de 'vir a saber[15] e 'reagir' por eles mesmos é importante. Contudo, a habilidade ( possibilidade) de 'vir a saber' deverá ser fortalecida por outros momentos da entrevista.

Os alunos se apresentam interagi*ndo* fortemente, sobre quem começa a responder primeiro, um solicit*ando* ao outro para iniciar. A1 diz para A3 começar, e este diz ao outro que ele pode responder. A1 usa*ndo* a palavra da entrevistadora demanda: "*Que tipo de coisa, pessoal, vamos responder*". A palavra 'coisa' permit*indo* que os alunos mesmos é que definam o recorte.

A introdução est*ando* um pouco desorganizada, eles próprios tem que se organizarem do jeito deles para eles entenderem como eles vão se colocar e decidir através de ação realizada.

3º.-MOMENTO DE AQUECIMENTO: AQUEC*ENDO*-SE - POLOS DE ORGANIZAÇÃO-(76 seg)

Um novo momento se configura então quando o aluno (A4) responde então "Sobre as estrelas" d*ando* um "empurrão" inicial, e os outros alunos começam a se organizar em torno dessa resposta. A sugestão inicial d*ando* uma direção, ou s*endo* um "polo de organização"[16], pois outro aluno (A1) responde "nós vimos sobre a formação do universo" logo em seguida. Ele aderiu num primeiro momento ao tema de astronomia proposto por A4 que fala em seguida "planetas" e "formação do universo".

---

[15]Interpretamos ZDP também como um 'vir a saber'. Vide ítem 1.2.

[16]"A atribuição compartilhada de significados (a comportamentos expressivos, afetivos, simbólicos etc.) é que estabelece o processo de constituição de um atrator" - Isabel Pedrosa (95) in correspondência para Império Hamburger. Não entraremos em detalhe sobre o conceito de atrator aqui.

A1 parece sair do tema de astronomia quando acrescenta que viu "eletricidade", mas ele apenas lembra um outro aspecto da exposição. Podemos dizer que ele realiza uma "correlação" e não uma "dispersão" do tema, pois tanto “eletricidade” como temas de astrofísica são “coisas” que ele viu na exposição. Porém A4 at*endo*-se ao seu tema diz "se o sol fosse acabar" e (engatilha) uma resposta imediata de A1: "não, ele não vai acabar" .

Uma idéia acaba então desencadei*ando* outras cooperativamente. A1 que havia discordado acaba concord*ando* com A4 após este dizer "eu sei, mas na teoria, assim praticamente"

Esses alunos são seres humanos (est*ando*/s*endo* humanos como no Inglês) que se individualizam como tal ao reconhecer o outro. Estão v*endo* o outro, tanto afetiva como na formulação conceitual. A pessoa A4 por exemplo sempre retom*ando* ao assunto de astronomia, mostr*ando* uma boa noção de tempo, quando fala que o sol vai acabar na teoria. Ele insiste mais uma vez nessa parte quando diz*endo: "o tamanho das galáxias"*, após outros alunos citar "ímãs" e "formas de energia".

Vemos esses alunos, como est*ando* no mesmo momento, o de falar sobre as coisas que estão lembr*ando* de ter visto na exposição. Suas ações não s*endo* necessariamente coerentes no sentido de levar ao momento final da conceituação de energia.

4º-CONHECIMENTO E AFETIVIDADE: INTERAÇÃO CONSTRUTIVA (COOPERAÇÃO)- 11 segundos

Podemos notar desde o início, que estes alunos exercem a afetividade no sentido de Wallon, pois "vêem" um ao outro, sent*indo* a presença ativa do outro.

Neste momento decisivo há 1o. o entendimento de diferenciação:

A interação s*endo* feita numa fusão afetiva cham*ando* o outro (e nesse momento). Há ao mesmo tempo a fusão e a diferenciação: (*A1*)*" ô, deixa a Cíntia falar um pouco"*

Quando ele chama o outro pra falar o que o outro pensa, há diferenciação, mostr*ando* que quer ouvir o outro. A moldura de Wallon é nuito rica, você vê as

individualidades se constru*indo*, mas só[17] pode ser indivíduo aquele que pode ver o outro. -nesse momento se constitue.

Por exempo quando a entrevistadora fala que a aluna A2 falou que ela viu energia na exposição, o aluno A1 diz "não, quem falou foi eu".

*$A_1$ :ô, deixa a Cíntia falar um pouco*
*E:Ela já falou que ela viu energia aqui*
*$A_1$ :Não, quem falou foi eu*
*E: Ela já tinha falado*
*$A_1$: Ah, você já tinha falado, olha Cíntia ehn você vê*

Após a entrevistadora esclarecer que Cíntia (A2) já tinha mesmo falado, A1 se dirige à A2 (Cíntia)*: Ah cê já tinha falado,* olha Cíntia *ehn você vê*, mostrando sua afetividade, nesse caso, mesmo que não ouviu quer ouvir.

Momento decisivo: 2o. reconhecimento

Percebe-se a disputa em torno da autoria como elucidativa do processo de troca de significado e de importância do princípio básico de atribuição de significado (Pedrosa 89, Pedrosa et al 95), pois mostra a componente afetiva do conhecimento. Na interação um vê o outro, v*endo* o outro. É um reconhecimento mútuo: reconhec*endo*-se mutuamente.

Estes alunos interag*indo* o tempo todo mostra a afetividade como reconhecimento da presença ativa do outro, dando significado às idéias do outro ainda que em formação, cham*ando* o outro a expressar uma forma de conhecimento.[18] O conhecimento também como mediação da afetividade pertence a cada um e também está num espaço comum .

Esta configuração orientada na afetividade aparece em todos os momentos.

[17]Mas não só- quando ele reconhece a realidade do outro falando, compartilhando do significado = diferenciação
[18]A.Império Hamburger-07/10/94

5º.-RECORT*ANDO*-CONSTRU*INDO* O CONCEITO DE ENERGIA (60 seg):

A próxima pergunta *"Então vocês que falaram de energia, o que que é energia para vocês aqui nessa exposição?"* delimit*ando* mais as possibilidades de respostas, permit*indo* um nível maior de organização de conhecimento[19]. A entrevistadora vai individualiz*ando* pelas respostas e conteúdo reconhec*endo* e inclu*indo* também a menina que falou baixinho e os companheiros não ouviram, us*ando* "vocês".

Respond*endo* em termos de formas de energia (elétrica, magnética):

*A1: Acho que nós vimos foi energia elétrica, né?*
*A4: energia elétrica*
*Cíntia:magnética*
*A:efeito-vapor*
*A1: magnética, campo magnético*

Aproxima*ndo*-se da energia (v*endo* os) através dos fenômenos da exposição e do conjunto das respostas. Parece que Ricardo (A3), ao falarem em formas de energia, faz um percurso retrospectivo no raciocínio. O conceito de energia sendo abstrato se concretiza nas suas aplicações:

*A3: Energia, são coisas normais, coisas que você vê, são tão normal que você nunca imaginaria às vezes que formaria energia*

V*endo* o que você pode fazer com os aparelhos, daí são 'coisas normais', não é uma coisa sobrenatural. Coisas torn*ando*-se parte do comum.

Frase antitética: é normal, mas você não imaginaria que formaria. Isto é não s*endo* normal, se torn*ando* normal.

6º- MOMENTO DE SÍNTESE (40 seg)

Esta próxima "configuração", não foi bem um salto. Parece que ela havia iniciado já quando Ricardo começa a pensar de modo mais generalizante sobre a "normalidade" da

[19]Ela é pedagógica nesse sentido. As perguntas e respostas são de polos de organização.

energia. Com a adesão dos outros companheiros na construção de uma resposta, Ricardo tenta expressar o seu sentimento de que alguma compreensão nova ele estava tendo. Isto é, seus gestos parecem chamar seus companheiros a ajudá-lo a elaborar uma conclusão, de tal forma que todos parecem ansiosos para dizer alguma coisa:

*Ricardo:Energia, são coisas normais (faz pausa como que procurando palavras para explicitar o que estava-se formando internamente), coisas que você vê (faz gestos),*
*A1: juntando esses (voz ansiosa)*
*A4:componentes (fala rapidamente em tom de eureka estalando os dedos)*
*A2; atração da matéria*

Cada um contribui*ndo* às vezes só com uma palavra, mas cri*ando* novos significados cooperativamente. A1 diz *"juntando esses"* e logo em seguida A4 complement*ando "componentes"*, form*ando*/faz*endo* uma frase juntos, que não existia antes.

Às vezes a palavra não é usada na frase diretamente, e acaba não configurando o momento como quando *A2* diz "*atração da matéria"*

Esses alunos gesticulam muito, mas vão diminu*indo* seus movimentos mecânicos. Seguindo Wallon: ao verbalizar diminui o movimento externo. A agitação que no início da entrevista (predominava) estava s*endo* movimento de levantado para sent*ando*, risadinhas, gestos desordenados, pass*ando* a ser falas: ficam fal*ando* sobre o assunto. Mas ainda faz*endo* muito gestos.

A pergunta da entrevistadora "*Então energia para você tá ligada à que?"*, estimul*ando* o aluno a organizar o seu pensamento e a experiência vivida na exposição, sendo importante nesse momento para as coisas que poderão emergir[20]:

*A3: está ligada a coisas materiais sabe, coisas materiais, assim terra, por exemplo, coisas que quem estuda que passa uma relação com outro, vai, junta as coisas, junta uma coisa com a outra e vê que forma energia, energia*

[20]As coisas parecem como querendo ter vontade mesmo, quando a direção do atrator é tomada. Um atrator já se constituiu quando as coisas estão emergindo. Alguns significados já estão persistindo. Atrator aqui está sendo chamado à constituição de significado conceitual que persiste.

Analisa*ndo* a pergunta acima ("*energia está ligada a quê?")* em relação ao próprio conteúdo da exposição, vemos que ela contém a idéia de que a energia não surge do nada, que ela vem de uma relação com outro, ou seja na interação com o aparelho (coisa material), montado e juntado por alguém.

8º-VENDO ENERGIA PELA SUA TRANSFORMAÇÃO (78 seg)

*E: E o que é energia, para vocês que falaram, que é energia como conceito?*
*A1: Energia como conceito...(pensa um pouco), A3:Acho que tipo uma ...acho*

Peg*ando* a última palavra do outro para continuar, A1 responde: "Uma base para outras coisas" cont*endo* a idéia de transformação.

A3 e A1 "pens*ando"* juntos:

*A3: É tipo uma eletricidade, alguma coisa que, de que tá assim*
*A1: tá ligado à nossas coisas, uma fonte que*

Organiz*ando* cada vez mais uma idéia, v*endo* novas dimensões dela, pela interação, convers*ando,* interag*indo,* correlacion*ando*, converg*indo.*

Ricardo parece dizer a mesma coisa, mas com "*tá ligado no ambiente, onde está, você não sabe, mas depois que voce junta uma coisa com outra, você vê que forma energia",* ele está elabor*ando* cada vez mais sua formulação.

Wallon explica tudo *tendo* já inspirado a análise:

*"A existência em comum tem sido a matriz das emoções, na medida que ela cria entre os indivíduos uma solidariedade de comportamento e, por consequência, de atitudes em relação às diferentes espécies de situações" (Wallon 1942).*

Fal*ando* até juntar uma coisa com a outra. Fal*ando* mesmo o que vem na "cachola". Com isso construi*ndo* a idéia de que **a Física organiza**.

9º- EMERGÊNCIA DA PALAVRA AÇÃO (1:76min):

Entrevistadora peg*ando* o vocabulário do entrevistado na resposta anterior, que primeiro usou "vê", provoc*ando* com a pergunta: Você vê a energia? (*E: E como você vê que forma a energia, que que é isso que você vê?),* que é bem específica e apropriada ao contexto da exposição.

*A1* primeiro diz "*a energia né"*, mas se corrige *(apontando o teto): "a energia não mas... (se refere a lâmpada no alto)", A3* repete: "*depois que junta essas componentes, aí dá pra ver que forma a energia"*

*A1: dá para ver a ação dela*

Contexto bem apropriado para fazer surgir a palavra "ação", não tinha como falar 'ação' no começo. A palavra s*endo* muito apropriada para o momento, e foi introduzida pelo aluno. A entrevistadora usa*ndo* a mesma palavra 'ação': "*E essa ação tem que forma, que vocês viram aqui na exposição?"*. Os alunos que já tinham citado algumas formas, completam com luz, calor, movimento, etc, incluídas num quadro sinótico no próximo ítem I.2.A.a, todos os alunos contribui*ndo* com pelo menos uma. Observamos que sempre que eles estavam fal*ando* sobre energia, e ao mesmo tempo construi*ndo* essa noção[21], eles usavam muito os gestos, fal*ando* sobre energia com as mãos.

Com a ajuda da entrevistadora, os alunos puderam lembrar muitas das formas de energia que viram na exposição, e até elaborar um pouco mais. Podemos dizer que os alunos ao construirem novas ligações em conjunto com a entrevistadora materializavam, realizavam suas zonas de desenvolvimento proximais.

10º.-FORMAÇÃO DE CONCEITOS ( 3:03min ):

A entrevistadora pergunt*ando* o que os alunos entenderam, faz*endo*, eles próprios refletirem sobre o processo deles de compreensão, levou os alunos a reconhecerem o produto de sua compreensão. No momento que os alunos estão falando sobre as coisas

[21]Esses alunos já tinham alguma noção de parte de algumas coisas, pois deviam estar estudando física na escola

(magnetismo, carga elétrica) que aprenderam ligando o que viram na exposição com o que estudaram na escola, Cíntia diz que a física é uma coisa natural, que "acontece". Porém com a colaboração da entrevistadora, estes alunos acabam compreendendo a questão do conhecimento científico como descoberta da natureza.

Esse momento começou quando a entrevistadora perguntou para Cíntia: "*Acontece e, quer dizer que se você não viesse aqui e ficasse olhando sozinha, você veria tudo o que estava aqui?"*. Ela estava sempre lev*ando* em conta as falas e todas as formas de discursos que os alunos trazem: como na pergunta*: "mas esse, como ele falou, uma coisa quando interage com a outra, como é que v. falou?"*. E esse tipo de questão também acabou acentua*ndo* a importância de suas opiniões.

O aluno lembrando a frase da forma que ele falou *"uma coisa quando se junta com a outra"*, mostr*ando* que ela foi mesmo significativa para ele neste contexto. A entrevistadora continu*ando* : "*quando se junta com a outra, esse juntar é natural ou é feito?"*, leva Ricardo a dizer que ***"a física pega o natural e transforma"*** e outro a completar "*para algo que é de uso"*. A entrevistadora informando num momento apropriado: "*não é bem a física, mas são as pessoas que desenvolvem a física* .

Depois segue-se uma discussão sobre conceitos da exposição como de técnica e de ciência, e concluem que : *Onde está a técnica, está a ciência. Não tem como separar*

Diagnosticamos então nessa entrevista a capacidade dos alunos poderem construir o conceito de energia conjuntamente numa interação, no contexto da exposição, e a possibilidade de construirem a idéia de que "os físicos organizam o conhecimento".

I.2.A.a.) CONTEÚDO COGNITIVO:

O CONCEITO DE ENERGIA EM ALUNOS DE 4ª SÉRIE DO Iº GRAU

Os dados sobre o conceito de energia tirados dessa exposição concreta podem ser vistos no vídeo. Em particular, avaliamos através da entrevista, seguindo o método como

pode-se ver no exemplo acima, isto é, fazendo com que as perguntas e respostas cheguem aos conceitos científicos por linguagem do conhecimento cotidiano, incluindo aprendizagem anterior. Procura-se fazer com que os alunos se sintam livres da expectativa de dar uma resposta "correta", em termos formais, mas que respondam de acordo com sua ligação própria com o conhecimento dos conceitos, com a realidade de sua interação com eles.

Procura-se também em termos pedagógicos, fazer com que eles possam criar novas combinações e expressões na comunicação, na interação dialógica com o entrevistando. Como no trabalho de T.Higa\A.Império Hamburger, organizamos as análises das respostas em rede sinótica. Esse tipo de apresentação sintetiza e decodifica os significados contidos nas respostas.

O quadro I.1 apresenta uma possível forma de organização de significado das respostas de 4 alunos de 8ª série do Iº grau à pergunta: "para vocês que falaram de energia, o que é energia aqui nessa exposição?". Essa pergunta, como mencionada no ítem anterior, foi feita no decorrer da entrevista e pareceu muito naturalmente colocada no contexto, pois os alunos já haviam citado a palavra energia, de modo que quando eles respondem a pergunta, eles basicamente conversam livremente sobre o assunto. As perguntas: "A energia está ligada à que?" e "Qual a forma da ação da energia nessa exposição?" também foram consideradas.

**QUADRO I.1**

- ENERGIA
  - -formas
    - -elétrica
    - -magnética
    - -térmica
    - -luminosa
    - -calor
  - -significados
    - -coisas normais, que se vê
    - -não normal
    - -força(atração da matéria)
    - -base para outras coisas
    - -tipo uma eletricidade
    - -fonte
    - -movimento
      - -agitação ligado a gestos)
      - (simból
      - -fluir
      - -diferença de
        - -lugar
        - -tempo
        - -nível
  - -efeitos
    - -fazer funcionar
    - -dilata
    - -movimento (rotação)
    - -raio(eletricidade
    - -vapor
    - -acende a lâmpada
  - -ligada a
    - -coisas materiais
    - -nossas coisas
    - -no ambiente
  - -propriedade
    - -vê a ação dela
      - -raio
      - -luz
      - -calor
      - -vapor
      - -dilatação
      - -movimento
    - -forma-se qdo se junta uma coisa com outra
  - -aparelhos da exposição
    - -fotocélula
    - -bolinha de dilatação
    - -máquina à vapor
  - -fontes de energia
    - -estrelas
    - -sol

Quadro I..1. Rede sinótica de significados, sobre energia, onde foram ajuntados três quadros sinóticos, aos alunos responderem às perguntas "O que é energia nessa exposição?", "A energia está ligada à que?" e "Qual a forma da ação da energia nessa exposição?"[22]

Pela rede sinótica de significados (Quadro I.1), vemos uma mistura de conhecimento desordenado com linguagem mais formal, tal como os termos 'energia magnética', energia elétrica', contendo significados atuais de hoje, e de raciocínios como 'juntando uma coisa com outra dá para ver que forma a energia'. Nesta frase, que lembra 'a potencialidade que se realiza' de Aristóteles, está implícita uma forma intuitiva e uma capacidade de fazer chegar por indução-dedução às conclusões fundamentais, de aprender o conceito de energia e, extrapolando, de outros como o de entropia em formas mais elaboradas.

A mistura de uso científico e cotidiano, está sempre presente num Quadro Sinótico (QS) sobre energia feito com alunos atuais. Consideramos entretanto que a entrevista que levou a este quadro pretendia elevar a compreensão do conhecimento cotidiano quando relacionada com a exposição visitada. Os conceitos aí representados no QS não são espontâneos, pois já tem uma ligação com os fenômenos da exposição, e os alunos passaram pela entrevista. Agora conceitos puramente espontâneos são aproximações[23], Piaget os simplifica ao defini-los como idéias da criança acerca da realidade desenvolvidas mediante seus próprios esforços mentais para diferençar dos não-espontâneos que foram influenciados pelos adultos. Para contrastar, os conceitos cotidianos de Vygotsky já são influenciados pelos científicos e estão em constante interação.

## 1.2.A.b.)- CONTEÚDO EPISTEMOLÓGICO

Na entrevista descrita acima, vimos que um aluno fala 'juntando essas componentes', uma outra fala 'atração da matéria' e um outro mais tarde elabora a idéia de

---

[22]Os dados de como o conceito está disseminado na população de 8ª série do Iº grau, contidos no quadro I.1 acima, foram tirados da entrevista pedagógica, transcrita no início do capítulo, onde discutimos o método de sua elaboração.

[23]*"Um conceito é mais do que a soma de certas conexões associativas formadas pela menória, é mais do que um simples hábito mental; é um ato real e complexo de pensamento..."* (Vygotsky 1989-Pensamento e Linguagem pg 71)

que A FÍSICA ORGANIZA: "Energia tá ligada a coisas materiais, ... coisas que quem estuda.a física.. junta as coisas, e faz aparecer os fenômenos".

Nessa expressão, já interpretada, parece que é uma coisa espontânea, pois isso é uma linguagem muito informal. Essa frase é impressionante, pois mostra que um aluno dessa idade (14) vê tão claramente, que tenha captado o sentido da construção relacionada com à física. Ele compreende a questão do conhecimento científico. Esse dado é um pouco ao acaso, pois a escolha dos alunos foi feita pela professora.

Na formação de conceitos a nível epistemológico a interação entre os alunos nas respostas sobre os conceitos perguntados teve um papel fundamental, uma vez que esse nível envolve reflexão sobre o próprio processo.

Esta entrevista dá oportunidade para os alunos de discutir, argumentar, apresentar e ouvir os pontos de vista de um para outro. Esses são alguns elementos críticos para a interação partilhada, que promove aprendizagem, que é sempre cooperativa. Por exemplo os alunos colaboram entre si fornecendo um forum para aprendizagem descoberta e encorajando pensamento criativo.

A interação com seus pares pode introduzir as crianças ao processo de gerar idéias, CRIAR SIGNIFICADOS, como vimos pelos dados da entrevista, no ítem I.2.A., onde analisamos também que a entrevistadora incentivou isso, juntado ao fato da gravação ter sido em vídeo-o que estimula aos alunos ousarem mais.

Uma outra coisa que ajudou paralelamente aos alunos entenderem mais o conceito de energia foi ver a ciência como inseparável da técnica. E isso eles puderam entender no contexto da exposição

A importância do contexto é esclarecida pelos estudos históricos, que faz emergir o contexto social, econômico, tecnológico, e todas as condições interligadas, que levaram os cientistas a ver a conservação de energia. A interação com os aparelhos também é muito importante nesse ponto de vista. Temos **dois elementos, opostos, mas que se complementam**: os aparelhos da Exposição ao mesmo tempo que fazem aparecer os

fenômenos, eles os "aprisionam" para que o pensamento o capte para compreensão com maior precisão.[24]

Também no contexto da exposição, eles falam que dá pra ver a ação da energia, quando perguntados se eles vêem a energia; essa palavra ação, eles que disseram aquela hora. Interessante que a palavra é muito apropriada para o momento. Eles viram essa palavra aonde? O significado da palavra perceberam na própria exposição, nos efeitos visíveis dos fenômenos físicos apresentados.

A compreensão do aluno de que "as coisas estão aí e a Fisica organiza elas", também mostra a coêrencia cognitiva que a exposição é preparada para passar uma visão epistemológica.

### 1.2.B- A ENTREVISTA COMO INSTRUMENTO PEDAGÓGICO OU *ENTREVISTAS PEDAGÓGICAS* ,

Consideramos a entrevista, na perspectiva de que ela já é uma forma de ensino. Em nossos estudos de observação de respostas em exposições científicas temos verificado que os alunos ficam bastante entusiasmados e motivados durante uma entrevista sobre o tema apresentado. Mesmo antes de propor o tema, os instrumentos aos que a entrevista recorre já são eles mesmos uma fonte de motivação; ou seja, ao ver o gravador, a camera, o microfone, ou até mesmo quando o entrevistador segura apenas um papel e lápis, o entrevistado mostra querer responder a todas as perguntas e mesmo que ache que não sabe a resposta correta, nesse momento ele se esforça por encontrá-la, organiz*ando* seu pensamento.

A nossa proposta de entrevista pedagógica como instrumeno de organização do pensamento e desenvolvimento de linguagem teve sua metodologia exemplificada no ítem 1.2.A. Um dos problemas que encontramos foi o tipo de perguntas a serem feitas. Primeiro nos perguntamos a nós mesmas: Como incluir questões indutivas ou sugestivas

[24]Amélia Império Hamburger, costuma falar que os gestos dos cientistas aprisionam os fenômenos em certas condições experimentais, para que eles sejam liberados de forma, que a razão possa entendê-los melhor.

nas entrevistas pensadas como indo além das entrevistas clínicas piagetianas, mas com caráter pedagógico?

Fizemos esta pergunta pois achamos que uma entrevista pedagógica deveria incluir questões que auxiliassem o aluno na elaboração de uma resposta. Ao mesmo tempo, a maioria das teorias[25] sobre entrevistas para pesquisa pareciam ser contra "indução" ou "condução", embora fosse de quase senso comum que numa entrevista, o entrevistador tenha que fazer o entrevistado se sentir à vontade e confiante, encoraj*ando*-o a ficar desejoso de discutir o tema da entrevista.

Ao acompanhar o raciocínio do entrevistado, fazê-lo deduzir uma resposta no momento da entrevista, através de inducão ou sugestão, tem até agora sido uma questão muito difícil e delicada. Alguns autores[26] têm até colocado que não se deve apreciar muito a entrevista, pois isto influenciaria o desempenho do entrevistado. Moacir do Valle, por exemplo, diz que a entrevista é "um instrumento para a coleta de dados que nos fornece a explicação dada pelo sujeito ao fenômeno que ele observa *sem* no entanto *induzir* a sua resposta". (Valle 1989)

Da mesma forma ao falar sobre o método clínico de Piaget, Roberto Nardi destaca o papel do entrevistador com algumas de suas qualidades ou habilidades citadas por Ludke e Andreé como: "o entrevistador deve respeitar os valores e a cultura do entrevistado: deve criar um clima de confiança no entrevistado, estimulando a liberdade de expressão, *sem* contudo dirigir a entrevista ( o que *conduziria* as respostas à certa direção); deve ouvir, atentamente o entrevistado intervindo o mínimo possível, para que as idéias do entrevistado fluam livremente" (Nardi 1991). Sobre isso Nardi cita também Piaget: "a arte do clínico consiste, não em fazer responder, mas, em fazer falar livremenente e em descobrir as tendências espontâneas, em vez de as canalizar e as

[25]Além das entrevistas clínicas, as entrevistas sobre instâncias, por exemplo.
[26] como J. Bliss 1990

conter. Consiste em situar qualquer sintoma dentro de um contexto mental, em vez de fazer abstração do contexto"

Sobre este tema não podemos deixar de mencionar novamente Joan Bliss que diz que devemos numa entrevista, usar a linguagem para ajudar positivamente o entrevistado sem sugerir ou perguntar questões ambíguas, ou de conducão (Blisss 1990). Mas como ajudar sem sugerir? para o entrevistador não ultrapassar esse limiar, fronteira tão frágil, o cuidado na escolha da linguagem passa a ser fundamental. Esse filigrama: o entrevistador ajudou-o a lembrar o que o entrevistado já sabia, ou ele o ajudou a apreender a (formular) um conceito nesse mesmo momento com a sua pergunta, nos levou a nos preocuparmos com o conteúdo linguístico das questões colocadas em entrevista. A fim de haver cooperação intelectual, a linguagem deve ser tal a promover uma interação dialógica. A perspectiva dialógica e histórica tem inerente o pensamento criativo e construtivo, uma questão de usar a língua com suas referências à experiência passada, de tal modo a chegar a novas combinações. O entrevistador deve estar familiarizado então tanto com aspectos cognitivos e epistemológicos da linguagem quanto com a sua visão lógica e psico-pedagógica. Aspectos cinestésicos também devem ser levados em conta, como gestos, atitudes de comportamento e estilo, intonação de voz ( para comunicar disponibilidade ) etc.

Ou seja, dependendo de como as perguntas são formuladas para a *entrevista pedagógica* obtém-se o aprendizado "que desperta vários processos internos de desenvolvimento" e portanto influi na zona de desenvolvimento proximal. Como vimos nos nossos estudos sobre teorias de aprendizagem, o "processo de desenvolvimento progride de forma mais lenta e atrás do processo de aprendizado", As perguntas, que seguem uma resposta prévia, devem ser feitas então baseadas não somente no que o entrevistado demonstra, pelas suas respostas, já saber, mas no que ele não sabe e pode saber.

A entrevista seria então um lugar de interação e até de cooperação da parte do entrevistador para o entrevistado, implicando que numa entrevista há comunicação: Piaget mesmo havia concluído que a " comunicação gera a necessidade de checar e confirmar pensamentos", fazendo com que as funções psicológicas internas sejam despertadas no seu desenvolvimento. Entrevistas também exigem que se explique alguma coisa, e isso já foi demonstrado que é o meio mais eficaz de elaboração ou reestruturação cognitiva (Slavin 1989). É necessário que o aprendiz se engaje em alguma espécie de elaboração do material, uma vez que a informação é para ser retida na memória e relacionada à informação já contida na memória.

Voltando a nossa questão inicial: se numa entrevista as pessoas falarão sobre " algo que é extremamente significativo para eles, seja sobre o que eles sabem ou no que acreditam, sentem ou pensam" como afirma J.Bliss, é natural que as pessoas apreciem a entrevista. Deixar de sugerir, de informar, de dar uma resposta ou de preencher uma 'lacuna', no momento em que o entrevistado está bem propenso a assimilá-la, em que ele está tão envolvido e curioso para ouvi-la, é deixar de utilizar um dos instrumentos que poderia ser importante para o ensino que chamaremos de *entrevista pedagógica*[27].

## 1.3. A FORMAÇÃO DE CONCEITOS

## ASPECTOS PEDAGÓGICOS DA VISITA À EXPOSIÇÃO/ ZDP PARA O CONCEITO DE ENERGIA E A ENTREVISTA

O conhecimento, que eles demonstraram do conceito de energia, segue de três elementos: eles já tinham o conceito de forma desorganizada, eles viram a exposição e participaram da entrevista.

[27]No entanto com o objetivo de ver o que o sujeito pensa, isto é, para tirar dados psicogenéticos, as entrevistas clínicas de Piaget, apesar de não estimularem o desenvolvimento, tem um embasamento teórico específico e são apropriadas ao seu fim.

Entendemos que a entrevista elevou o conceito de energia dos alunos a um contexto (bem delimitado), o das teorias da física contidas na Exposição, resultado que não é fácil de obter, pois a tendência é generalizar muito o conceito, de forma que se perca o entendimento através da precisão. Nesse sentido mostrou a existência de zona proximal de desenvolvimento[28] do conceito científico de energia, ainda em nível de linguagem imprecisa, mas com enfoque epistemológico correspondente.

A ZDP então se expos a vários momentos, o momento da entrevista, o momento da interação com a exposição e o momento com o monitor. Em todos eles existiu a interação entre os próprios alunos e entre cada aluno e sua própria história. De um modo geral teria também um momento na escola, dependendo de como o professor promove a interação exposição-sala de aula.

O momento com a exposição é o de visualizar a energia através dos fenômenos, que ela contém. Esses fenômenos e os aparelhos têm a característica de apresentarem efeitos interessantes, no sentido de Vygotsky, de como as tarefas ou as atividades devem ser, como requisito para obter combinação de atenção concentrada e alta motivação para maximizar potenciais criativos, eficiência e realização. Ou seja, elas têm que ser interessantes, apropriadas para promover o desenvolvimento, e nem tão fáceis e nem difíceis para o indivíduo dominar, e aqui entra o papel do monitor.

A exposição tem a característica de mexer com um conhecimento desorganizado contido na memória, às vezes de até coisas que poderiam ter visto na escola, como o exemplo citado do tema 'atrito' pelos alunos desta entrevista. A lembrança de um mesmo tema em outro contexto nunca se repete da mesma forma, e permite geração de novos pensamentos e novas perguntas. A exposição mostra os fenômenos da física, podendo complementar o aprendizado em sala de aula. Para isso sugerimos estudos futuros, de

[28]É difícil perceber a existência da ZDP, uma vez que as entrevistas clínicas mais tradicionais, só procuram avaliar um nível de desenvolvimento.

como poderia ser feito essa ligação sala de aula e exposição, a fim de que a visita seja melhor aproveitada.

Se um aluno "qualquer" entrevistado, viu em cena os fenômenos e aparelhos e falou daquilo com bastante clareza, descrevendo o fenômeno físico e dando explicações nas palavras dele, mostra que, enquanto eles vêem, eles se organizam ao mesmo tempo do ponto de vista da teoria. Por isso é importante apresentar idéias conceituais, ao ver o fenômeno, o aluno imediatamente relaciona com alguma coisa, pois não existe só a ação de ver, isolada de tudo o mais.

O momento da entrevista e sua análise, ao colocar em evidência algumas características das interações na exposição: cooperação, visualização de efeito, uso da linguagem, também ajudou a levantar questões para caracterizar a ZDP. Pela entrevista ficou claro que, eles falavam sobre o conceito de energia, com grande capacidade de expressão.

Parece ter sido no momento da entrevista, que a organização da expressão se deu, pois durante a visita, a palavra energia foi usada genericamente. Na máquina de Whimshurt por exemplo, o foco é a carga, quando a palavra energia é citada, ela aparece meio solta. A forma de perguntar na entrevista ajudou-os a reformular o que viram e poder falar o conceito.

Como já dissemos, um outro dado de observação dessa entrevista é a ocorrência de cooperação entre os alunos entrevistados. A interação e cooperação entre alunos aumenta o domínio de conceitos críticos. Isso é reconhecido na definição de Vygotsky: a distância entre o nível de desenvolvimento real conforme determinado pela resolução do problema independente e o nível do desenvolvimento potencial conforme determinado através de resolver problema sob orientação do adulto ou em colaboração com companheiros no mesmo ou maior nível de capacidade" (Slavin 1989).

A atividade colaborativa entre essas crianças pode promover crescimento intelectual, pois, segundo Vygotsky, é provável que as crianças de idades semelhantes

operem dentro da ZDP uma da outra, modelando no grupo colaborante, comportamentos mais avançados que aqueles que eles pudessem executar individualmente (Slavin 1989).

Em cooperação pura e simples também pode ocorrer que um colega reative a memória do outro, como quando um aluno fala 'planetas' e outro lembra da 'formação do universo'. Um pode elicitar ou provocar a saída de um produto talvez mais organizado, no outro, do que se não tivesse interação partilhada.

Então tanto um aluno complementa as falas de um e outro, conforme quando falam de energia como conceito: o primeiro aluno - 'está ligado às nossas coisas', 2ºaluno - 'está ligado no ambiente onde está você não sabe', quanto também a interação levanta conflitos expondo raciocínios controversos, conforme no momento que respondem sobre o que viram na exposição: 1º aluno -'se o sol fosse acabar', o outro aluno enfatiza - 'não, ele vai acabar'. Esse clima intersubjetivo (faz com que) analisemos esse processo construtivo em interação como uma atuação na zona de desenvolvimento proximal (ZDP).

D. Kuhn demonstrou a importância de parceiros iguais operarem mútuamente na zona de desenvolvimento proximal de um no outro (in Slavin 1989). Ele encontrou que uma diferença pequena no nível cognitivo entre uma criança e um modelo social contribuia mais para o crescimento cognitivo que uma diferença maior. Isso não quer dizer que um colega de capacidade semelhante vai contribuir mais que o adulto. Mas quando junto à um colega, o desnível não pode ser muito grande, no que concerne a interferir no desenvolvimento. Nesta entrevista todos os quatro alunos tem a mesma faixa de idade cronológica, mas isso não significa que eles tenham o mesmo nível de capacidade.

## I.4- CONCLUSÃO DO CAPÍTULO

A situação de interação dos alunos entre si, com a exposição, com o conhecimento da entrevistadora que analisamos é um momento de organização para a emergência do

conceito de energia nos alunos. A entrevista como exercício de construção de interação dialógica permitiu que os alunos se organizassem internamente.

A interação dos alunos entre si mostra uma forte componente afetiva, ao cooperarem muito entre si através de gesticulações, intonações de vozes, perguntas e falas intercaladas. Os alunos interagem o tempo todo. Consideram sempre o que o outro fala, seja para discordar ou complementar. Essas interações explicitam que o conhecimento é também um mediador da afetividade: pertence a cada um e também está num espaço comum. Como já concluímos anteriormente, a afetividade é o reconhecimento da presença ativa do outro, dando significado à idéias do outro ainda que em formação, chamando o outro a expressar uma forma de conhecimento.

A entrevistadora tem um conhecimento das especifidades dos conteúdos científicos, de suas origens e evolução conceitual e de suas aplicações de forma assimétrica ao dos alunos. Tem também sua experiência própria de ensino e aprendizagem, e vê tanto o conhecimento científico como o cotidiano em seus contextos concretos próprios, e os distingue na definição conceitual precisa dos fenômenos a serem estudados. Ela aproveitou essa disponibilidade dos alunos, para ajudá-los a realizar um reencontro entre as idéias mais ou menos desorganizadas dos alunos em nível de conhecimento cotidiano e das idéias organizadas em teorias científicas que estão explícitas na realidade da exposição e implícitas na realidade concreta dos alunos (Império Hamburger; Souza Lima).

Vimos que o conceito de energia pareceu intuitivo para os alunos, que o conhecem em seu cotidiano e nas conotações de uso atual e viu aplicações na exposição. A entrevistadora entretanto o conhece como um conceito construído no século XIX, com as especifidades do desenvolvimento técnico, matemático, conceitual e filosófico desta época. Ela conhece um conceito científico que teve, inicialmente, sua definição precisa nas Leis da Termodinâmica para certos sistemas físicos, químico e biológicos e cujo significado evoluiu dentro das teorias modernas relativas a outros sistemas (Império

Hamburger). Portanto este tipo de conhecimento permitirá que o entrevistador torne sua entrevista pedagógica.

O entrevistador ou o professor que utiliza a metodologia do quadro sinótico na sala de aula tendo conhecimento da evolução de conceitos (significado anterior na história contido no novo) poderá dispor de uma sensibilidade para enfrentar, reconhecer e discernir como numa classe de alunos, convivem vários tipos de compreensão de conceitos.

No caso dessa entrevista, os alunos não foram expostos ao conteúdo do quadro I.1, mas propomos como parte de metodologia em sala de aula (Higa 1988) que os alunos possam apreciar a representação do conhecimento da classe como um todo, pod*endo* se ver em fusão e diferenciação. O professor também vê as semelhanças e diferenças com o significado científico dado pelos enunciados das leis que constituem a Teoria e que tem uma ligação bem definida com os fenômenos contidos nessa teoria. A ênfase no significado da palavra realça a importância da linguagem precisa, ainda que não linear e única.

O levantamento de conceitos em Quadro Sinótico (QS) é um processo de por para fora o que está organizado ou desorganizado, cada um v*endo* os outros pondo fora, a volta permit*indo* a organização interna. Essa metodologia permite um movimento do individual para o coletivo e vice-versa. Então é cinético-sinótico e potencial ao mesmo tempo, pois no Q S podem estar representados tanto a ZDP individual como coletiva para poder orientar depois.

Poderámos dizer que o QS é um espaço de significação, pois permite correlações entre os significados: o entrevistador pedagógico ou professor organiza as correlações do grupo.

Vimos que os alunos foram atribuindo significados à situações propostas e às situações que foram sendo. Dessa maneira foi possível emergir o conceito de energia nas formas próprias dos alunos de compreensão, que podemos dizer tem um paralelo, isto é

tem alguns elementos comuns na emergência histórica de seu conceito.[29] Tanto nos cientistas como nos alunos vemos uma dimensão criativa, que consiste na compreensão de um novo recorte da realidade, de atribuição de novos significados.

Também detectamos em nós mesmas, durante o processo da análise, uma necessidade de interpretar, de reconhecer certas semelhanças como uma configuração e de dar nomes para elas, ou seja, de atribuir significados. Algumas configurações chamaram mais nossa atenção que outras e outras nem foram percebidas como tal. Isso é óbvio se pensarmos que fazemos isso na vida como um todo, pois como seres sociais dispomos de pensamento e linguagem, com suas representações, símbolos e sua unidade: a palavra.[30]

Concluímos também que do fato de um aluno de 8a. série ter expressado tão bem sobre o significado da construção em física, pode-se dizer que a exposição em física pode mostrar bem o que é a física. Em particular essa exposição, preparada com coerência cognitiva, tem suas experiências bem escolhidas para exemplificar os tópicos importantes fundamentais da física. Pode-se também dizer que o aluno que assim se expressou é além de motivado e observador, com capacidade de organização do significado, pois ao enunciar conceitualmente as coisas com bastante sentido do ponto de vista da física, ele demonstra que captou uma visão epistemológica.

Será necessário *ampliar a intenção de ensino na exposição* (idéia implícita na questão da ZDP), para a maior matematização dos conceitos. Como exposto no 5º painel termodinâmico, contido na exposição, a medida experimental do equivalente mecânico do calor por joule que contém a idéia de conservação de energia: a determinação desse número já é a expressão matemática e experimental da 1a. lei, a da Conservação de Energia.

---

[29]Não falamos em evolução do conceito aqui, pois seriam necessários outras ações didáticas para que os alunos se expressassem mais

[30]Pedrosa (1995) e Carvalho (1992) tratam essa capacidade de atribuir significados como uma propriedade da espécie humana inerente ao processo ontogenético.

Como implicação de nossa análise recomendamos um estudo de como facilitar um entrosamento entre escola e exposição.

I.5- APÊNDICE AO CAPÍTULO

TRANSCRIÇÃO- Entrevista com alunos da Escola Vicente Leporace

gravação: 19 de setembro de l989 por Elvira de Souza Lima
entrevistadora: Amélia Império Hamburger (E)
participação de Elvira(El)
entrevistados: alunos (A1), (A2),(A3) e (A4)
(A) = aluno não identificado, pode ser A1, A2, A3, A4 ou todos juntos

E: A gente vai entrevistar vocês para ficar sabendo como está sendo esta comunicação das pessoas que fizeram a exposição e tem uma intenção mostrando essa coisa. Como que vocês que vêem a exposição, reagem ao que está sendo mostrado. Então vou fazer umas perguntinhas assim, vocês respondem o que vier na cabeça, tá
A1...
A3...
A1...as respostas
A: vem direto na cachola
E: Que tipo de coisa vocês viram aqui na exposição?
A1: Você Ricardo começa
A3: ( Ricardo): pode responder
A1: Que tipo de coisa, pessoal, vamo responder
A4: sobre as estrelas.
A1: É, nós vimos, A4: planetas, A1: sobre a formação do universo
A4: a formação do universo A1: eletricidade
A4: se o sol fosse acabar
A1: não, ele não vai acabar
A4: eu sei, mas na teoria, assim praticamente, A1: ele vai acabar
A: sobre os ímãs
A4: sobre os ímãs, imantação
A1: Ah, forma de energia né
A3:universo, sobre o que eu não sabia, coisa do presente, sobre estrelas, o que que é
A3: balões
A4: o tamanho das galáxias
A1: ô, deixa a Cíntia falá um pouco
E: Ela já falou que ela viu energia aqui
A1: não quem falou foi eu
E: Ela já tinha falado
A1: Ah cê já tinha falado, olha Cíntia ehn você vê
E: Então vocês que falaram de energia, o que que é energia para vocês aqui nessa exposição?
A1: Acho que nós vimos foi energia elétrica, né
A4: elétrica, energia elétrica

A2(Cíntia): magnética
A: efeito - vapor - energia A1:magnética, campo magnético
A3: Energia, são coisas normais, coisas que você vê, são tão normal que v. nunca imaginaria às vezes que formaria energia
A1: juntando esses A4: componentes
A2: atração da matéria, A1: ...
E: Então energia para você tá ligada à que?
A3: tá ligada à coisas materiais sabe, coisas materiais, assim terra, por exemplo, coisas que quem estuda que passa uma relação com outro, vai, junta as coisas, junta uma coisa com a outra e vê que forma energia,energia
E: E o que é energia, para vocês que falaram, que é energia como conceito?
A1: Energia como conceito...(pensa um pouco), A3:Acho que tipo uma ...acho A1: uma base para outras coisas
A3: É tipo uma eletricidade, alguma coisa que, de que tá assim
A1: tá ligado à nossas coisas, uma fonte que
A3: tá ligado no ambiente, onde tá, você não sabe, mas depois que voce junta uma coisa com outra, v. vê que forma energia
E: E como você vê que forma a energia, que que é isso que você vê
A1: a energia né
A1 (apontando o teto):a energia não mas (se refere a lâmpada no alto)
A3: depois que junta essas componentes, aí dá pra vê que forma a energia né
A1: dá para vê a ação dela
E: E essa ação tem que forma, que vocês viram aqui na exposição
A3: forma de raio
A2: luz
A1: calor
E: que você falou?
A2: luz
A4: energia elétrica, luz
A4: raios
E: ali (apontando)
A1: Aquela A3:fotocélula
E: Que mais, olhando essa aí
A1: fotocélula, aquela do calor
A4: Aquela esfera, A1:do vapor né, A4:dilata, depois coloca de volta novamente, esfria, volta ao normal e passa
E: E essa maquininha aí
A3: o vapor né
E: E o que é a energia aí?
A1: A energia nesse vapor... esse daqui acho a do vapor, A4: uma fonte de energia que faz o mecanismo
A3: o vapor d' água e a água, A4: energia
A3: o vapor da água vai fazer funcionar, rotação
E: o movimento, né
eu acho que tá bom, Elvira

Elvira: Que voce achou mais difícil de entender
A4: A maioria é um pouco difícil de entender, mas negócio de ímãs, polos
A3: os aparelhos
os aparelhos de medição do ímã né, pólo negativo, pólo positivo...só os aparelho que medem é que é meio assim estranho, A1: É
A2: como funciona
E:Deixa eu perguntar, vocês viram algum lugar aqui nesta exposição onde vocês podiam concluir onde é que é a direção norte?
A1: tem um monte de bússolas ali que dava para se orientar
E: E em qualquer bússola daquela mesinha?
A: não
A1: tava norte dos ímãs
A3: norte dos ímãs
A4: a direção dos polos
A2: é controlado
El: O que você achou mais fácil?
A3/A1: mais fácil...A4: (...)
A3: que tem aquela mangueira faz assim (mostra com gestos)
A: aquilo você achou fácil
A1: A cápsula da manivela
E: Mas o que tava acontecendo lá
A1: era um campo magnético
A4: formação do campo magnético do mesmo pólo
A3: vai haver separação, pólo negativo, A4:vai repelir as duas transformar o metal
E: E você sabe o nome de física que se dá para esse fenômeno?
As: Não, E: indução né
A:indução né
A4: falô sim
E: E o que vocês gostaram mais?
A3: o que eu mais gostei foi aquilo lá máquina de Tesla, essa máquina de fazer
E: bobina de Tesla, só porque você mexeu né
A3: 6000V
não é Volts, é Hertz
E: E voces gostaram mais porque... a bobina aí da
A3: É por causa do show de raios né, assim e acompanha
A: os raios
A1: as cores também
E: quer dizer que voces mexeram né, voces puseram a mão
El: mais alguma coisa que voces gostariam de ter mexido?
A2: Aquele que levantou os cabelo
A4: aquele que ficava lá em cima (fazendo gestos com as mãos em cima da cabeça)
legal
A1: ...A4: arrepiava tudo
Elvira: o que v. acham que poderia ser feito para ficar mais fácil v. entenderem, que poderia aproveitar melhor na exposição

A4: acho que fazer de tudo um pouco
E: mexendo né, A1: É
A3. é prejudicado porque tem muita gente
um pouquinho mexendo assim
agora acho que assim ainda deu para entender um pouco
E: voces acham que v. entenderam bastante ou pouco?
A3: bastante
A1: razoável
A: bastante
E: eu também acho que voces entenderam bastante
A4: bastante
A1:bastante
E: Agora v. acham que pelo que v. entenderam v. entenderam o que ?
como funciona as coisas?
A3: É como funciona, o jeito, é porque nós já sabemos em física aí e v. vendo na prática dá para entender melhor qual a consequência que
E: voces já estudaram essas coisas?
A3: já, algumas coisinhas
A2: só o básico, né
E: quer dizer que voces chegam aqui, voces vêem que juntando uma coisa com a outra funciona, agora o nome dessas coisas é que voces aprendem na escola
A3: é sim
E: E dá para ligar bem o que v. aprendem na escola com o que está aqui?
A: dá sim
A3: o atrito
A1: o atrito dá
A: corrente magnética
A3: é os polos negativos
A2: é uma coisa natural né
E: A física é uma coisa natural?
A2:: É acontece
E: Acontece e, quer dizer que se você não viesse aqui e ficasse olhando sozinha, você veria tudo o que tava aqui?
A1: não
A2: não
A1: é mais material
A3: voce quis dizer assim que as coisas assim tipo ímã é natural? A1: que atrai é isso
A2: é que atrai
E: mas esse, como ele falou, uma coisa quando interage com a outra, como é que v. falou?
A3: uma coisa quando se junta com a outra
E: quando se junta com a outra, esse juntar é natural ou é feito?
A3: é feito
E: é feito né, e aí que tá por isso que
A3: a física pega o natural e transforma
A1: para algo que é de uso

E: não é bem a física, mas são as pessoas que desenvolvem a física
voces vêem que desses conceitos que v. usam na escola é de técnica, ou v. acham que é, aqui tem mais ciência ou técnica?
A3: o que tem  mais assim acho que é técnica
E: Mas tem ciência, né
A3: tem ciência mas, o que tem mais é técnica. A ciência tem bastante né, mas agora a técnica acho que tem mais
E: por que v. diz isso?
A3.:Assim de...no modo de entender a técnica é o que v. prepara né, v. prepara
A1: e a ciência?
A3: a ciência já é uma coisa que v. aprendeu, né aprendeu para preparar
A1: Ah é isso (olhando interrogativamente para Amélia)
E: aprendeu para preparar. Então v. pode separar e dizer que tem mais ciência do que técnica?
A3:É não. Onde tá a técnica, tá a ciência
E:não tem como separar
A:É então, não tem como separar
E: Mas está certo o que v. disse, aqui tá transposto muitas aplicações né, mas aquela faísca por ex que ela gostou, aquilo tá mais como demonstração do conceito.
El:Brigada viu.
E: Parabéns, de que escola v. são?
A: Vicente Leporace
El: 8ª série?
A: 8ª
E: Vocês sabem que foi (...)
fita de 31/5/90- counter 140.55

Observações: O símbolo (...) foi usado, quando não pudemos ouvir direito, pelas limitações do aparelho de vídeo. As ações e os gestos foram transcritas entre parênteses.

## PARTE I
## SER SENDO II
## OS MONITORES NA EXPOSIÇÃO

### I- *Percepção de característica própria da exposição: os fenômenos físicos*

Apesar da Exposição de Ciências "Do Caleidoscópio ao Carrossel " ter sido pequena (não se compara aos museus de ciências de Paris (La Villette) e de Londres) e ter menos recursos tecnológicos modernos, percebe-se que ela tem "personalidade". Ela aproxima a física dos visitantes pelos fenômenos que exibe. Vimos pelos dados da parte anterior deste trabalho que essa percepção pode ser explicitada: uma visão do que seja a física pode ser percebida nos aparelhos e na apresentação da exposição. Essa visão chega aos monitores através de treinamento e da própria organização da exposição: aos visitantes é importante perceber os fenômenos.

Abaixo extraímos um trecho de entrevista (de diagnóstico) com um monitor onde aparece esta visão.

*D: A bobina de Tesla tem a característica de apresentar um fenômeno bastante interessante. Só que ela tem um problema: você não consegue explicá-la por ser uma aparelhagem mais complexa Ela é uma apresentadora de fenômenos.*

**Pinçamos** essa idéia do monitor Denis (D), pois ela lembrou as idéias dos alunos contidas na entrevista anterior: Apesar dos monitores não terem usado muito a palavra 'energia', os alunos, por sua vez, puderam usá-la, por conhecerem anteriormente e terem visto através dos fenômenos. Além disso ela lembrou as idéias da organização da exposição. A entrevistadora, a mesma das duas entrevistas (dos alunos e do monitor Denis) fez as correlações em momentos propícios.

Quando o monitor diz que gostaria que a exposição apresentasse mais fenômenos interessantes, a entrevistadora, que conhecia a filosofia da organização da exposição, isto é, o pensamento de seus organizadores[31], relacionou com os resultados já conhecidos da entrevista com os alunos.

A ênfase fenomenológica da exposição não é diretamente ligada à fenomenologia como visão filosófica representada por Husserl, Merleau-Ponty, Kierkgaard, Heidegger, Jean Paul Sartre, Derrida e outros. Ou melhor, é e não é: fazer física inclui a visão fenomenológica, através do vínculo indissolúvel entre teoria e experiência. Conforme Langevin, a ciência evolui por meio de uma confrontação incessante entre a teoria e os fatos, *"por uma reação dos resultados sobre a teoria, por meio de questões apresentadas à natureza pela teoria e de modificações da teoria que se tornam necessárias diante das respostas que a natureza dá a essas questões: esse é o modo pelo qual desenvolvemos e enriquecemos nosso conhecimento dos fatos e a linguagem de que nos servimos para exprimí-los"* (Langevin in Império-Hamburger 1984). Agora os fatos da natureza não são observação pura, mas experimentos montados para a observação.

Assim os fenômenos da exposição permitem que os alunos confrontem suas concepções com os conceitos científicos contidos nela. Agora, somente a observação simples dos fenômenos apresentados não é suficiente para que a aprendizagem ocorra. Conforme Kubli, numa visão vygotskiana, as ações têm que estar integradas no discurso daquele que ensina (Kubli 1979):

> *"...temos que realizar ações e fazer demonstrações no nosso ensino e...devemos também dar aos nossos alunos a oportunidade de realizar ações (trabalho prático) sempre que isto for tecnicamente possível. Contudo, como provaremos mais tarde, tais ações devem sempre estar integradas na argumentação do professor para que seje frutífero. Ações isoladas e demonstrações podem mesmo ter um efeito detrimental em nosso ensino. Mais ainda, a menos que usemos experimentos para demonstrar um fenômeno ou nos ajudar a definir ou ilustrar algo que tentamos explicar verbalmente, o custo envolvido no trabalho prático será justificado. Seria uma ilusão acreditar que as ações ou demonstrações, mesmo se elas são feitas por alunos, tenham em si mesmas o poder de produzir conhecimento: elas podem gerá-lo somente até ao ponto que elas estejam integradas na argumentação do professor"*

[31]Ernesto W. Hamburger foi o principal organizador.Ref.: catálogo março 1989.

## II. *Visão de Denis, de como ele vê a construção do aluno: MOTIVAÇÃO*

Na exposição, Denis acha que consegue se comunicar mais com os alunos, se os aparelhos levantarem dúvidas ou curiosidade:

*"...Na parte de eletrostática da exposição existem alguns aparelhos que levantam dúvidas nos alunos: um deles é a máquina de Wimshurst, um aparelho, de cara, esquisito. Tudo que é esquisito levanta uma curiosidade.*
*...* o *nome da máquina é mais esquisito ainda, o formato é bastante estranho, o funcionamento é grotesco até, e o efeito que ela produz é muito bonito, é muito presente pra quem está apresentando e mais para quem está vendo. Isso levanta uma série de dúvidas no aluno. Algumas outras coisas que aparecem na exposição também levantam dúvida: é o caso do nitrogênio líquido, por exemplo, que, pelo efeito, faz com que as pessoas queiram saber pelo menos o que é. O carrosel também tem essa característica de apresentar uma coisa que a pessoa não está acostumada diferente da realidade dela.*
*... em termos de conceitos, na parte de mecânica os conceitos que puxam o aluno mais para a física são os do carrossel. No carrossel, ele fica mais interessado no que está acontecendo".*

O aparelho[32] tem que produzir efeitos que sejam diferente da realidade do cotidiano do aluno, para levantar dúvidas nele, e deixá-lo curioso.

Porém, ver apenas os fenômenos não é o suficiente para a aprendizagem:

*"Na parte da câmara escura, a explicação, em geral, é muito pesada para que os alunos entendam; quando se fala naquele estroboscópio, por exemplo, é muito raro você conseguir fazer com que alguém entenda o que é a luz polarizada e o desvio da polarização e, com isso, a seleção de cores; é extremamente difícil você fazer eles entender. Então, eles perdem o interesse: eles vêem a imagem, acham extremamente bonita, mas não conseguem entender o que está se passando".*

Mas, para Denis, 'ver' é necessário. O aluno aprende mais o que ele pode ver. O que está escondido numa caixinha ou o átomo, que é microscópio, Denis acha que o aluno só vai aprender, quando ele estiver "preparado":

*"A bobina de Tesla tem um problema: por ser uma aparelhagem mais complexa, você não consegue explicá-la. Não é como a Wimshurst, que é uma coisa bastante mecânica, onde a pessoa pode*

---

[32]Para uma descrição dos aparelhos, ver apostilas preparadas para os monitores da exposição ou catálogo realizado pela equipe do Laboratório de Demonstrações do IFUSP de março de 1989. Ernesto Wolfgang Hamburger (coord) et al

*apalpar tudo. A parte principal da bobina foi fechada numa caixinha, uma caixa mágica que produz suas faíscas; a gente não consegue abri-la. Esse é um problema que nós temos".*

Já mencionamos acima a visão de Denis da exposição como apresentadora de fenômenos. Isso também está ligado com sua visão de aprendizagem: para ele, aprende-se mais quando se pode ver os fenômenos, principalmente os fenômenos "chocantes". O aluno constrói primeiro intuindo um fenômeno:

*"ela (a exposição) apresenta fenômenos no carrossel, na maq. eletrostática de Wimshurt, no anel saltante, na bobina de Tesla, mas o resto da exposição não é apresentadora de fenômenos. Existe uma série de aparelhos que, aparentemente, não dizem muita coisa:por exemplo, o trenzinho, a condutância do corpo humano, o carrinho de inércia, a roldana, a mola, mola winck ...*
*A: E a parte de indução magnética?*
*D: Também não apresenta grandes fenômenos novos para o aluno, não é uma coisa que o aluno chega e se choca com o que ele vê, que se espanta com o que está vendo, uma coisa que eles já aceitam mais ou menos bem, então como apresentadora de fenômenos novos para o aluno nessa parte não é grande coisa, digamos assim; é mais na parte de intuir no aluno a idéia de indução eletromagnética. Nisso ela é extremamente eficiente, dado os aparelhos que a gente tem.*

Em sua opinião, para haver aprendizagem, a exposição tem que apresentar fenômenos 'esquisitos', que chamam a atenção, que levantam dúvidas e curiosidade nos alunos. Quando o aluno não se choca com o que vê, ele só consegue intuir a idéia de um fenômeno.

Entretanto, para o monitor, ao intuir no aluno um fenômeno, a exposição dá alguma idéia do que acontece na física.

IDÉIAS "PIAGETIAN-like"

1-O monitor Denis procura perguntar sobre a concepção que o aluno tem primeiro antes de começar a explicar:

*D: 1º eu vejo o que ele já sabe, e a partir daí, o que é possível construir. É isso que diferencia o 3º colegial de uma 7ª série. Quando eu começo a explicar, já sinto o que ele sabe ou não; a partir do que ele já sabe, elaboro um passo adiante, novos conhecimentos. Se a pessoa não sabe nada, você tem que começar do mais elementar; se a pessoa souber tudo, aí você só lapida. o que ela já sabe, você não consegue construir nada novo. Essa é a questão.*

Denis parte, então, do conhecimento que o aluno tem para começar a explicar. Denis tenta algumas estratégias, quando acha que o aluno não tem conhecimento suficiente para poder aprender. Por exemplo, como ele acha que não pode falar do átomo sem falar em carga elétrica, ele fala destas como sendo dois fluidos. Ele faz isso porque em sua opinião, isso facilita o ensino. Se ensinar o átomo diretamente, ele acha que os alunos não vão entender mesmo.

Denis diz que faz essa substituição de cargas por fluidos porque isso não está fora da história da ciência: no século XVIII falava-se em dois fluidos, que eram positivos. Achamos o conceito de fluido difícil, mesmo no cotidiano, que às vezes é o "fluido do isqueiro", às vezes são os eletrólitos das bebidas, às vezes 'a coisa não flui', é água e são gases. Além disso, no século XVIII dicutia-se se a matéria era contínua ou descontínua, ninguém sabia o que era o átomo da mesma forma como entendemos hoje. Na física o fluído é definido como um corpo cujas partes contíguas agem umas sobre as outras, com uma pressão perpendicular à superfície que separa aquelas partes[33].

Denis acha que não é possível 'mostrar' o átomo a partir dos fenômenos macroscópicos da exposição. Na bolinha de dilatação, por exemplo, ele prefere não mencionar o átomo, e nem falar do calor como agitação, pois não é possível ver a agitação: os alunos apenas vêem que a bolinha não passa mais na argola, depois de aquecida, mas eles não vêem o movimento dela se expandindo. Conclui, então, que os alunos não vão acreditar que existe alguma coisa se mexendo. No entanto, Denis[34] diz que os alunos acreditam no vento, por este estar ligado à uma série de fenômenos 'palpáveis'

2- Denis faz os alunos procurar (expor) suas próprias teorias:

[33]Maxwell, 1872.pg 95
[34]Em discussão com Kátya Aurani numa aula para monitores

A tática de Denis de fazer os alunos dar uma explicação para um fenômeno, e depois colocá-la em prova lembra muito algumas técnicas sugeridas por piagetianos, de "desequilibrar" os alunos, ou "criar conflitos", ao fazê-los "testar suas hipóteses"

*D:... o caso de colocar o balde no meio do carrossel e mandar eles acertarem a bolinha de isopor. Em geral, eles jogam a bola. Eu já joguei, subi no carrossel e já fiz a experiência. É engraçado que a bolinha vai retinha em direção ao balde e de repente ela faz puf., tem-se a impressão de que ela vai reto e de repente ela vira.. E não é isso que acontece. Ela faz uma trajetória mais ou menos reta. Só que você não a vê assim. Aí você chega para o aluno e pergunta "Por que isso?" 80% das turmas falam que é devido ao vento. O carrossel tem um vento que desvia as bolinhas...Aí vou lá pego 4, 6 pedrinhas e dou uma pedra pra cada um: "O vento desvia a pedra?" "Ah, o vento não desvia a pedra?" "Então eu quero ver vocês acertarem o balde". A hora que eles vem a pedra cair fora do balde, aí eles se assustam porque a teoria que eles tinham montado se desfaz totalmente. Aí eu quero que eles façam outra teoria. Aí sim, eles partem pra discutir o movimento. Pera aí ... eu estou em movimento, eu estou girando, aí vou discutir com eles o que que o fato de girar faz, porque que o fato de girar faz com que eu erre o balde...*

No exemplo acima, podemos interpretar que o monitor, através de perguntas e ações, fez os alunos pensarem sobre as causas dos fenômenos observados, formular hipóteses sobre as causas e testá-las. Nessa interação com alunos de 5ª série do I grau, Denis tenta demonstrar que a trajetória de corpos em movimento varia conforme o referencial. Na situação, alguns alunos estão em cima de um carrossel, uma plataforma redonda que gira ao ser empurrada. O monitor coloca um balde no centro deste e lhes fornece algumas bolinhas (do tamanho de uma bola de tênis, mas mais leves ) para que esses alunos tentem jogar e acertar dentro dele. Primeiramente, ele pede que os alunos tentem isso com o carrossel em repouso; depois, ele faz o carrossel girar e pede então aos alunos que tentem acertar as bolinhas novamente no balde. Como os alunos não conseguem, o monitor lhes pergunta porque eles acham que não conseguiram, e a maoria dos alunos segundo ele, respondem que é por causa do "vento". Denis faz, então, com que eles testem essa hipótese, fornecendo-lhes algumas pedras para eles jogarem. Como essas pedras são pesadas o suficiente para não serem afetadas pelo vento do ambiente em questão, os alunos ficam "desequilibrados" quanto à hipotese que tinham feito, pois verificam que, apesar de serem pesadas, as pedras seguem trajetórias tais que se desviam do balde, pois os alunos jogam essas pedras quando em movimento circular do carrossel.

3-A prática do monitor pode limitar as possibilidades do ensino da física para o I grau.

*D: É engraçado que, quando a gente trabalha com o carrossel, não temos que fazer com que a pessoa aprenda o movimento circular, a gente intui só que o movimento circular é diferente, e bem diferente. Porque sei que, se eu tentar descrever o movimento circular, o movimento de inércia, o movimento angular, eles não vão entender nada.*

Os alunos de I grau, para este monitor, estão num nível apenas fenomenológico (no sentido de Kamii e De Vries 1978). A sua explicação é dada no sentido de que o movimento de rotação representa um fenômeno intrínsicamente diferente[35]. Isto é, a diferença da situação é enfatizada, mas o fato de surgir uma força (de Coriolis) com a rotação e a palavra 'movimento' não são mencionados.

Denis não tem como objetivo que a pessoa aprenda como a física funciona, os seus termos técnicos, as relações envolvidas, isto é, desenvolver um conhecimento epistemológico. Ele vai enfocar o aparelho: "o que eles vêem, o que eles discutem, o que eles podem descobrir do aparelho". É exatamente essa a forma como alguns piagetianos (K. Kamii & De Vries, 1978, por exemplo)[36], acham que se deve limitar o ensino, na verdade não ensinando, deixando de ensinar física para o I grau, atendo-se apenas às atividades de conhecimentos físicos. Segundo Kamii e De Vries, "a ação da criança sobre os objetos e sua observação da reação são importantes em todas as atividades que envolvem o conhecimento físico". Essa ação teria 4 níveis diferentes: "1- agir sobre os objetos e ver como esses reagem, 2- Agir sobre os objetos para produzir um efeito desejado, 3- Ter consciência de como se produziu o efeito desejado, 4- Explicação das causas". Todas estas formas sugerem um tipo de atividade de conhecimento científico cuja abordagem está enraizada no desenvolvimento 'natural' da criança, como se pudesse haver

[35]A rotação faz aparecer o efeito da inércia na direção perpendicular ao movimento pretendido, portanto desviando a bolinha

[36]Elas estruturam suas "atividades de conhecimento físico" no relativismo e construtivismo de Piaget

desenvolvimento sem aprendizagem do conhecimento construído pelos cientista (seria como aprender a tocar um instrumento de ouvido sózinho).

O monitor Denis, sem conhecer o formalismo de Piaget, limita as possibilidades do ensino da física como se fosse em termos de estágios de desenvolvimento operatórios, colocando o desenvolvimento à frente do aprendizado. Ele ensina a Física apenas para os alunos de II grau, tratando apenas de atividades do conhecimento dos corpos físicos visíveis para os alunos de I grau. As teorias de Piaget parecem já estar confundidas no senso comum.

Denis acha complicado tratar das leis da Termodinâmica para os alunos de 1º grau:

*... Aliás em geral a gente não trabalha com idéias de intuir as leis da termodinâmica, mas ficamos em intuir qual o efeito do calor sobre os corpos. O efeito do calor na água fervendo, como o vapor pode ser utilizado... . O efeito do calor no termopar, naquele motorzinho que tem lá, dielétrico. É interessante colocar assim: utilizações do calor e como e por que podem ser utilizados. A porta por exemplo, é interessante porque tem uma panela vazia e esquentando. .. você aquece uma panela vazia e fala: "Aqui dentro tem ar, o que acontece?" E eles falam "sai por aquele cano". O pessoal intui que a hora que você esquenta, alguma coisa sai*

O monitor quer "intuir" a nível descritível, que o calor expande o gás, criando uma pressão para elevar a água. O vapor d'água empurra, faz uma pressão no ar que entra na panela vazia e empurra

*D:.. Tem um erlemeyer que tem 2 canos: um que tem uma água dentro, que fica passando debaixo d'gua, aí ela entra de novo para cima, pressiona a água pra cima, aí a água entra pelo tubo e interrompe e segura a garrafa para baixo, o peso dela faz ele descer, aí você abre uma torneirinha que faz com que o ar saia do sistema, aí ela volta, ela desce, volta.*

Ele apresenta isso como fenômeno da expansão do vapor, que é uma coisa que a criança já sabe. Os conceitos na exposição não são bem destrinchados. Denis não introduz os conceitos da física nem através da linguagem, pois seu objetivo é mesmo só fazê-los observar um fenômeno físico, e não falar de conhecimento técnico:

*D: É, a gente trabalha mais a linguagem do que o conceito. Pelo menos para mim o meu objetivo não é fazer com que a pessoa aprenda todos os conceitos embutidos. É que eles intuam alguma coisa mesmo. Por exemplo, quando eu falo em carrossel, eu ponho todo mundo pra girar, e jogo uma bolinha*

*atravessando o carrossel, e a bolinha descreve uma curva para quem está em cima do carro e, ela faz uma reta para quem está embaixo. Eu nunca falei em força de coriolis ali, nunca. Porque força de Coriolis é uma coisa que eu posso falar mas eles não vão entender o que eu estou falando mesmo. O que eu quero? eu quero que eles intuam a diferença de referência, de referencial girando e estático. Só isso não é objetivo meu fazer com que eles intuam a força de Coriolis com esse nome eu quero que eles intuam o fenômeno. O fenômeno ocorre. Agora, por que é que ele ocorre? Eu não quero que eles eles intuam "Ah ocorre porque aparece a fora de Coriolis". Não, porque a força de Coriolis eles não vão saber o que é*

Tratar apenas do conhecimento físico sem a ligação com a física é se limitar ao conhecimento cotidiano e de suas aplicações. E só o pensamento intuitivo não basta para o ensino de conceitos científicos, pois os fenômenos implicam um recorte bem definido da realidade, e, portanto precisam ser ensinados, não dá para aprendê-los sozinho.

4-A maneira dele explicar vai variar, de acordo com o grau escolar:

*... Por exemplo se você pegar um 3º colegial, a explicação da roldana fica mais leve. Porque eles já, em geral, entendem perfeitamente. Se eu pego uma 5ª série atenciosa, boa e interessada, eles vão ter uma série de dificuldades de entender o que está acontecendo, visto que o conhecimento mínimo de física é um problema matemático muitas vezes. A hora que eles vão fazer divisão em fração eles não sabem.*

Lev*ando* em conta, como já observamos, o conhecimento prévio dos visitantes, ele ensina mais para os que já sabem. Ele acha que o professor[37], por exemplo, pode aproveitar mais cada demonstração por ele saber a física:

*D:... a diferença é que em geral o professor presta mais atenção no que você está falando e tem os conceitos básicos da física pelo menos. É mais fácil explicar. Você realmente passa pra ele. Para o professor talvez dê para explicar aparelho por aparelho, mesmo que não profundamente. Mas nem todos os professores da rede têm condição muito grande, mas dá pra você fazer que ele aprenda aparelho por aparelho. O que é e como funciona*

Para a 5ª série, Denis transforma o conteúdo, de modo a explicar de um jeito a "soar absolutamente errado". Às vezes prefer*indo* mesmo deixar de ensinar para a 5ª série:

*D: Sabe eu pergunto por exemplo pra 5ª série: Você sabe o que é o átomo? Se eles não sabem, eu tenho que falar em carga elétrica. Para falar em carga elétrica, precisa-se falar do átomo. Aí o que faço: eu não falo o que é o átomo. Se o pessoal responde que já conhece eletrostática eu já passo para carga elétrica nesse caso especial. "Vocês conhecem o átomo? "Ah, já ouvimos falar." se ele tem um pequeno conhecimento, aí eu já começo a discutir o que é o átomo realmente. Coloco a composição, aquele modelo mais simples do núcleo, da eletrocélula redonda. Que é usado na química. Então eles não aprendem átomo*

[37]Denis se refere ao professor da rede que leva os alunos para visitar a exposição.

*na química, essa é uma questão.. E quando eles tem conhecimento, a gente explica esse modelo, que é o mais simples de explicar. Agora quando eles não tem conhecimento nenhum eu pessoalmente não explico. Se eu tiver que explicar, eu vou explicar assim... quase falando em bolinhas, que tem um conceito muito errado.*

Sobre seu enfoque atomista, mencionamos no ítem II.1, que ao não falar sobre o átomo, Denis fala de cargas elétricas como sendo dois fluidos elétricos. Essa é a maneira que ele encontrou de lidar com a falta de conhecimento dos alunos: se eles não sabem nada, que continuem a não saber.

## III- *Conclusão do Capítulo*

As nossas análises indicam que apesar dos monitores[38] terem pouco conhecimento sobre teorias de desenvolvimento, aprendizagem e ensino, eles têm algumas orientações e crenças sobre ensino, aprendizagem e visões de ciência, que se apóiam em um sistema de valores pessoais e sociais sobre o assunto nas escolas e museus de ciências. Aqui não distinguimos entre crenças e o que é comumente chamado de conhecimento, dado que o desenvolvimento do conhecimento é um processo dinâmico, caracterizado por construção e deconstrução em resposta às exigências situacionais e de experiência. Assim o conhecimento não pode ser interpretado sem ambiguidade, dado que não é diretamente verificado pelo detentor dele.

No primeiro capítulo (Ser Sendo I) tentamos estudar um pouco a lógica do aprender, preocupando-nos com o conteúdo e não com a estrutura do pensamento dos alunos. Nesta parte analisamos o pensamento de um monitor, também através de entrevista, mas não de entrevista pedagógica, pois não alça a níveis maiores de compreensão, mas sim de consciência.

[38]Observamos apresentações de outros monitores, mas somente incluímos no corpo deste trabalho algumas conclusões sobre um monitor, o Denis.

O monitor citado não tinha consciência de possuir um método de ensino. À medida em que ele foi falando na entrevista, e organizando seu pensamento, foi-se dando conta de que se ele realiza a ação de ensinar, alguma teoria ele já tem. Ele também foi nomeando as significações, que ele tinha atribuído durante sua prática de monitor.

Denis, o monitor analisado aqui, nunca havia estudado científicamente os conceitos pedagógicos. Quando perguntado sobre Piaget, dissera que nunca tinha ouvido falar dele. Conforme a análise de suas apresentações (tanto em aula como na entrevista e discussão), ele demonstra uma preocupação com o conhecimento dos alunos, ou seja, o que eles já sabem quando aparecem na exposição, e faz muitas vezes os alunos predizerem e explicarem por fenômenos. Isso tudo está em conformidade com as visões correntes dos educadores preocupados com mudança conceitual, onde, nesse tipo de ensino, as lições frequentemente incluem "eventos discrepantes" que contradizem as preocupações dos alunos, deixam-nos insatisfeitos com suas próprias explicações, acreditando que a insatisfação vá levá-los a procurar explicações melhores.

Por ele apresentar, em seu pensamento intuitivo, algumas idéias semelhantes em muitos aspectos às difundidas por piagetianos, observamos o seguinte:

1)Algumas idéias piagetianas já estão muito disseminadas no senso comum

2)Alertamos para o fato, de que usar apenas o pensamento cotidiano no ensino pode ser muito limitante, no sentido de que o pensamento científico não é óbvio de se ver, i.e., não é idêntico à realidade, e, portanto, precisa ser ensinado.

A principal idéia mal aplicada da teoria de Piaget, a que estamos nos referindo é aquela que pressupõe que o aluno ou aprendiz precisa primeiro estar "pronto" para poder aprender alguma coisa. Não pensamos assim, pois para nós o aprendizado é um processo, que o aprendiz vai construindo seu conhecimento através de interações significativas. A

noção de uma zona de desenvolvimento proximal de Vygotsky nos esclarece que um bom aprendizado é aquele que pode adiantar o desenvolvimento.

"Aprendizado que é orientado para os níveis de desenvolvimento que já foram alcançados é inefetivo do ponto de vista de um desenvolvimento completo da criança. Ele não objetiva por um novo estágio do processo de desenvolvimento mas, mais propriamente se retarda atrás deste processo" (Vygotsky in “Mind in Society”)

O exemplo de crianças mentalmente retardadas, como citado por Vygotsky, é muito esclarecedor: um ensino que, no passado, era baseado somente no concreto, com métodos tipo 'observar-e-fazer', pelo fato de as crianças retardadas não serem muito capazes de pensamento abstrato, acaba reforçando essa sua deficiência inata e suprimindo os rudimentos de qualquer pensamento abstrato que essas crianças ainda poderiam ter. Para superar suas deficiências, elas não podem ser deixadas a si mesmas, devem ser empurradas na direção de desenvolver o pensamento abstrato que está lhes faltando, para um novo estágio que se adianta ao desenvolvimento.

Achamos que, para aprender, o aluno precisa ouvir a concepção do professor e tentar comparar com a sua própria. Se o professor deixar de comunicar sua concepção, não tem como haver aprendizado. O professor tem que estar preocupado com o que o aluno pode aprender, e não com o que ele acha que o aluno não vai aprender. É muito perverso olhar para as "deficiências" do aluno e deixar de ensinar. É mais positivo ajudar o aluno a construir.

Uma grande porcentagem dos artigos sobre pesquisa em ensino de física de hoje segue o paradigma de mudança conceitual através do conhecimento prévio dos estudantes[39], mas a maioria deles se aprofunda nas "deficiências" dos alunos, quase sem sugerir estratégias de ensino. O artigo de Gravina e Buchweitz, por exemplo, fala em pré-

[39]Por exemplo os artigos de M.H. Gravina e B.Buchweitz "Mudanças nas concepções alternativas de estudantes relacionadas com eletricidade" e de M. Hurtado Ure, G. Mueller, José M. Sebastiá, A. d'Alessandro Martinez "Concepções intutivas de los estudiantes sobre el principio de acción y reacción" .Revista Brasileira de Ensino de Física.1994.Volume 16. Nos. 1-4

requisito ou condições para haver aprendizagem de conceitos, apontando a insatisfação dos estudantes com concepções existentes como uma necessidade. Ora, os alunos já tem a tendência de se sentirem insatisfeitos com suas concepções, pois a avaliação contínua delas através de testes do tipo padrão tendem a gerar insegurança. E, muitas vezes, a insatisfação pode provocar desmotivação, e não vontade de mudança conceitual.

Vimos que Denis falava das cargas elétricas como sendo dois fluidos como estratégia para facilitar o ensino do átomo para os alunos que ele acha que não têm conhecimento prévio suficiente para entender o átomo na forma como ele desejaria. Será que essa sua estratégia facilita mesmo o ensino? (Donde ele baseou suas idéias pré-concebidas? Será que elas casam lógicamente com as 'deficiências' dos alunos?)

Isto é, será que fala*ndo* de cargas elétricas como sendo dois fluidos, os alunos vão entender melhor o fenômeno de indução elétrica na máquina de Wimshurt, por exemplo, do que mencion*ando* o átomo?. Apontamos a necessidade de pesquisa para responder a tais questões.

Em geral, analisando o conhecimento do monitor, pudemos deduzir também alguma coisa a respeito do que o aluno aprende. Essa resposta obtemos na tentativa de entender como o conhecimento do assunto da matéria do professor-monitor afeta o seu ensino, pois aí tivemos que perguntar não somente o que um professor-monitor sabe sobre um assunto, mas também qual a orientação dele em relação ao assunto e as implicações desta orientação para os objetivos e métodos de ensino.

Estas orientações mais gerais quanto a assuntos acadêmicos moldam as representações do professor quanto ao que são as disciplinas fundamentais e como se os constrói, não somente as representações de conceitos mas também outros conteúdos mais específicos. Assim, dependendo da orientação dos professores, alguns alunos podem aprender que a física é um corpo organizado de conhecimento para ser entendido, ao passo que outros alunos poderiam aprender que a física é uma coleção de procedimentos para serem memorizados, e ainda outros poderiam aprender que a física é composta por

áreas não relacionadas, ou ainda que ela contém fatos cujas interpretações mudam com o tempo. A orientações e representações do professor para a física ou outro assunto afetam o grau pelo qual os alunos aplicarão seus princípios e métodos fora da escola (Smith e Neale 1991).

Quanto à Exposição, ela tem um impacto do ponto de vista de apresentação de fenômenos, que possibilita ao monitor passar a mostrar conceitos e leis da física. Contudo, os monitores analisados não tratam das teorias da física: a linguagem dos monitores é uma linguagem de divulgação de palavras, de efeitos dos fenômenos, e mostra o que é fundamental em cada demonstração. A exposição em si, do modo como ela é organizada e os fenômenos que mostra marca muito mais fundamentalmente o espírito das teorias do que transparece na fala dos monitores.

O monitor não explica todos os fenômenos físicos que os alunos estão vendo. No exemplo mencionado do carrossel, não é só a trajetória que muda. Isto é observação simples. A observação do fenômeno proposta para por em evidência pela orientação da própria idéia da Exposição é a inércia da bolinha.. Nesse exemplo, achamos que é tática cruel querer dar a idéia as crianças que elas podem deduzir as causas só pela observação sem dar a entender que existe uma teoria científica que contém o fenômeno físico que eles estão ve*ndo,* e o explica. Na descrição dos fenômenos, estão explícitos as manifestações dos conceitos físicos e implícitas as leis da natureza, que as teorias físicas têm como fundamento. As causas dos fenômenos estarão, portanto, já contidas em toda a montagem do que está sendo apresentado, incluindo a teoria física que torna possível essa montagem.

Uma conclusão importante do piagetiano Kubli: "Não é possível ensinar ciências de uma forma piagetiana sem que um mínimo de 'insights' epistemológicos sejam transmitidos aos estudantes" (Kubli 1979). O professor de ciências tem que discutir bastante epistemologia a fim de fazer o método científico, ainda desconhecido para os alunos, compreensível. Os alunos têm apenas um conhecimento intuitivo e preliminar do

pensamento científico e epistemológico. Os problemas deles "relacionam-se com questões metodológicas tanto quanto os afligem as questões científicas específicas”.

O ensino de ciências em geral não se preocupa com a questão epistemológica do que seja o conhecimento científico em suas características específicas como conhecimento. Não tem sido generalizadas as práticas de estudos críticos, tais como podemos reconhecer em historiadores e filósofos (mesmo que cientistas pioneiros). Daí a essência do programa de pesquisa Epistemologia e Física, e a necessidade de dar subsídios à formação do monitor na segunda parte deste trabalho a seguir.

# PARTE II
# SER SENDO III
# PROPOSTA DE PREPARAÇÃO DO MONITOR

## III.1.ESTUDOS HISTÓRICOS E EPISTEMOLÓGICOS PARA A FORMAÇÃO DE PROFESSOR/MONITOR

Em Ser Sendo II chamamos a atenção para o fato de que os "paradigmas" de ensino mais em voga como "partir do conhecimento do aluno" podem criar retrocessos, caso não usados apropriadamente, uma vez que se poderia deixar de ensinar ao achar que o aluno não tem conhecimento inicial que se crê ser necessário, ou pré-requisito, e se conclui que este não pode aprender nada mesmo.

Este foco sobre o aluno livra o professor de suas responsabilidades, deslocando a culpa das deficiências no ensino sobre o aluno: "Ah, porque este aluno é despreparado, ou burro mesmo".

Percebemos pelos dados da exposição que muitos monitores não mencionavam os painéis de termodinâmica devido às suas próprias deficiências com o conhecimento do assunto. Também muitos professores de 1º. e 2º. graus não se preparam mais sobre o assunto que têm que ensinar, na medida em que um sistema estruturado em visão radical que o aluno constrói o conhecimento sozinho, desvaloriza o papel do professor na sala de aula. Essa atitude acarreta consequências adversas para o próprio professor, pois se ele não tem papel importante, também não precisa nem ter salário condigno.

A História da Ciência nos lembra que o conhecimento científico não foi construído por ninguém sozinho. As teorias de aprendizagem enfocadas nos dois primeiros capítulos, nas molduras de Wallon e Vygotsky, enfatizam a relevância das interações. porém não quaisquer interações. São interações que levem em conta a afetividade e se voltem para o saber-futuro, por exemplo considerando uma zona de desenvolvimento potencial.

O monitor\professor também precisa desse tipo de interação para a sua aprendizagem do que significa aprender e ensinar conceitos científicos. Estudando as origens e evolução do conhecimento científico históricamente, ele pode resgatar um nível afetivo de ligação com o conhecimento, ao ver o cientista, sendo humano, debatendo-se nas dificuldades e complexidades inerentes ao processo de cada síntese conceitual.

Nos nossos estudos históricos (Parte II- Ser Sendo IV), vimos exemplos dessas complexidades. A começar pela (não) simultaneidade da descoberta da lei de conservação.: ela não é tão surpreendente quanto pode parecer à primeira vista. Cada autor falava em coisas diferentes, isto é, todos tratavam do conceito de energia, mas como este possui várias facetas, cada um via partes diferentes dele. Mas isso só é compreendido depois da visão do todo de significado.

Por exemplo, Robert Mayer compartilhava de uma filosofia da natureza, que o ajudou a chegar à descoberta. Aquela se traduzia simplificadamente por causa= efeito, através da existência de algo que se conservava: a energia.

Após a descoberta da 1a. lei da Termodinâmica aumentou-se a compreensão de muitos fenômenos físicos em um grau consideravelmente elevado. Na experiência da bolinha de isopor que cai e bate na mesa (pg 81 a seguir), sabe-se que o barulho acontece pela energia transferida de uma outra fonte de movimento. A causa passou a estar dentro da teoria da conservação de energia.

Apesar de lógicamente semelhante à idéia da igualdade de causa e efeito, a impossibilidade do movimento perpétuo tem uma raiz diferente: seria possível a criação de força (conceito precedente ao de energia mas semelhante ao sentido de "princípio ativo" (em Newton))?. Sadi Carnot, baseado nessa impossibilidade, conclui que a necessidade de uma diferença de temperatura para um motor a vapor funcionar é uma limitação da eficiência da transformação de calor em movimento (que é a essência da 2ª. lei). Além da compreensão tanto filosófica quanto física da impossibilidade do movimento perpétuo, ele fez a analogia da diferença de temperatura com a diferença de

altura da queda d'água para entender a potência motriz do fogo. Essas são novas ligações contribuindo para a percepção de fenômenos novos, no processo de "descoberta-criação" de conceitos e teorias.

Os momentos de 'inspiração' dos cientistas são impenetráveis, mas tentamos detetar alguns momentos de mudança, de emergência de novas formulações, às vezes ambíguos, descontínuos e irregulares na tentativa de compreender a complexidade da construção de alguns significados científicos. Essa construção também depende da conjuntura social, política, econômica, técnica e etc, que afetam a organização do trabalho científico (Império- Hamburger 1989).

Joule começou estudando o processo de produção de trabalho mecânico em fenômenos elétricos. A importância social do conceito de trabalho surgiu no século XIX e Joule avaliava seus motores elétricos em termos de trabalho mecânico e eficiência. Através da realização sistemática de experiências, Joule chegou a estabelecer o equivalente mecânico do calor dado básico para a expressão da Lei de Conservação de Energia, que tem, entretanto, a conservação como premissa da experiência..

O conceito de trabalho foi importante para a formulação quantitativa da conservação de energia . Sua origem tem tanto raízes no conceito de <u>força x distância</u> quanto na conservação de *vis viva* (energia cinética). Helmholtz e Mayer, entre os pioneiros da descoberta da conservação de energia, foram os que derivaram sua equação matemática usando o conceito de trabalho com fonte na dinâmica e fora da tradição da engenharia.

Apenas para citar mais outro exemplo da complexidade da história do conceito de energia é a evolução do conceito de calor. Foram formuladas várias teorias sobre o calor, mas a teoria dinâmica - calor como movimento foi fundamental à formulação da lei de conservação de energia. Essa teoria foi ferramenta essencial para a maioria dos pioneiros e estava na superfície da consciência científica (Kuhn 1962) desde o século XVII, porém ela

não foi condição necessária: Mayer, Holtzmann e Séguin se opuseram a esta teoria; também Grove e Joule, que aderiram à teoria não mostraram nenhuma dependência substancial.

Os estudos históricos são essenciais aqui, pois compreende-se melhor retrospectivamente qual o papel da teoria do calor como parte das correlações necessárias para o resultado final (Kuhn 1962; Higa 1988).

A emergência da lei de conservação de energia foi um 'produto' que serviu de "marcador de processo" (Pedrosa 1995), uma vez que teve um papel organizador de parte das atividades que levaram a criação da teoria Termodinâmica. O conceito de energia como básico serviu de ideologia para os energeticistas, que não aceitavam o conceito de "átomo" como o mais fundamental dos conceitos da física, divergindo do grupo dos atomistas. Vimos nos nossos estudos (Ser Sendo IV) que essa discussão entre os cientistas que apoiavam o energeticismo e os atomistas foi importante epistemologicamente para a maior compreensão destes conceitos tanto da parte dos cientistas quanto da parte dos que estudam as origens históricas (M. Oliveira 1993).

## III.2. EXEMPLO DE FORMALIZAÇÃO MATEMÁTICA DA ENERGIA E FORMAÇÃO DE PROFESSOR\MONITOR NA EXPOSIÇÃO

Em Ser Sendo I vimos que os alunos não constroem o conceito de energia matematicamente. A estrutura da exposição em geral, não possui painéis, vídeos, ou folhetos com menção à linguagem matemática dos conceitos, nem os monitores siquer tocam no assunto. Apenas alguns painéis do conjunto de Termodinâmicatratam da quantificação dos conceitos de energia e entropia, justamente pelo cálculo da quantidade equivalente de calor e trabalho. O painel 5 da parte de Termodinâmica, com o título "Calor e Trabalho" apresenta uma moeda dobrada onde se vê ao mesmo tempo a face-energia e a face onde está escrita e representada a entropia, mostrando que elas estão

sempre associadas. As duas primeiras leis da Termodinâmica podem ser vistas como leis de equivalência de calor e trabalho. Joule estabelece experimentalmente o equivalente mecânico do calor (1cal = 4,2 Joule; 1847).

Pela própria construção histórica do conceito de energia, como vimos na nossa compilação (Ser SendoIV), a criação do conceito foi possível por uma conjunção de fatores, que permitiu ver a conservação de energia através de suas transformações de uma forma em outra. Kuhn cita como fatores decisivos para a descoberta da conservação a disponibilidade de conversões de uma forma de energia em outra, um interesse pelas máquinas térmicas e uma filosofia da natureza (Kuhn 1962). Outro fator que também achamos importante é a teoria dinâmica do calor, que permitiu ver a conversão de calor em trabalho, criando este último conceito na teoria científica, com sua medida. Uma conjunção de fatores não somente causais mas também contingentes, é que vai determinar de qual para qual forma de energia que vai ser transformada. Isso inclui também o conceito de entropia do sistema, que determina uma direção de transformação. Assim o conceito de energia é também estatístico[40], apesar de que essa concepção não fica em geral explícita, depende de condições do sistema e também da entropia, que é um conceito estatístico desde a sua concepção (Clausius 1976).

Como o conceito de energia foi criado *em conjunção* com a descoberta de sua conservação, e a compreensão de que algo se conserva quando ela se transforma ao mesmo tempo, achamos que para mostrar melhor ao aluno o que é a física, as transformações de uma forma de energia em outras devem ser conhecidas quantificando os valores, onde a energia total de um sistema sempre se conserva. A matematização vai deixar evidente o que é este valor, como se calcula e mede o número, e o que é ser constante.

---

[40]A natureza estatística dos conceitos de energia e entropia tem interesse especial que não será tratado nessa dissertação. Ver por exemplo "Theory of Heat", Maxwell, 1872. Para uma natureza estatística mais explícita ver Schoedinger, 1964.

III.2.i) Energia Mecânica

Um exemplo de como se poderia ilustrar isso numa Exposição Científica pode ser em vídeo, como o que foi elaborado por alunos de Licenciatura em Física durante o curso de Instrumentação para o Ensino de Física (Império Hamburger 1991)[41]. A demosntração, que é também simulada num computador, consta de uma bolinha de isopor que é solta sobre a mesa. A idéia é mostrar uma energia potencial transformando-se em energia de movimento. Quantifica-se a energia de movimento como uma adição de energia cinética, calor (atrito com a mesa), e energia sonora. O computador é utilizado para mostrar a trajetória da bolinha, junto com um gráfico que mostra os valores da energia potencial inicial ($Ep_1$) como uma soma sempre constante de valores que variam das energias potencial posterior ($Ep_2$), cinética (Ec) e energia dissipada (Ed).

$Ep_1 = Ep_2 + Ec + Ed$

onde $Ep_1 = mgh_1$ ; $Ep_2 = mgh_2$ ; $Ec = 1\backslash 2m\ v^2$ ;

$Ed = Q + 1/2\ m\ A^2w^2$ (Ed=calor do atrito + som + vibração do material da bolinha\mesa e ar)

m = massa da bolinha; g = aceleração da gravidade; h = altura; v= velocidade da bolinha; Q = calor;

A = amplitude da onda senoidal e w = frequência do som

Fala-se na energia dissipada (Ed), apresentando o barulho da bolinha sobre a mesa. Um osciloscópio exibe a matematização da onda sonora, através das senóides, que aparecem no vídeo. Parte da energia da onda é também dissipada nas colisões entre as moléculas do meio. Geralmente costuma-se no 2o. grau desprezar a parte de energia dissipada: o ensino é simplificado, sem explicar o significado da aproximação, com a

[41]. Vídeo: "Energia: O invisível em vídeo" (Energia também é invisível, assim como força. Não só os átomos).

desculpa de que "vai ser complicado para o aluno" que não entenderia mesmo. Porém a energia mecânica deve ser apresentada na sua complexidade e na sua significação.

III.2. ii) Calor como energia

Como descrito no painel "Calor e Trabalho", que se encontra na exposição, na 2ª metade do século XIX aparece outra forma de ver o calor: sua relação com o trabalho. O resultado de que uma caloria é igual experimentalmente a 4.18 Joule, ou seja: Q = 4,18 J, foi obtido após a formulação da lei de conservação de energia.

O princípio da conservação de energia, quando aplicada ao calor, é chamada de Primeira Lei da Termodinâmica: Qando o trabalho é transformado em calor, ou calor em trabalho, a quantidade de trabalho é mecanicamente equivalente à quantidade de calor. A aplicação da lei envolve a existência do equivalente mecânico do calor. O calor pode ser gerado pela aplicação de trabalho e, para cada unidade de calor que é gerado, uma certa quantidade de energia mecânica desaparece. Ou, inversamente, o trabalho pode ser realizado pela ação do calor até um certo valor limite, e para cada unidade de trabalho criado desta maneira, uma certa quantidade de calor deixa de existir. Conclui-se que ambos são a forma da mesma coisa que chamamos energia, pois o aparecimento de um depende do desaparecimento do outro.

Uma ilustração de como chegar na quantidade equivalente é muito apropriada para a compreensão do conceito, incluindo sua forma quantitativa. Joule realizou várias experiências básicas para a determinação desse valor. Uma de suas experiências constava de um calorímetro com água e pás presas a um eixo. Dois pesos de massas M giravam as polias, que rodavam o eixo com as pás. O atrito das pás aquecia a água. Joule media a variação de temperatura através de um termômetro de precisão. O calor ($Q= mc\Delta t$) pôde ser calculado a partir das capacidades térmicas ($C= mc$) do líquido e do calorímetro com as pás, considerando a variação de temperatura ($\Delta t$) e desprezando-se efeitos menores e

perdas por radiação. O trabalho mecânico ($\Delta E = Mg\Delta h$) equivalente podia ser calculado pela altura (h) de queda dos pesos.

O equivalente (J) podia então ser obtido pela razão:

$$J = \frac{\Delta Q}{\Delta E}$$

Como exemplo da exposição, pode-se calcular também o equivalente da transformação de energia térmica em mecânica da máquina a vapor. Nessa máquina, um pequeno volume (V) de água, de massa m ($m = \delta V$), onde $\delta$ é sua densidade, é aquecido com fogo. O vapor da caldeira é transmitido a um pistão que, através de alavancas impulsiona uma roda. A máquina a vapor (foto pg. 26) mostra o princípio de funcionamento ds grandes máquinas a vapor, utilizadas no passado nas indústrias e nas locomotivas.

A quantidade de calor, que é transformada, pode ser calculada pela mesma equação dada acima: $Q = C \Delta t$. A energia mecânica pode ser calculada através do trabalho (W) realizado pela expansão do gás, ao mover o pistão através de: $W = -\int_{v1}^{v2} pdV$

onde $V_1$ é o volume inicial e $V_2$ é o volume do gás expandido, após o deslocamento do pistão. A pressão (p) pode ser medida através de um manômetro.

Se se desprezar o atrito do pistão e outros efeitos, a energia transferida à roda teria que ser a mesma do trabalho W. Pode-se então quantificar a energia de rotação da roda, obtendo-se a sua velocidade $v = \omega r$, onde r é o raio da roda. A energia cinética é dada por: $E = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mw^2r^2$. Parte da energia obtida também pode ser transformada em sonora, ao abrir-se uma tampinha, é quando a "Maria Fumaça" apita.

Como a energia se conserva, isto é, ela não é criada e nem pode ser destruída, sua quantidade total de um corpo ou sistema de corpos não pode nem ser aumentada ou

diminuída, ela sempre se transforma se houver quaisquer tipos de ações sobre o(s) corpo(s).

Contudo, há um limite para a transformação da quantidade de calor em trabalho. Clausius inventou o conceito de valor equivalente dessa transformação como a entropia (S):

$$S = \int d\,Q/T$$

Esta equação do valor equivalente da transformação mostra que a entropia é a quantidade de calor Q dada ao corpo dividida pela Temperatura Absoluta. Como exposto no painel "Calor e Trabalho", a temperatura absoluta indica que o corpo mantém alguma quantidade de calor que não se transforma em trabalho. E o calor aparece relacionado a um outro par de opostos e complementares: ENERGIA e ENTROPIA.

Assim as duas leis da Termodinâmica, a 1ª que trata da conservação da energia e a 2ª que diz, segundo a formulação de Clausius, que a entropia do universo luta por atingir um valor máximo (S<=0), devem ser consideradas juntas para a maior compreensão dos fenômenos termodinâmicos.

## III.3. ALGUNS COMENTÁRIOS

O uso da linguagem matemática acompanhou a evolução do conceito de energia. Vimos que a formulação quantitativa da lei da conservação de energia permitiu a maior compreensão do conceito na época. Para que o conceito seja ensinado, ele precisa ser tratado com toda a sua complexidade inerente ao processo de sua construção, pois quando se tenta simplificá-lo já não conserva mais as características do conceito científico de energia.

Agora, devido a essa mesma complexidade, o conceito é difícil de ser internalizado por um indivíduo sózinho, sem interações intersubjetivas, que atuem na sua zona de desenvolvimento proximal. Por outro lado, é comum se separar o conhecimento

físico do matemático tanto no ensino de física, quanto na epistemologia genética. No ensino, vimos o exemplo dos monitores da exposição científica considerada aqui. Na psicologia cognitiva, a concepção teórica piagetiana atribui uma base de natureza endógena para as estruturas lógico-matemáticas (Garcia 1991).

Contudo a matemática é uma construção humana e assim não vem de dentro para fora do indivíduo. O conhecimento lógico matemático precisa ser internalizado. As teorias da física de hoje, que incluem o conceito de energia, têm em seu conjunto uma coerência lógica e uma construção baseada na evolução de seus conceitos representados e quantificados matemáticamente. Como um "corpo" coerente não dá para dizer, que a matemática é sua mera linguagem e nem que a física é somente aplicação da matemática. Assim como não se cogita que a física teórica seja mais importante que a física experimental.

A Termodinâmica tem que ser ensinada com o conjunto de suas leis, com suas representações conceituais, matemáticas.e experimentais, com sua evolução histórica-social. O significado de energia é precisado dentro da teoria.

Não devemos economizar palavras com receio de que elas não sejam compreendidas. Kubli argumenta que a mera repetição de palavras (treino verbal) não faz sentido se a fala não estiver integrada na ação do professor.

*"O significado de novos conceitos deve, portanto, ser reconstruído por aquele que fala e que ouve voltando-se aos conceitos já entendidos. Contudo, como nem todo conceito pode ser definido ao se voltar aos conceitos verbais sem ficar enroscado num círculo vicioso, no mínimo alguns conceitos devem ser imediatamente significativos sem paráfrase verbal. O discurso deve portanto ser suplementado por algo mais. É natural que para esta suplementação nos referimos à ações ou esquemas de ações que, como consequência, ganham status conceitual com relação à comunicação".* (Kubli 1979)

# PARTE II
## SER SENDO IV

# COMPILAÇÃO HISTÓRICA SOBRE O CONCEITO CIENTÍFICO DE ENERGIA

**ÍNDICE**

1 - INTRODUÇÃO: A CONSTRUÇÃO CIENTÍFICA DO CONCEITO DE ENERGIA

2 - COMPILAÇÃO DE ESTUDOS EPISTEMOLÓGICOS E HISTÓRICOS

2.1 - ORIGEM HISTÓRICA DO CONCEITO DE ENERGIA

2.1.1 - OS GREGOS

2.1.2 - IMPOSSIBILIDADE DE MOVIMENTO PERPÉTUO

2.1.3 - ORIGENS (USOS) DA PALAVRA ENERGIA

2.1.4 - TEORIAS SOBRE CALOR

A) TEORIA DINÂMICA DO CALOR

B) CALOR COMO FLOGÍSTICO

C) CALOR COMO CALÓRICO

D) CALOR ESPECÍFICO

E) CALOR LATENTE

F) CALOR COMO MOVIMENTO (NOVA TEORIA DINÂMICA

G) CONTRIBUIÇÕES DE CARNOT, MAYER, JOULE E CLAUSIUS

CARNOT

CALOR COMO ENERGIA: MAYER, JOULE,HELMHOLTZ

CLAUSIUS

3 - DEBATE ATOMISMO X ENERGETICISMO

4 - COMENTÁRIOS

## 1 - INTRODUÇÃO

### A CONSTRUÇÃO CIENTÍFICA DO CONCEITO DE ENERGIA

Hoje em dia, é difícil encontrar quem nunca tenha ouvido ou usado a palavra energia. A mídia propaga uma percepção geral de energia como fonte de combustível ou conforto de vida. Políticos e economistas falam de 'crise de energia' quando tencionam subir o preço de derivados de petróleo ou de eletricidade. Na vida cotidiana, o uso da palavra está ligado a diversos significados, que vão desde 'força de vontade', 'juventude' e 'vivacidade', até energia espiritual*[42]. O sucesso desse conceito se deve, entre muitas outras causas, ao grande poder unificador que teve (Lindsay 1975). O conceito parece cada vez mais concreto devido à sua grande aplicação na ciência e também no cotidiano, quando falamos de 'economia', 'compra', 'falta', 'desperdício' ou 'fluxo' de energia; conforme Dunin-Borkowiski, o conceito sofreu uma espécie de materialização (in Kirwan 1985). No entanto, essa imagem intuitiva é ainda muito vaga, e mesmo a definição usual que aparece nos livros didáticos de física do 2º grau como 'a capacidade de realizar trabalho' é bastante insatisfatória.

Um conceito tão complexo como o de energia, e com característica interdisciplinar, permite várias abordagens de ensino. Outrossim, derivá-lo apenas da definição de trabalho seria reduzir um conceito tão vasto em física a somente uma de suas manifestações práticas. Além disso, devemos primeiro mencionar que não é unanimemente aceito que o conceito emergiu da mecânica[43]. Segundo, que este conceito não se restringe somente aos fenômenos do calor, cujos estudos levaram à enunciação da 1ª lei da termodinâmica e, como mencionado acima, também tem seu uso em áreas fora da física.

Várias abordagens e estratégias diferentes já foram propostas. Pretendemos discuti-las e revê-las, pois a escolha é essencial para a realização educacional. Uma avaliação dos artigos sobre esta questão (de 1989 a 1991) seria conveniente na perpectiva de se determinar critérios de decisão sobre escolhas de conteúdo e métodos de ensino. A revisão dos artigos relacionados com conceitos espontâneos e conceito de energia ajudou a situar a linha do nosso trabalho de dissertação de mestrado: levantamento conceitual dos

---

*Os números supraescritos se referem às notas de rodapé.

42Uma rede sinótica de significados cotidianos encontra-se no capítulo I. Ver também dissertação de T.Higa.

43O historiador Mach acredita que o conceito de energia tem raízes não-mecânicas (Mach 1871)

alunos para comparação entre os significados contidos num 'quadro sinótico' e os significados contidos nas teorias científicas. Isso sem detalhar os processos lógicos ou explicativos da conceituação dos alunos, mas desenvolver estratégias de ensino, lógicas, históricas, matemáticas, experimentais, através da linguagem falada, visual, gestual, etc.[44]

Um exemplo: T. Higa faz tanto um estudo histórico do conceito de energia e da conservação desta quanto das idéias prévias dos alunos da rede pública sobre este conceito, e também de calor, fluido e força. O estudo tem a finalidade de subsidiar a formação dos professores com elementos históricos e epistemológicos, tanto quanto com metodologia de sala de aula. Esta é especificamente proposta como uma interação dialógica professor-aluno mediatizada pela organização do conteúdo que deve ter elementos de estudos históricos e do universo conceitual dos alunos, levantado através de rede sinótica de significados. Esse trabalho sobre quadro sinótico facilita a utilização da técnica de 'contraposição' no ensino de Fleshner (Fleshner 1970), pois o professor pode analisar melhor os conceitos pré-científicos dos alunos, assinalando, através do quadro sinótico, os pontos de conflito e de similaridade entre esses conceitos científicos.

Conforme destacado por avaliação preliminar dessas pesquisas, o conceito de energia envolve problemas e características que tornam difícil o seu ensino. Por exemplo: 1) conceito abstrato; 2) conceito melhor apreendido quando em conjunção com a lei da conservação da energia, que é geralmente explicada em termos negativos como "na natureza nada se cria ou se destrói"; 3) dissipação ou degradação apreendida como contradizendo a conservação, e 4) localidade. Se nada se cria ou se perde (pode ser interpretado como), ela está sempre lá.

Para tratar o problema da localidade, a conservação deve ser vista como uma transformação. Kátya M. Aurani, em seus estudos históricos, contrapõe a idéia de conservação na teoria do calórico com a conservação na teoria dinâmica do calor:

*"Constatamos que ela (a idéia de conservação presente na teoria do calórico) pressupõe a ausência de mudanças na entidade que se conserva, esta guarda a mesma quantidade e preserva sua identidade. Assim, o calórico pode apenas ser transferido de um corpo a outro e sofrer compressão ou expansão. Podemos então encarar as*

---

[44]Alguns temas de artigos que analisamos: 1) análise das apresentações do conceito nos livros-textos de física básica; 2) propostas de técnicas para ajudar a compreender a aprendizagem dos alunos; 3) desenvolvimento de linguagem; 4) investigação do conhecimento de energia pelos estudantes; 5) avaliação de professor; 6) fatores psico-sociais (estudo das atitudes dos alunos); 7) estratégia de ensino centrado no aluno, 8) abordagens centradas em formas de energia, ou transformacões de energia ou fontes de energia, ou ainda, uma combinação destas; 9) abordagem construtivista de mudança conceitual; 10) abordagem histórica; 11) tratamento de energia como substância; 12) ensino voltado a preparar o aluno para a ação e vida social; 13) objetiva mudança de currículo para incluir questões ambientais. [ref 112]

*observações de Rumford na perfuração de canhões, como a manifestação de um outro elemento no modo de pensar do cientista: a transformação. É assim que, com o estabelecimento da conservação da energia, a mudança não é mais o oposto da conservação, como era na teoria do calórico. Com a transformação de calor em trabalho, por exemplo, uma grandeza mantém sua identidade, ainda que pareça mudar de uma forma a outra, de modo que a equivalência entre calor e trabalho expressa uma conservação só concebida através da idéia de transformação; a conversão de calor em trabalho se justifica cientificamente postulando-se uma grandeza que mantém sua integridade, ainda que apareça em diversas formas."* (Aurani 1986).

Kátya conclui que *"a idéia de conservação pressupõe a alteração e constância; desse modo, não é possível falar nas transformações calor-trabalho sem mencionar energia e entropia. Assim, quando se estabelece a conservaçõo da energia, já se definia a necessidade da caracterização da mudança; a 1ª e a 2ª leis integram a mesma idéia, a de consevação, ou de transformação".* Portanto, falar da segunda lei da termodinâmica juntamente com a primeira lei é necessário, pois as duas leis foram constituídas juntas na Teoria Termodinâmica, e pode evitar ou esclarecer o problema 3 citado acima. Ensinar dissipação poderia ser uma solução para o problema 2. Esses trabalhos (Império Hamburger 1989) mostram que estudar o conceito nas suas origens ajuda a esclarecer dificuldades encontradas no ensino do conceito.

## 2 - COMPILAÇÃO DE ESTUDOS EPISTEMOLÓGICOS E HISTÓRICOS

### 2.1 - ORIGEM HISTÓRICA DO CONCEITO DE ENERGIA

Após a descoberta da lei da conservação da energia, o conceito de energia passou a ser definido de forma mais precisa através de duas palavras aparentemente opostas e parecidas na forma: conversão e conservação. Mas, para entender que algo se 'conserva' ao mesmo tempo em que se 'transforma', além da disponibilidade de um pensamento capaz de lógica dialética, houve a confluência de alguns elementos. T. Kuhn destaca, em seu artigo "Conservação de Energia como um Exemplo de Descoberta Simultânea", os seguintes elementos: 'disponibilidade de processos de conversão', 'o interesse pelas máquinas' e 'filosofia da natureza', como fatores viabilizantes aos pioneiros para que trouxessem à tona da consciência os conceitos e experimentos requeridos para uma completa exposição da conservação de energia (Kuhn 1962). Os elementos de Kuhn, presentes um pouco antes e durante as descobertas, foram importantes para permitir essas descobertas dos pioneiros. Entretanto, como diz o próprio Kuhn, elas não tratavam exatamente da mesma coisa. Portanto, a síntese dessas diversas descobertas já seria, em

si, outro elemento a ser avaliado para a constituição da lei de conservação depois destas. A lei da conservação foi reconhecida nessas descobertas.

Procuraremos traçar rastros deixados pelos elementos que participaram dessa "pré-história", que acreditamos estarem presentes desde o início da existência consciente do homem (constituição ontogenética), quando ele, desde então, já precisava interferir no seu ambiente, seja para arrumar alimento ou para se proteger das intempéries do clima ou de outros animais. Ao se locomover e inventar o signo e símbolos que possibilitaram a comunicação e a memória, os nossos ancestrais primitivos começaram a acumular experiência na forma de instrumentos. A linguagem como um dos instrumentos foi se constituindo com seus conceitos, que têm o poder de juntar grandes porções de nossa experiência, numa descrição economica (Lindsay 1975). Contaremos a história de um conceito que, para Lindsay, começa quando o homem decide procurar regularidades para ajudar a entender a sua experiência, que é caracterizada por mudança[45]. Como nosso objetivo aqui não é contar toda a história do homem, tomamos como ponto de partida o tempo em que a linguagem escrita era já uma prática muito difundida.

### 2.1.1 - OS GREGOS

Começaremos pelo grupo de filósofos gregos para compreender as origens da "filosofia da natureza" mencionada por Kuhn. Iniciado por Thales de Mileto, foram os primeiros a procurar explicar a origem do mundo e da vida sem recorrer à mitologia. As perguntas que fizeram são mais importantes que as respostas que deram, onde encontramos as bases do raciocínio científico de hoje. Através de observações das coisas existentes, deduziram, através de raciocínio indutivo, a existência dos átomos. Antecipações da conservação e transformação estavam presentes de formas variadas, até com outros nomes. O universo de Heráclito de Epheso (540-480 A.C.), por exemplo, é um universo de mudança constante, harmoniosa e equilibrada (Humphries1969). O fogo muda para água e então para terra, e, posteriormente, de volta para água e fogo.

A idéia de **ciclo**, que já era observado, aparece a idéia conjunta de transformação e constância, que foi importante no século XIX para a introdução do conceito de energia. Empédocles (450 A.C.) de Acragas pensava o mundo como uma esfera eterna, *constantemente* passando por um ciclo eterno de quatro estados em mudança, sem começo e sem fim (Bobbs-Merriel, 1965). Mesmo Lucrécio (94 A.C.), ao usar o princípio de que "nada pode ser criado do nada", mesmo que para provar a existência do átomo, não pode

[45]Método científico em Francis Bacon em oposição a Aristóteles: postura mais dialética, com dois elementos em oposição coexistindo (regularidades junto com mudança, semelhança junto com a diferença).

ser excluído de vislumbrar a filosofia da conservação. Lucrécio fala sobre fenômenos terrestres:

*"Terremotos podem ser causados por mudanças em rios ou cavernas subterrâneas; semelhantes buracos sob as montanhas são responsáveis pelas erupções vulcânicas. Embora o mar esteja constantemente recebendo água, ele está constantemente sendo diminuído pelo sol e vento; consequentemente, ele é sempre do mesmo tamanho".* [46]( in Humphries 1969, Sobre a Natureza 535-702)

Conceitos como o de condensação e rarefação no ciclo da água eram tomados como auto-evidentes. Na estrada que nos levou ao conceito de energia como entendemos hoje, estão acumuladas noções de conservação. Os ciclos (da água, da vida) contém noções de que a constância resulta da transferência. Como sabemos hoje, a água flui das chuvas para a terra (plantas), os oceanos e rios, e, pela evaporação provocada pelo sol e vento, é transferida para as chuvas novamente através da condensação. No ciclo da vida, os seres morrem, mas ao mesmo tempo permanecem através da transferência dos genes. O conhecimento sobre os ciclos é um fator paralelo, pois não é suficiente para a compreensão de energia, mas é um elemento presente nas explicações de caráter lógico.

O significado de energia para Aristóteles é de uma potencialidade que se realiza. Na metafísica aristotélica, o mundo platônico das idéias é substituído por um mundo de "formas", que são inseparáveis da matéria, tal que a essência do ser reside na união de forma e matéria. Na matéria reside o "ser em potência", que adquire forma e se converte em "ser em ato", em virtude de uma "causa" (expressões que assumem um significado especial na metafisica aristotélica). (Lindsay 1975)

O pensamento dialético, apesar de formalizado e consistentemente elaborado somente após Hegel, no século XVIII, tinha já algumas de suas características, como as dissensões entre opostos resolvidas com seus agrupamentos nesses primeiros filósofos citados. Em Empédocles, por exemplo, a luta entre o Amor e a Discórdia explicava o movimento das combinações em mudança dos quatro elementos. Parmênides baseava o seu sistema numa asserção que trocava a evidência através dos sentidos pela do pensamento ou visualização: "o que é, é; o que não é, não é, uma vez que não pode ser pensamento". Como consequência de ser real só o que podemos ver, o "nada" não pode existir, pois não podemos formar uma imagem mental do "nada" (porém, o "nada" não é o vazio, o vácuo). Parmênides introduziu, então, um dilema: se o espaço vazio não pode existir, como é que se explica o movimento? (Humphries1969). **Esse tipo de pergunta,**

[46]Grifos meus.

**como todas as perguntas que colocam idéias em conflito, é a que mais força considerações sérias sobre a natureza e as fontes de conhecimento. Essas características intrínsecas e naturais nas relações entre ser e conhecimento estão presentes nas questões sobre o conceito de energia, como em qualquer outro ato de compreensão.**

Vamos identificar os elementos conceituais e experimentais que constituem os pré-requisitos paralelos, ou fatores que chamarei de 'gota d'água'[47]. Como já dissemos, Kuhn faz a distinção entre fatores pré-requisitos e os sub-fatores desencadeadores que encontra ao procurar critérios para localizar os elementos que estavam presentes na descoberta "simultânea" da lei de conservação da energia. Os critérios nos quais ele se baseia são: 1) fatores que tenham efeito decisivo sobre a pesquisa individual; 2) sua especificidade ao período, e 3) de recorrência frequente. Os dois primeiros critérios são importantes para Kuhn, que quer distinguir os pioneiros da descoberta da lei de conservação do seus predecessores. Enumeraremos os fatores pré-requisitos, que, apesar de não distinguirem os pioneiros, por estarem presentes no trabalho de todos eles, tiveram que acontecer antes da conservação de energia. Por exemplo: a) elementos conceituais e experimentais de calorimetria; b) concepções químicas derivadas do trabalho de Lavoisier e de seus contemporâneos; c) teorias sobre a natureza do calor, principalmente a teoria dinâmica do calor; d) argumento da impossibilidade de movimento perpétuo de primeiro tipo; e) teorema da conservação de *vis viva;* f) invariança no meio de mudança; g) invenção da máquina; h) outras leis de conservação; i) crença de uma visão unificadora do mundo, ou vontade de explicar todos os fenômenos orgânicos e inôrganicos pelas mesmas leis; j) causalidade (crença na proposição de que, para todo efeito, deve existir uma causa), e k) proposição de perguntas fundamentais.

A teoria dinâmica do calor e o argumento da impossibilidade de movimento perpétuo foram ferramentas intelectuais essenciais para a maioria dos pioneiros, pois, conforme Kuhn, a maneira pelos quais muitos pioneiros chegaram à conservação de energia não pode ser entendida sem reconhecer as suas ferramentas básicas. No entanto, Kuhn está mais interessado em saber por que o instrumento que já estava lá adquiriu de repente um novo significado e um novo alcance de aplicação. Ele acha que a resposta está nos elementos polêmicos, elementos estes que criavam a necessidade de reflexão e discussão, como o conceito de conversões universais, que os levou a extensas discussões sobre sua validade, e não nos conceitos que todos

[47]O processo já vinha ocorrendo, mas foi aquela gota d'água que disparou a tempestade. Esse termo é para diferenciar como causa desencadeadora o elemento dentro do processo que estava em andamento na hora da 'virada'.

concordavam como a impossibilidade de movimento perpétuo: "nenhum deles sente a menor necessidade de argumentar sobre sua validade" (Elkana 1974). Para Amélia Império Hamburger, esse "de repente", quando se quebram as barreiras lógicas das teorias anteriores, é complexo, assim como o novo conceito que adquire uma existência concreta, sendo ao mesmo tempo de caráter abstrato. Existe, então, todo um caminho em que o conceito de energia "ia impondo a sua presença, apresentando-se de várias formas e em várias situações", até que, de repente, os "cientistas, com suas ferramentas conceituais, matemáticas e experimentais, suas crenças pessoais", criam uma nova representação, com novo significado "simultaneamente no pensamento e no contexto exterior" (Império Hamburger 1987). A complexidade desse momento só pode ser entendida ao percorrermos esse caminho antes do de repente e antes de destrinchá-lo. Por isso, não descartaremos algumas contingências. A concepção causal e a filosofia dialética são fatores paralelos. Não contribuiram por si só, mas foram importantes na dinâmica.

É importante destacar o critério 1 "fatores que tenham efeito decisivo sobre a pesquisa individual" de T. Kuhn, pois ele é uma interação de fatores internos e externos ao indivíduo, isto é, comporta um nível psicológico. As disposições psicológicas do pesquisador e do pensador conduzem a manifestações de princípio explicativos ora causais, ora finais. A idéia de energia exigiu uma grande disposição de abstração, pois ela não é a de uma substância que se movimenta no espaço, mas um conceito abstraído das relações de movimento. Suas bases são as relações das coisas e não as coisas propriamente.

A idéia de que algo fica constante no meio de mudanças como raiz, como “filosofia da natureza”, estava presente nos escritos de Hero de Alexandria (60 D.C.). Ele reconhecia o fato de que um certo ganho ou vantagem mecânica que uma máquina simples (sistema de roldanas) oferece para levantar um peso é sempre compensado por uma desvantagem, seja por uma velocidade da corda da polia maior ou por um aumento no tempo requerido (Lindsay 1975).

### 2.1.2 - IMPOSSIBLIDADE DE UM MOVIMENTO PERPÉTUO

Ernst Mach (1871) considera o princípio da impossibilidade de movimento perpétuo como equivalente ao teorema da conservação de energia (que ele chamava trabalho) quando expressa na forma : 'é impossível criar trabalho do nada'. Ele tenta mostrar que esse elemento não é tão novo como se tende a acreditar, e que, na verdade, quase todos os investigadores eminentes tinham uma idéia mais ou menos confusa dele

(Mach 1910). Cita como exemplo Stevinus (1586), ao tratar do equilíbrio de corpos sobre o plano inclinado:

"*Seja ABC o triângulo com seu plano perpendicular ao horizonte e sua base AC paralela ao horizonte, e seja um corpo esférico D colocado no lado AB (que é duas vezes*

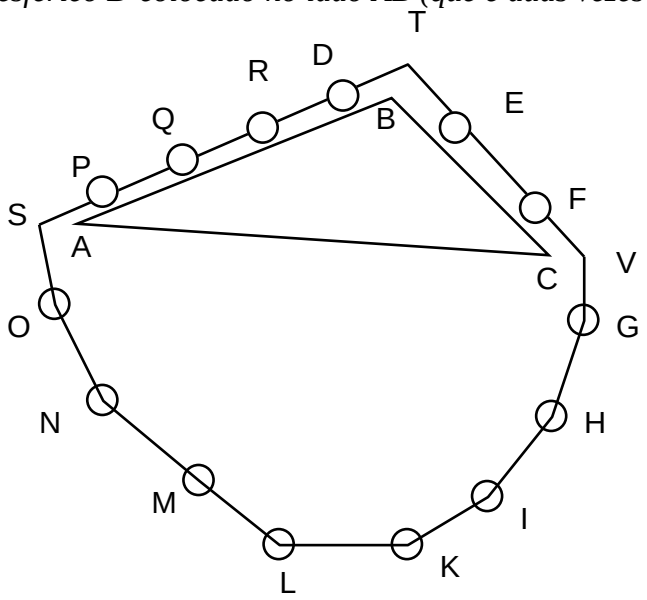



fig.1

*o comprimento de BC), e sobre BC outro corpo E, igual em peso e tamanho. Seja um conjunto de 14 esferas, iguais em peso e tamanho, arranjadas sobre o triângulo em distâncias iguais uma da outra, tais que D,E,F,G,H,I,K,L,M,N,O,P,Q,R, ligadas por um fio passando pelos seus centros, de modo que elas podem girar em torno de seus respectivos centros, e são colocadas de modo que há duas esferas no lado BC e quatro no BA, então conforme uma linha está para a outra linha, assim também está o numero das esferas de uma linha para o número de esferas da outra; também em S,T,V, há tres pontos rigidamente fixos, sobre os quais a linha ou fio pode deslizar, de modo que as duas partes dela sobre o triângulo são paralelas aos lados AB, BC; de tal modo que toda a corda pode correr livremente e sem enroscar sobre os lados AB, BC...o conjunto de oito corpos D,R,Q,P,O,N,M,L, serão mais pesados, conforme estão colocados, que os seis corpos E,F,G,H,I,K, e como a parte mais pesada supera a parte mais leve, as oito esferas irão para baixo e as outras seis subirão; isso posto, e D vindo onde O está no momento, e do mesmo modo para o resto; de modo que E,F,G,H, virão onde P,Q,R,D estão no momento e I,K, onde E,F, estão. Apesar disso, o conjunto de esferas terá o mesmo arranjo de antes, e pelo mesmo raciocínio as oito esferas excederão os outros em peso, e, ao cair, farão as seis outras voltar aos seus lugares, e assim este movimento nunca terá fim, o que é absurdo"* (Mach 1910).

Mesmo sem dispor de argumentos que temos hoje, como os de atrito das superfíces ou da resistência da corda, Stevinus tira importantes corolários válidos até hoje sobre as leis de equilíbrio num plano inclinado. Usando apenas o princípio da impossibilidade de movimento perpétuo, Stevinus deduz todos os seus princípios de

Hidrostática (1605) partindo da mesma hipótese do absurdo de existir movimento perpétuo. Mach diz que esse princípio da impossibilidade de movimento perpétuo teve um papel importante no processo de pensamento que levou Galileu às suas descobertas no final do século XVI, aparecendo com frequência na forma: *"um corpo em virtude da velocidade adquirida na sua queda pode subir exatamente tão alto quanto ele caiu "* (Mach 1910). Huygens, empregando o princípio de inércia de Galileu, formou uma concepção mais distinta e generalizou-o em relação às alturas de ascendência. Afirma, na solução do problema do centro de oscilação, que o princípio (em relação às alturas de subida) é idêntico ao princípio de exclusão da possibilidade de movimento perpétuo:

*"Se a gravidade não existisse, nem a atmosfera obstruísse o movimento dos corpos, um corpo manteria o movimento para sempre uma vez impresso sobre ele, com igual velocidade, numa linha reta". (Hugenii*, Horologium oscillatorium, pars secunda-Hypotheses in Mach, 1910)[48]

### 2.1.3 - USOS (ORIGENS) DA PALAVRA ENERGIA

Jean Bernoulli define a palavra energia[49] em 1717 e, a seguir, enuncia um princípio para todos os casos de equilíbrio de forças:

*"Qualquer que seja o modo como são aplicadas para equilibrar uma à outra, e quaisquer que sejam as direções em que elas agem umas sobre as outras, quer imediatamente ou intermediariamente, a soma das energias positivas serão iguais à soma das energias negativas, tomadas como positivas".*

É Varignon quem faz a declaração do princípio de Bernoulli no seu *Nouvelle Mècanique ou Statique,* publicado após sua morte, em 1725.

Em sua proposição, Bernoulli explica o que entende pela palavra *energia*:

"*Conceba várias forças diferentes que estão agindo ao longo de diferentes linhas ou direções de tendência a manter em equilíbrio um ponto, uma linha, uma superfície, ou um corpo; conceba também que imprimimos sobre o sistema inteiro de forças um pequeno deslocamento, quer paralelo a si mesmo ao longo de qualquer direção, ou sobre qualquer ponto fixo; é fácil ver que, por este deslocamento, cada uma destas forças avançará ou retrocederá em sua direção, a menos que uma ou alguma das forças tenham suas direções perpendiculares à direção do pequeno deslocamento, caso no qual a força*

[48]Aí identificamos a 1a. lei de Newton.
[49]A palavra tem origem grega. Lindsay atribui a Aristóteles sua introdução (Lindsay 1975).

*ou as forças nem avançarão ou retrocederão; pois estes avanços ou retrocessos, que eu chamo velocidades virtuais, não são nada menos que as quantidades pelas quais cada linha de tendência aumenta ou diminui por causa do pequeno deslocamento; e estes incrementos ou decrementos são encontrados ao se desenhar uma perpendicular a partir do final de cada linha de tendência que cruzará com a linha de tendência de cada força na posição adjascente, para a qual ela foi trazida pelo pequeno deslocamento, uma pequena porção que será a medida da velocidade virtual desta força. Por exemplo, seja P (fig.2) um ponto no sistema de*

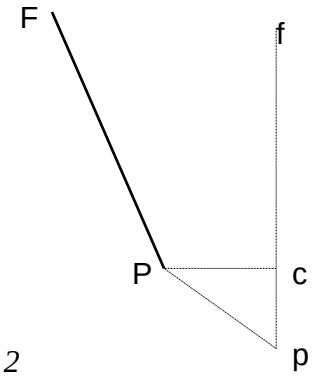



*fig 2*

*forças que está em equilíbrio; seja F uma destas forças, que empurra ou puxa o ponto P na direção FP ou PF, seja Pp uma pequena linha reta que o ponto P descreve num pequeno deslocamento, pelo qual a linha de tendência FP toma a posição fp, que será ou exatamente paralela à FP, se o deslocamento do sistema é feito de modo que todos os seus pontos movem paralelos à uma dada linha reta, ou prolongada, fará com FP um ângulo infinitamente pequeno, se o deslocamento do sistema acontecer em volta de um ponto fixo. Agora desenhe PC perpendicular à fp, e você terá Cp representando a velocidade virtual da força F, de modo que F x Cp seja o que eu chamo* ***energia****. Note que Cp é ou positiva ou negativa em relação à outras linhas semelhantes: é positiva se o ponto P é empurrado pela força F e o ângulo FPp for obtuso, e negativa se o ângulo FPp for agudo..."( in Magie 1935 pg50).*

Jean Bernoulli define energia conjuntamente com velocidade virtual. É a primeira vez que o termo energia foi usado em conexão com fenômenos físicos no sentido de hoje. O que Jean Bernoulli chama de energia, ou seja, o produto f x s, força vezes a distância (deslocamento virtual), já foi chamado de efeito mecânico, potência mecânica, e hoje se diz diferencial de trabalho (energia potencial). Na formulação quantitativa da conservação de energia, o conceito de trabalho é um requisito fundador. De acordo com Kuhn, a fonte para o conceito de trabalho, como quantificador para processos de conversão, está no interesse pelas máquinas, um sub-produto da revolução industrial. Aqui, Bernoulli não trata de medida quantitativa. Ainda que muitos livros didáticos de física para o segundo grau tragam definições confusas sobre energia como capacidade de realizar trabalho, a proposição acima é importante na pré-história da energia, pois o princípio de velocidades

virtuais em conjunção com o teorema da impossibilidade de movimento perpétuo levou ao princípio enunciado por D'Alembert em 1743 no seu 'Traité de Dynamique':

*"Se um corpo tem uma simples tendência para mover com uma certa velocidade, tendência que é detida por algum obstáculo; se o corpo se move realmente e uniformemente com esta velocidade; ou, finalmente, se ele começa a mover com a mesma velocidade, que é gradualmente consumida e anulada por alguma causa ou outra: nestes casos, o efeito produzido pelo corpo é diferente, mas o corpo considerado sozinho não tem nada mais em um caso que em outro; somente a ação da causa que produz o efeito é aplicado diferentemente. No primeiro caso, o efeito reduz a uma simples tendência, que, propriamente falando, não tem nenhuma medida precisa, desde que nenhum movimento resulta dele; no segundo caso, o efeito é a distância transposta uniformemente num dado tempo, e este efeito é proporcional à velocidade; no terceiro caso, o efeito é a distância transposta antes do movimento ser anulado, e este efeito é proporcional ao quadrado da velocidade." (Magie 1935, p58).*

D'Alembert mudou a *episteme* da mecânica pondo fim a uma longa controvérsia que havia começado com Leibniz. Assim como fazia Isaac Newton, em vez de enfocar o corpo, ou seja, as causas do movimento no corpo, passou a focalizar os movimentos que os corpos produzem, isto é, o efeito, com a diferença de que Newton não separava o movimento do corpo. Terminou, com isso, a controvérsia sobre a questão da *vis viva*, que por trinta anos dividiu os matemáticos na opinião quanto à "força" de um corpo em movimento a "vis viva" se é proporcional ao produto da massa 'm' pela velocidade 'v', ou ao produto massa pelo quadrado da velocidade.

Outro Bernoulli, seu filho Daniel formulou, em 1738, a conservação de *vis viva* como *"a igualdade de descendência real com ascendência potencial"*. Na verdade, tanto Jean como Daniel Bernoulli enunciaram a lei da conservação da "vis viva" baseados no princípio de Huygens com respeito às "alturas de ascendência". Os teoremas dos Bernoullis diferem somente em forma da expressão de Lagrange na *Mecanique Analitique.* A demonstracao do princípio de movimentos virtuais também foi baseada nas observações de Huygens e Torricelli.

Conforme Mach, a forma do princípio de velocidades virtuais em Torricelli é idêntica ao princípio de impossibilidade de movimento perpétuo, que, para ele, é a pedra angular do conceito de energia. Kuhn também reconhece que a impossibilidade de movimento perpétuo foi um instrumento para muitos cientistas que participaram na descoberta da conservação de energia, pois ela tinha estado "endêmica no pensamento científico desde a antiguidade". R.B. Lindsay supõe que a idéia chave em energia é a constância no meio de mudança, e aceita o princípio de impossibilidade de movimento perpétuo, que, intimamente, está associado logicamente com a idéia de invariança. Em

todo caso, o significado da energia mecânica total de um sistema dinâmico começou a ser estabelecido por Daniel Bernoulli, Lagrange e seus sucessores.

Thomas Young, após 1801, chamou a *vis viva* de 'energia' com as seguintes palavras:

*"O termo energia pode ser aplicado com grande propriedade ao produto da massa ou peso de um corpo, pelo quadrado do número que expressa sua velocidade."*

Denominou de energia a força que Leibniz considerava a medida da quantidade de movimento, e que se tornou a energia cinética de hoje. Por este motivo, coube a Young o crédito de ser o primeiro a sugerir o termo *energia* no sentido moderno. Contudo, além do uso limitado da palavra (a apenas uma forma de energia), ele não via nenhuma ligação de energia com trabalho, e nem tinha idéias de conservação. Pode-se dizer, no entanto, que ele estava próximo da idéia de transformação ao falar que a força viva era consumida ao produzir movimento rotatório: *"much more of the force is consumed in producing rotatory motion, than in the second, and that it therefore descends much more slowly"* (Thomas Young- Lectures on Natural Philosophy-2 vols., London, 1807- in Elkana 1974). Aí está implícita a idéia de que a velocidade de descendência é tranferida para outra direção. Declara a conservação do momento tanto para colisões elásticas como inelásticas, e afirma que a força viva se conserva somente para colisões perfeitamente elásticas. No entanto, Leibniz considera que, no impacto inelástico, a energia cinética dá origem a deformações. Conforme Elkana, todo o problema da conservação mecânica da energia ou o princípio da conservação da *vis viva* está intimamente ligado com a questão de colisão elástica ou inelástica.

Até agora, vimos que a palavra energia foi usada no sentido de energia potencial de hoje por Bernoulli e no sentido de energia cinética por Young. Mas não é por lembrar os conceitos como conhecemos hoje que devemos atribuir a esses cientistas pensamentos contemporâneos não reconhecidos como deles, pois, por mais brilhantes que pudessem ter sido, não dispunham de todos os elementos necessários dentro das condições históricas das sociedades em que viviam para visualizar a conservação mecânica da energia. Compreender um evento, sob uma posição vantajosa, depois que já aconteceu, pode também causar o oposto, que é desvalorizar o trabalho deles como estando incompleto, o que é também injusto. Sem as sementes dos que vieram antes, o trabalho dos pioneiros que citamos, por exemplo, seria impossível.

### 2.1.4 - TEORIAS SOBRE CALOR

*CALOR*

Com relação às teorias sobre a natureza do calor, a teoria do calórico foi vista pela maioria como um empecilho para a descoberta da lei de conservação de energia, ao passo que os contemporâneos da descoberta dessa lei atribuíam à sua formulação o emprego da teoria do calor como movimento. A disputa das duas visões mais importantes sobre a natureza do calor acompanhou o desenvolvimento de muitos conceitos importantes de toda a física, e foi um motivador no esclarecimento das suas contradições. Estudaremos o desenvolvimento do conceito de calor e suas consequências mais importantes, tendo em vista que a vontade de entender a sua natureza levou ao estabelecimento das teorias materialistas do calor e da sua teoria mecânica, e foi essencial para a evolução do conceito de energia.

A) Teoria dinâmica do calor

Estabelecida no século XVII, a teoria dinâmica do calor era uma teoria material, que estava "próxima à superfície da consciência científica quase desde os dias de Francis Bacon" (Kuhn 1962). E, apesar de ter ficado meio obscurecida com a teoria do calórico, ela nunca deixou de ser discutida nessa época. Com o trabalho de Rumford e Davy, que lhe deram uma base experimental, ela ressuscitou, como veremos adiante, após 1800.

Francis Bacon, Boyle, Robert Hooke e Locke destacavam a natureza qualitativa do calor como movimento vibratório dos elementos microscópicos da matéria. Bacon (1561-1626) se expressou muito claramente no assunto (Lindsay discorda; conforme ele, suas visões não eram claramente expressas), e seu nome ficou associado com a teoria de que calor é movimento, pela seguinte passagem:

"*Quando falo em 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 quitidade, é movimento e nada mais (...) calor é movimento em expansão, não uniforme do corpo inteiro junto, mas de partes menores dele(...), de modo que o corpo adquire um movimento alternativo, agitando-se perpétuamente, contendo e debatendo-se e irritado por repercussões, de onde nasce a fúria do fogo e do calor" (in Higa 1988).*

Sua teoria é mais filosófica que de conteúdo físico. Hooke, com abordagem mais física, considerava tanto a luz (citado acima) quanto o calor como movimento vibratório:

*"uma agitação vigorosa das partes insensíveis do objeto, que produz em nós aquela sensação de onde denominamos o objeto quente; assim, o que em nossa sensação é calor, nada mais é que movimento"(Higa 1988).*

Robert Boyle (1627-1691), também defensor da teoria de calor como movimento, realmente tentou algumas experiências de produção de calor com o propósito de favorecer a opinião de que calor é movimento. Vejamos sua discussão do experimento, que ele denominou de número vi:

*"...quando um ferreiro martela um prego apressadamente,(...), o metal martelado ficará excessivamente quente, e, no entanto, não aparece nada que o torne assim, salvo o movimento forçoso do martelo, que imprime uma agitação veemente, e variadamente determinada das partes pequenas do ferro; que sendo um corpo frio antes, por aquele tumulto superinduzido de suas pequenas partes, se torna em diversos sentidos quente; (...) se um prego grande for dirigido por um martelo num pedaço de madeira, ele receberá diversas pancadas na cabeça antes de ficar quente, mas quando ele estiver cravado até a cabeça, de modo que não possa ir mais adiante, algumas pancadas serão suficientes para lhe dar um considerável calor; pois enquanto, em cada batida do martelo, o prego entra cada vez mais na madeira, o movimento que é produzido é principalemente progressivo, e é do prego todo tendendo numa direção, ao passo que, quando se pára o movimento, então o impulso dado pela batida, sendo incapaz ou de cravar o prego mais adiante, ou destruir sua inteireza, deve ser gasto em causar uma agitação intestina e veemente das partes entre si, e em tal nós formalmente observamos a natureza do calor a consistir."* (Lindsay 1975).

Aqui, Boyle chega perto da diferenciação entre a transformação de energia cinética em trabalho e sua transformação em calor, uma vez que o movimento do prego como um todo tenha terminado.

B) <u>Calor como flogístico</u>

Ligada ao fogo, na explicação da combustão, estruturou-se a conceitualização de <u>flogístico no século XVIII</u>. A teoria do flogístico explicava muitos fenômenos químicos da época. A diferença entre os materiais que queimavam bem ou mal eram explicados em termos de quantidade de flogístico (flox=chama): quanto mais flogístico o corpo tinha, melhor queimava, mas, ao queimar, era deflogisticado, pois passava o seu flogístico ao ar na combustão, que ficava com "sua capacidade para o calor diminuída" (Aurani 1986).

Nota-se, portanto, uma preocupação em medir e quantificar as coisas. Essa idéia de que quanto mais calor o corpo tem , menos calor ele pode receber, ou seja, a antítese flogisticação-deflogisticação que caracterizava a teoria, lembra a antítese da fonte fria e quente das teorias mais contemporâneas, e que já estava presente nos pré-socráticos. O mundo terrestre ou sublunar de Aristóteles, onde impera a 'geração ou corrupção', isto é, a mudança de algo imperfeito para mais perfeito ou inversamente; mundo no qual estão dadas a priori todas as qualidades: calor, frio, secura e umidade. Aristóteles deduz da combinação dessas qualidades os quatro elementos naturais: terra=frio-seco, água=frio-úmido, ar=quente-úmido, fogo=quente-seco, cujos movimentos naturais são sempre retilíneos: a terra e a água (menos pesadas) para baixo, o fogo e o ar (menos leves) para cima (Higa 1988).

C) Calor como calórico (1776)

Lavoisier, ao ver a combustão como uma reação com o elemento oxigênio, introduziu o termo 'calórico' em 1789 para a causa do calor, que era material. Os experimentos de J. Priestley, em 1774, que levaram à descoberta do oxigênio, foram importantes para essa mudança conceitual, apesar de que ele mesmo ainda pensava em termos da teoria do flogístico: o oxigênio era um ar já deflogisticado que favorecia a combustão. Calor, para Lavoisier, era material, tinha substância; o oxigênio não era um ar separado do ar atmosférico, era parte desse ar, era o elemento químico que viabilizava a combustão na sua combinação com a matéria (Aurani 1986).

Lavoisier introduziu dimensão nova ao tentar separar a causa de seu efeito: a causa do calor é o calórico, e o calor é o efeito da acumulação da substância calórico. Ao mesmo tempo em que adicionava elemento novo, a nova teoria simplificava a descrição da realidade, fazendo com que o conceito de flogístico fosse rejeitado, em vista da dificuldade que as ciências materiais têm de aceitar complicações não garantidas nas nossas explicações da realidade. Pelo mesmo motivo, o conceito de éter foi rejeitado no início do século XX.

O calórico era como um fluido: tinha propriedades de auto-repulsão e de atração forte pela matéria; uma vez atraído pela matéria, penetrava facilmente, pois era elástico e tinha capacidade de escoamento; não tinha massa e, quando tomava o corpo, causava o calor (Aurani 1986).

D) Calor específico

Joseph Black (1728-1799) deu um grande avanço na conceitualização do calor ao distinguir a quantidade de calor da temperatura. A igualdade de calor entre diferentes corpos já era conhecida, igualdade essa que acontece depois que todas as ações mútuas do calor se difundem do corpo mais quente para o mais frio e se acabam, e que Black chama de *equilíbrio de calor*. Um termômetro aplicado nesses corpos aponta o mesmo grau e, devido a isso, supunha-se que a quantidade de calor de todos os corpos, quando obtido o equilíbrio, era a mesma (Magie 1935). Vale lembrar que, nessa época em que a teoria do calórico era vigente, a temperatura designava a concentração de uma mistura constituída pela matéria do corpo e pela substância calorífica. Misturavam-se quantidades iguais ou diferentes de um mesmo líquido a temperaturas diferentes, e a temperatura final era considerada a média ponderada das temperaturas iniciais (a quantidade era dada pela massa); se as quantidades eram iguais, usava-se a média aritmética (Higa 1988). Brook Taylor (1685-1731), descobridor do teorema de Taylor, descreve o seu experimento "As Temperaturas de Misturas", publicado em *Philosophical Transactions*, Vol.6., Part II p.17:

"*Muni-me de um bom termômetro de óleo de linho, que marquei com pequenas divisões, não iguais em comprimento, mas iguais de acordo com a capacidade do tubo nas várias partes dele, conforme todos os termômetros deveriam ser graduados. Semelhantemente, provi-me de duas vasilhas de latão finas, de mesma forma e iguais em capacidade, cada uma contendo cerca de um galão. Então (observando, em cada tentativa, que as vasilhas estavam frias, antes que a água era colocada nelas, como também que a vasilha com que eu media a água quente, ficava bem aquecida com ela), eu sucessivamente enchia as vasilhas com uma, duas, três, etc. partes de água fervente, e o resto fria; e, finalmente, com toda a água fervente; e, em cada caso, eu imergia o termômetro na água, e observava a qual marca ela subia, fazendo cada tentativa em ambas as vasilhas para maior acurácia. E, tendo primeiro observado onde o termômetro mantinha a medida em água fria, eu encontrei que sua elevação a partir daquela marca, ou a expansão do óleo, era exatamente proporcional à quantidade de água quente na mistura, isto é ao grau de calor.*" (Magie 1935).

Estas observações forneceram uma base para a crença na indestrutibilidade do calor, e se deduziu a fórmula para a temperatura de misturas, conhecida como regra de Taylor-Richmann (Magie 1935). Alguns anos depois, Fahrenheit, introdutor do mercúrio como substância termométrica, obteve relações diversas da esperada da temperatura final como a média aritmética das iniciais. Ao pensar sobre a alteração da altura da coluna de mercúrio no barômetro, causada pela temperatura variante do mercúrio, Fahrenheit realizou um experimento onde usou uma mistura de água e mercúrio, substâncias de elementos diferentes na sua forma líquida.

A fim de evidenciar que essa visão de que a quantidade de calor era proporcional à quantidade de matéria estava equivocada, Black cita algumas experiências, feitas por outros e por ele mesmo, no seu *Lectures on the elements of Chemistry*, publicado após sua morte em 1803, e conclui:

"*Parece, portanto, do resultado geral de tais experimentos, que, se tivéssemos mil massas de matéria de mesma forma e tamanho, mas de diferente materiais, e fôssemos colocá-las todas na mesma sala até que elas assumissem a mesma temperatura, fôssemos então introduzir nessa sala uma grande massa de ferro vermelho quente, o calor do qual, quando comunicado com todos estes diferentes corpos ao mesmo tempo, poderia ser suficiente para aumentar a temperatura de todos eles, por 20 graus; o calor assim comunicado do ferro, embora produzisse um efeito igual sobre cada um destes corpos, em aumentar sua temperatura de 20 graus, não seria, contudo, dividido ou distribuído igualmente entre eles. Alguns deles atrairiam e reteriam uma quantidade muito maior deste calor, ou matéria deste calor, ou matéria de calor, que outros; e a quantidade recebida por cada um não seria em proporção à suas densidades; mas... de acordo com sua capacidade específica, ou sua força de atração específica por esta matéria, atrairia e requeriria sua própria quantidade peculiar para aumentar sua temperatura de 20 graus, ou reduzi-la ao equilíbrio ou igualdade de saturação com os corpos circunvizinhos... portanto,... diferentes corpos, embora sejam do mesmo tamanho, ou até do mesmo peso, quando eles são reduzidos à mesma temperatura ou grau de calor, qualquer que seja, pode conter quantidades muito diferentes de matéria de calor, as quais são necessárias para trazê-los a este nível, ou equilíbrio, um com o outro.”*(Magie 1935).

E) <u>Calor latente</u>[50]

Um pouco antes de começar a pensar no calor específico como a quantidade de calor para alterar a temperatura de um corpo, Black começou a considerar a fluidez como produzida por uma quantidade de calor maior que a marcada pelo termômetro (1757). Ele já tinha, então, a noção de que quantidade de calor era algo distinto da temperatura, de que essa quantidade não poderia ser tão pequena como indicada pelo termômetro, uma vez que causava o efeito de mudança de estado.

"*Esta notável vagareza com que gelo e neve derretem me chamou a atenção como bastante inconsistente com a opinião da modificação do calor, na liquefação dos corpos."*

E, como ela não é percebida, é escondida, na mudança de fase, ele a denominou de calor latente (Magie 1935).

[50]A dissertação de T. Higa trata as investigações de Black com mais detalhes.

A noção da conservação da quantidade de calor ou substância calórica de um sistema (no processo de condução) levou então Black à descoberta do calor específico e do calor latente. Se uma quantidade de calor desaparece num ponto do sistema, a mesma quantidade vai aparecer em algum outro ponto do sistema; esse ponto vai depender do calor específico. Matematicamente, a quantidade da substância do calor era o produto da massa de um corpo $m$ pela sua temperatuta $t$. Após o equilíbrio entre dois corpos, a transformação de suas temperaturas $t$ e $t'$ seriam dadas por $mt + mt' = 0$. Se uma quantidade de calor desaparece, algum efeito disso deve aparecer em seu lugar, por exemplo, a fusão ou vaporização de uma quantidade definida de matéria. A quantidade de calor desaparecida ainda está presente, mas *latente* (Mach 1943). Isso explica que, após uma determinada quantidade, acontece também uma mudança qualitativa na matéria.

F) Calor como movimento[51] (ou nova teoria dinâmica do calor)

Benjamim Thomson, mais conhecido como conde Rumford, descreveu, em 1798, um experimento pelo qual o atrito podia liberar uma grande quantidade (aparentemente ilimitada) de calor. Com isso, contestou a existência do fluido calórico.

Inicialmente, ele observou o fenômeno por acidente, ao supervisionar a perfuração de canhões num arsenal militar em Munique. Ideou e repetiu várias vezes as experiências, que consistiam em girar um cilindro de canhão contra uma broca de aço, de forma a investigar a origem de todo aquele calor. Será que viria das lascas metálicas separadas pelo perfurador da massa sólida de metal, ou seja, do cilindro do canhão? Se fosse este o caso, ele raciocinou que, de acordo com as teorias vigentes do calórico e do calor latente, a capacidade de calor das partes do metal reduzidas às lascas deveria sofrer grande mudança, o que não ocorreu. Não poderia vir do ar também, pois o acesso do ar externo foi impedido pela água na qual a maquinaria ficou imersa. A água, por sua vez, não poderia ter fornecido tanto calor, por ser ela que estava recebendo, além do que nenhuma parte dela sofria decomposição química, nenhuma componente sua foi detectada na atmosfera.

Foi, assim, isolando uma a uma as possibilidades, até que descartou também a barra de ferro, na qual o perfurador estava fixo como possível fonte do calor, pois era exatamente pela barra e pelo cilindro menor que o calor estava saindo. Concluiu então que o calor, que era fornecido inesgotavelmente, não poderia ser uma substância material como o fluido calórico, que, pela maneira que ele estava sendo excitado e comunicado

[51]K.M. Aurani trata mais extensamente desta parte.

nestas experiências, o calor só podia ser movimento. Recuperou, assim, o pensamento mecanicista nos fenômenos do calor, que era anterior ao do calórico, que ele refutou. Na associação do calor com o movimento, que contém a idéia da geração de calor pelo trabalho, e que Davy chamou de potência repulsiva, vê-se um marco no avanço conceitual de compreensão mais profunda em direção à criação do conceito de energia. (Aurani 1986; Magie 1935; Lindsay 1975)

G) As contribuições de Carnot, Clausius, Mayer e Joule

A pergunta "do que depende a ação do motor a vapor, cujo efeito útil temos presenciado cada vez mais?" levou Sadi Carnot (1796-1832) a descobrir que nenhum motor a vapor podia funcionar, a menos que o calor fosse lançado de uma temperatura mais alta para uma mais baixa, semelhantemente à potência motriz de uma quantidade de água que cai de uma altura maior para uma menor. A única condição que um motor de calor ideal (uma máquina da qual se obtém o maior valor de trabalho possível do calor) deve cumprir é essa temperatura entre as quais a transição de calor ocorre. Uma máquina ideal desta natureza, elaborada teoricamente para realizar o máximo de potência motriz, poderia ser construída de maneiras muito diferentes, e a descoberta de Sadi Carnot consiste no reconhecimento do fato de que a quantidade de trabalho obtido da unidade de calor não depende absolutamente da construção peculiar da máquina ideal.

*"A potência motriz do calor é independente dos agentes empregados para realizá-la; sua quantidade é fixa somente pelas temperaturas dos corpos entre as quais a transferência do calórico é finalmente efetuada"*. (Lindsay 1975).

Isso segue de uma pergunta específica: há outros agentes melhores que o tão utilizado vapor d'água para desenvolver a potência motriz do calor, como, por exemplo, o ar atmosférico? As seguintes considerações seguem de outra pergunta específica quanto ao fenômeno geral da produção de movimento pelo calor: a potência motriz do calor é ilimitada? (É possível melhorar a máquina sem limites?).

Em primeiro lugar, uma máquina ideal deve ser reversível, isto é, deve ser capaz de funcionar nos dois sentidos, transformando calor em trabalho e trabalho de volta para calor. A visão de que a condição de máximo de produção de potência motriz pelo calor implica na reversibilidade deu origem a noção de ciclo reversível desenvolvido mais tarde por Clapeyron (Kestin 1976).

Agora, se tivermos dois motores ideais entre as mesmas temperaturas, e se assumirmos que o motor A produz mais trabalho que o motor B, com a mesma quantidade

de calor. Então seja A movendo num sentido e seja B movendo no outro com o trabalho obtido de A. Como B produz menos trabalho de uma dada quantidade de calor, portanto, mais calor de uma quantidade igual de calor, haverá no final mais calor à temperatura mais alta do que havia originalmente. Mas, como não há nenhum meio na natureza pelo qual o calor é elevado a uma temperatura mais alta sem que haja mudança, um motor construído de forma a produzir este resultado é impossível, e B não pode ser de tal natureza a produzir menos trabalho da mesma quantidade de calor que A. (Ostwald 1910)

O reverso é também impossível. Se acoplarmos os motores no caminho reverso a fim de obter o mesmo efeito, B não pode fazer nem menos nem mais trabalho que A, os dois devem fazer a mesma quantidade de trabalho - que era para ser provado. Este processo de prova, da impossibilidade de movimento perpétuo, isto é, o movimento perpétuo que extrai trabalho da energia em repouso, forma o conteúdo do segundo princípio. Esta lei é fundamental pois complementa a lei de conservação sustentando as condições sob as quais as mudanças de energia ocorrem.

Ou seja, enquanto a primeira lei quantifica essas mudanças, ao responder quanto da nova forma de energia é desenvolvida, a 2ª lei diz quando tal mudança ocorre. Apesar de ser denominada segunda lei, ela precede a descoberta da 1ª lei na forma exposta por Mayer em 20 anos, e só foi reconhecida após Clausius formalizar o conceito de entropia. A existência anterior do conceito de energia, que contém a idéia de que calor pode ser transformado em trabalho, foi necessário para que Clausius introduzisse o pensamento original sobre equivalência das transformações. As duas leis, portanto, encontraram sua primeira e mais importante aplicação no calor, apesar de que ambas dizem respeito a todas as formas de energia. Além da contribuição para o conceito de energia, como assumimos acima, a idéia de **ciclo** teve um papel importante também para a formação do conceito de entropia.

Sadi Carnot, filho de Lazare Carnot, que aplicou os conceitos de *vis viva* e trabalho em problemas de engenharia, tem então sua contribuição mais reconhecida na antecipada prefiguração da 2ª lei do que no que tange à 1ª lei, apesar de ter enunciado as duas impossibilidades: movimento perpétuo de 2a espécie e movimento perpétuo de 1a. espécie. Sua proposição da impossibilidade de construir uma máquina de movimento perpétuo é semelhante à impossibilidade de movimento perpétuo de primeiro tipo, de criar trabalho do nada que levou ao estabelecimento da lei de conservação. A sua máquina sempre produziria trabalho sem nenhum custo, devido ao fato do calor não aumentar de temperatura espontaneamente. Isto é, enquanto que o primeiro tipo implica que as eficiências das máquinas devem ter valores definidos e imutáveis, o segundo significa que

não se pode criar energia do nada. Portanto, as mudanças que ocorrem entre as formas de energia devem ter relações definidas.

A sua participação na definição da conservação de energia se apóia no fato de ter sido o primeiro a fazer uma tentativa significativa para entender o papel do calor na produção de movimento num motor (interesse pelas máquinas) e por acreditar que trabalho e calor são quantitativamente intercambiáveis. Contudo, ele ignorava que os fenômenos térmicos nos engenhos a vapor eram partes integrais da nova rede de processos de conversão citada por Kuhn. Enquanto que suas "*Reflexions sur la puissance motrice du feu"* foram claramente influentes para o desenvolvimento do conceito de entropia, a sua computação de um valor para o coeficiente de conversão ou equivalente entre calor e trabalho só foi publicado em 1872. Isto quer dizer que o que ele captou da conservação foi registrado entre 1824 e 1832 nesse caderno de notas que ficou básicamente desapercebido (Lindsay 1975).

H) Calor como Energia

Julius Robert von Mayer de Heilbronn publicou, em 1842, seus resultados que continham a idéia de que calor e energia mecânica estão interconectados. Antes disso, enquanto engajado como médico no serviço de bordo do navio Dutch, observou, durante um processo de sangramento em Java, uma vermelhidão do sangue venoso, incomum na Europa, brilhante como a do sangue arterial. De acordo com a teoria de calor de combustão do carbono de Liebig, ele ligou este fato com a menor perda de calor pelo corpo em climas mais quentes, e com o gasto diminuído de combustíveis orgânicos. O gasto total de calor de um homem em repouso deve ser igual ao calor total de combustão.

Adotando a teoria de Lavoisier, Mayer atribuiu às diferenças de temperaturas das regiões as diferenças de tonalidades do sangue. Segundo essa teoria a produção de gás carbônico pela reação do oxigênio, provindo da respiração, com os tecidos do organismo é responsável pelo calor animal: quanto maior fosse a temperatura do ambiente, menos calor o corpo perderia para este e, portanto, menor a necessidade do corpo produzir calor (Higa 1988). Agora, qual o efeito dessa produção de calor? Como todas as ações orgânicas (mesmo as ações mecânicas) deveriam ser atribuídas ao crédito do calor de combustão, Mayer raciocinou que alguma conexão deveria existir entre trabalho mecânico e consumo de calor. A combustão interna deve ser balanceada entre a perda de calor do corpo e o trabalho que o corpo realiza.

Kuhn destacou que Mayer não poderia ter desenvolvido seus ensaios sobre a conservação de energia apenas através dessas observações biológicas. Para a formulação

de que "a oxidação interna deve ser balanceada *tanto* contra a perda de calor do corpo *quanto* contra o trabalho manual que o corpo executa", a cor mais clara que o esperado do sangue venoso nos trópicos é amplamente irrelevante: "a extensão da teoria de Mayer exige a descoberta de que homens preguiçosos, ao contrário de homens quentes, têm sangue venoso claro". A existência de uma filosofia da natureza poderia explicar este salto lógico. Apesar de não aparente, ele acreditava que existia uma ponte entre a fisiologia e a física matemática. Uma visão de mundo unificada, que o guiava, estava presente quando a cor diferente do sangue lhe chamou a atenção:

*"Deve ser realmente considerado uma reincidência aos erros da antiga filosofia natural ou à confusão da ciência moderna se houvesse em vista uma tentativa de construir um universo a priori. Quando, contudo, tem havido sucesso em ligar juntos fenômenos naturais incontáveis e deles deduzir uma lei fundamental da natureza, não deveríamos ser reprovados se, depois de testes cuidadosos, alguém usar esta lei como uma bússola para guiar seu caminho com maior segurança sobre o mar de detalhes." (Mayer1845* in Magie 1935)

Parece mesmo que Mayer aqui tem a noção de uma força fundamental imperecível , que parece anterior à sua pesquisa, mas não desconectada a ela como Kuhn argumentou, pois foi esta lei que ele utilizou como bússola para guiá-la. Agora, se a sua formulação do princípio da conservação de energia foi devida à influência da *Naturphilosophie* de Schelling, interpretada primariamente como asseverando uma unidade fundamental das forças da natureza, tem sido questionada por vários historiadores.

Caneva, por exemplo, enfatiza que qualquer argumento ligando Mayer com *Naturphilosophie* confronta dificuldades conceituais sérias. Diz que o "erro" de Kuhn foi tentar tirar conservação de energia das observações e reflexões fisiológicas de Mayer (ao localizar o 'salto lógico' na lacuna entre sua observação da cor mais clara que o esperado do sangue venoso nos trópicos). Para Caneva, o que Mayer descobriu através delas foi a equivalência entre calor e movimento, isto sem quaisquer lacunas lógicas, mas somente invocando "tanto uma convicção mantida há muito tempo da impossibilidade de movimento perpétuo mecânico e uma analogia energética heurística entre organismos e máquinas" (Caneva 1993). Cita Paul Diepgen que identificava apenas vagamente como *naturphilosophisich* a predileção de Mayer por analogias e "de algum modo inconsistentemente" tanto seu estilo dedutivo de apresentação frequente e a tendência que "ele manifestava, mesmo quando jovem, para saltar as ligações conectantes de um argumento lógico" (Caneva 1993).

Mayer começa, por considerações filosóficas, esclarecendo o dualismo força/matéria. Tanto forças como matéria são causas, mas de classes diferentes: causas são ponderáveis, ao passo que forças são imponderáveis. A diferença entre matéria e força está como para a diferença entre a química e a física:

*"Quer no futuro se prove possível converter os muitos elementos químicos uns nos outros, ou reduzi-los a uns elementos mais simples, ou mesmo a uma única substância fundamental, é mais que duvidável. A mesma situação, contudo, não se aplica às causas do movimento. Pode ser provado a priori, e confirmado em todo lugar por experiência, que as várias formas de forças podem ser transformadas umas nas outras." (Lindsay 1975)*

O argumento que ele utilizou: nenhum efeito surge sem uma causa (ex nihilo nil fit)/ nenhuma causa desaparece sem um efeito correspondente (nil fit ad nihilum), ou seja, o princípio causa=efeito, emprestado da velha escolástica e usado por Leibniz, leva-o a concluir que "do nada obtemos nada". No seu primeiro ensaio de 1842 sobre energia "On the forces of inorganic nature", mostra uma profunda compreensão do princípio de conservação de energia em toda sua generalidade (apesar de que o conceito de energia aparece ainda confuso com o de força), brotado desse argumento: "causas são quantitativamente indestrutíveis, e os objetos qualitativamente transformáveis". Forças são causas e, como todas as causas, têm como propriedade a indestrutibilidade, conclui a indestrutibilidade da força. (Higa 1988)

*"A criação ou destruição de uma força (trabalho), se é que eles têm algum significado, não tem lugar na província do pensamento e atividade humana."*

Por usar expressões como essa, foi muitas vezes taxado de metafísico, apesar de ter encontrado uma relação numérica. Com sua crença na existência de uma substância quantitativamente imutável, provinda do trabalho e capaz de ser transformada nele, também calculou o equivalente mecânico do calor a partir das diferenças observadas entre dois calores específicos de um gás, isto é, ele determinou quantas unidades de calor (na medida então em uso) correspondem a uma unidade de trabalho (na sua medida específica) na transformação de uma para outra. Ele calculou que, pelo desaparecimento

de uma kilograma-caloria, 365 kilograma-metros de trabalho podia ser realizado, e vice-versa (3.58 joules por caloria é o correspondente valor em unidades modernas). Apesar desse valor não ser o atualmente aceito, Mayer foi o primeiro a avaliar teoricamente o equivalente mecânico do calor. Em 1845, publicou um outro ensaio onde explica seus cálculos e mostra um desenvolvimento de suas idéias sobre energia, e constrói a 1ª tabela, que ele tornou tão completa quanto possível, de todas as formas de energia então conhecidas. Também para sustentar e provar a possibilidade de suas mudanças recíprocas numa na outra.[52]

Com relação às teorias do calor, Carnot e Mayer parecem ter utilizado a noção de substância calórica, porém, há controvérsias: Carnot usa a palavra 'calórico', mas não se sabe ao certo em que sentido ele a utilizou, se foi somente um empréstimo de termo ou se foi uma adesão à velha teoria do calórico, ou de acordo com a nova teoria de Lavoisier. A adoção da teoria mecânica do calor, colocada claramente em seu caderno de notas, que foi encontrado somente após sua morte, é às vezes interpretada como ele ter sentido ser necessário mudar de teoria apenas para efeito de trampolim. Mas, mesmo já no seu memoir de 1824, o argumento que sua prova de que é inadmissível criar potência motriz ilimitada, também é um tipo de prova de impossibilidade de movimento perpétuo, baseava-se na interpretação mecânica do calor:

*"Talvez se possa levantar aqui a objeção de que movimento perpétuo, demonstrado ser impossível somente por ação mecânica, possa possivelmente não ser assim se a potência do calor ou da eletricidade seja exercida; mas é possível conceber os fenômenos de calor e eletricidade como devidos a alguma outra coisa que algum tipo de movimento*[53] *do corpo, e como tais não deveriam eles ser sujeitos às leis gerais da mecânica?...A aceitação geral e filosófica das palavras* ***movimento perpétuo*** *deveria incluir não somente um movimento suscetível de se auto continuar indefinidamente depois de um primeiro impulso recebido, mas a ação de um aparelho, seja qual for sua construção, capaz de criar potência motriz em quantidade ilimitada, capaz de dar partida*

[52]Carnot antecipou Mayer em seu cálculo de equivalente mecânico, baseado na teoria mecânica do calor, encontrando um resultado interpretado em termos modernos como 3.7 joules por caloria. Também Colding mediu com acurácia o equivalente mecânico do calor após 1843, mas, já em 1840, havia começado a pensar sobre a possível relação entre calor e trabalho mecânico.
[53]Grifo meu.

*a todos os corpos em repouso da natureza, de vencer suas inércias, capazes, finalmente, de encontrar neles mesmos as forças necessárias para movimentar todo o universo, prolongar, acelerar incessantemente seu movimento. Tal seria uma criação verdadeira de potência motriz. Se isto fosse uma possibilidade, seria inútil procurar em correntes de ar e água ou em combustíveis esta potência motriz. Deveríamos ter à nossa disposição uma fonte inexaurível donde extraí-la à vontade." (* The motive power of heat-S.Carnot in Lindsay, 1975-pag 237).

Assim ele também define o que ficou conhecido como movimento perpétuo de segunto tipo, e enfatiza que a criação de potência motriz ilimitada é contrária às idéias das leis da mecânica. Nos casos de Mayer e Joule, a noção de calor como movimento em seus trabalhos é concluído do fato que calcularam um equivalente mecânico para quantidade de calor, que pode ser diminuída ou aumentada, o que poderia implicar que calor não pode ser substância. Outros, ao contrário, por este mesmo motivo - de tanto o calor como o trabalho produzido, estimados como quantidades equivalentes, parecer conectado com o consumo de material - viam uma concepção substancial de calor presentes nesses trabalhos citados.

Mas Mayer não era absolutamente da opinião de que calor era movimento molecular; ao contrário, ele acreditava que o calor era uma forma totalmente nova de energia, e mantinha somente sua equivalência com a energia mecânica. Conforme R. Lindsay, foram os experimentos eletromagnéticos de Joule, com o seu consequente cepticismo em relação a teoria do calórico, que o fez começar a suspeitar da existência de uma relação definida entre o efeito mecânico necessário para produzir corrente elétrica de um gerador eletromágnetico e o calor total resultante do fluxo daquela corrente. Para Kuhn, Mayer se opôs veementemente à teoria dinâmica até o fim de sua vida, enquanto que Joule aderiu a ela, mas sem mostrar qualquer dependência dela em relação a sua enunciação da conservação de energia.

A equivalência das interpretações mecânica e calórica do calor foi mostrada por Lavoisier, Laplace e Biot quando da aplicação da conservação de energia (Kuhn 1962). A importância retrospectiva que se dá, portanto, à teoria mecânica do calor na derivação da

1ª lei, é estatística no sentido de que um "indivíduo sozinho não muda a comunidade". Uma nova proposição é aceita quando um número mínimo necessário de indivíduos tem a potencialidade de adotá-la. Geralmente, ela é muito discutida com questões importantes da época em que se dá a sua emergência. No caso da conservação de energia, as discussões sobre as duas teorias coexistentes sobre a natureza do calor eram necessárias para comprovação. A necessidade de argumentar sobre a validade da noção de calórico também justifica o estudo de sua influência no conceito de energia e entropia. Da mesma forma que quando se pensa muito sobre uma dúvida que se tem, o que fica na superfície da consciência coletiva é a luta que guia a erupção de soluções. Uma idéia muito radical, que está longe da superfície, não chamará atenção a não ser que dê conta de problemas de fronteira ou inclua ecos apropriados para o contexto, i.e., ditos na forma que se espera ouvir. Se uma teoria não é obviamente superior à outra, os que tomam o partido dela, vão usar de todas as oportunidades possíveis para compará-la. A velha teoria dinâmica do calor foi obscurecida pelos importantes resultados de Lavoisier e Black, mas voltou a brilhar quando Rumford e Davy se opuseram à teoria material.

Não obstante a maioria dos pioneiros da conservação terem aderido à teoria dinâmica, alguns anos mais tarde, defensores da energia como objeto principal da ciência, os assim chamados energeticistas, se oporiam a essa mesma teoria mecânica do calor para a qual o atomismo era favorável. Veremos no ítem seguinte que os representantes do energeticismo pensavam a energia como substância, assim como Leibniz via sua força substancial. Veremos que, para o energeticista Mach, o moderno princípio de energia resulta de uma concepção substancial de trabalho e de toda mudança de condição física, que, ao ser revertida, produz trabalho. O princípio de movimento perpétuo excluso, já citado, ele considera muito proximamente relacionado, mas não idêntico, ao moderno princípio de energia. A questão sobre a natureza do calor então continua. Ela foi parte para a formulação do princípio de conservação, principalmente para Mohr, mas não se encerrou com esta. Questão esta que esteve 'próxima à superfície da consciência' desde o

final do século XVI (começo do século XVII), e adquiriu uma significância depois de 1830, devido à disponibilidade de processos de conversão e interesse pelas máquinas, fatores selecionados por Kuhn, já mencionados.

I) Joule

O inglês James Prescott Joule (1818-1889), experimentador meticuloso, começou com noções semelhantes às de Mayer: de que alguma relação deveria existir entre trabalho mecânico e gasto de calor. Assim como Carnot, começou com um simples problema técnico e procedeu por estágios até o conceito de conservação de energia.

Seu trabalho escrito de 1838, conhecido como seu primeiro, é devotado ao projeto de motores eletromagnéticos que, em sua opinião, eram mais eficientes que os motores a vapor. Ao mesmo tempo em que se decepcionou com essa idéia, descobriu uma relação entre calor e corrente elétrica. O interesse por esses motores é explicado pelo contexto social: em 1837, o eletromagnetismo era uma ciência nova, tendo absorvido a eletricidade, que havia aumentado o status da ciência, com seu já longo sucesso (desde o século XVIII). Desencorajado com o desenho de motores, partiu para as suas baterias, o que o fez absorver a teoria química de galvanismo. Isso o levou à primeira grande série de experimentos, que culminou numa publicação, em 1843, que já continha um início de ligação com o conceito de energia (Lindsay 1975).

Na conversão das forças mecânicas das afinidades químicas em correntes voltaicas, Joule havia provado que o calor desenvolvido pela corrente voltaica não é gerado pela bateria. Mas ele é definido para as mudanças químicas que ocorrem ao mesmo tempo, e que, portanto, depende somente do arranjo da bateria, considerando também o fato de que o calor estava latente nesta. Apesar de ter determinado os valores de 1.106.160 e 1.842.600 libras levantados à altura de um pé, como as forças mecânicas das afinidades químicas que produzem as correntes voltaicas por libra de zinco (na célula galvânica aparece um calor de associação equivalente ao consumo do zinco), ele parece

não dar muita importância ao papel do zinco. Ele não percebe a relação entre o trabalho que sua máquina pode realizar e a fonte de trabalho, isto é, o consumo de metal. Se uma corrente é estabelecida, uma parte deste calor aparece no condutor da corrente. Joule encontrou que metade do calor do circuito voltaico é convertido em potência mecânica útil, menor que o desenvolvido na máquina à vapor.

Ao tentar provar que também no motor eletromagnético o calor não é gerado pelas bobinas, como se fosse uma substância, mas é meramente transferido das bobinas ao girarem perante os polos de um ímã permanente, concluiu de seus experimentos que:

*"O calor desenvolvido pela bobina da máquina eletro-magnética é governado pelas mesmas leis que aquelas que regulam o calor desenvolvido pelo aparelho voltaico, e existe também na mesma quantidade sob circunstâncias comparáveis."* (Lindsay 1975).

Por conseguinte, Joule determinou experimentalmente o equivalente mecânico do calor, adotando o resultado médio obtido de 13 experimentos dados nesse mesmo artigo de 1843, como a seguinte relação numérica:

*"A quantidade de calor capaz de aumentar a temperatura de uma libra de água por um grau da escala de Fahrenheit é igual a, e pode ser convertido em, uma força mecânica capaz de elevar 838 libras à altura perpendicular de um pé."* (Lindsay 1975).

Os valores mecânicos de calor obtidos de seus 13 experimentos variavam nas unidades modernas de 4.5 a 5.46 joules por caloria. Em 1847, efetuando experimentos com atrito, encontrou um valor mais próximo do que é aceito hoje: 4.2 joules por caloria.

A descoberta da convertibilidade mútua de calor e 'potências mecânicas' permitiu que Thomson estabelecesse a teoria dinâmica do calor numa base firme. A definição precisa do valor numérico do equivalente mecânico do calor conferiu a incorporação de suas teses numa série de outros trabalhos, que vieram a compor a Termodinâmica Clássica. O trabalho de Joule resultou na prova final de que calor era um modo de movimento.

J) Helmholtz

Kuhn garante um lugar para Helmholtz na sua lista de pioneiros por causa de sua filosofia da natureza, por ter fornecido subestrutura quantitativa para generalização da formulação da correlação de várias forças físicas e por ter, embora tarde, mencionado os processos de conversão. Helmholtz, médico que, aos 26 anos, em 1847, formulou pela primeira vez o princípio da conservação em forma matemática, foi colocado por Elkana em posição mais vantajosa ainda.

Para Elkana, Helmholtz combinou em si todos os requisitos necessários, ou fatores que constituíram uma base sólida para a enunciação do princípio de conservação: 1) uma crença, a priori, em princípios de conservação em geral na natureza; 2) percepção de que não é suficiente que as duas formulações da mecânica - a vetorial/Newtoniana e a escalar/analítica/Lagrangiana - são matemáticamente equivalentes; elas devem também estar correlacionados conceitualmente; 3) uma consciência do problema fisiológico de 'calor animal' ou, mais geralmente, de 'forças vitais', e uma crença de que estas são reduzíveis às leis da natureza inanimada, e 4) uma certeza de matemático de que, qualquer que seja a entidade que é conservada na Natureza, ela poderia ser expressa em termos matemáticos, e uma habilidade de matemático para executar a tarefa (Elkana 1974).

Desses fatores, o 3) é o que mais se aproxima do nosso "gota d'água". Através de seu pai, Helmholtz já estava familiarizado com uma filosofia da natureza quando foi cursar medicina. Por outro lado, já tinha um interesse nas ciências físicas, embora seu pai não tivesse recursos para lhe oferecer instruções nesta área. Por este motivo, ele se aplicou primeiro para o instituto de medicina, onde conheceu os fisiólogos Johannes Mueller, Bruecker e Du Bois-Reymond. O contato intelectual com o professor Mueller, que foi muito estimulante, influenciou-o a ligar fisiologia com física e a tentar reduzir as leis orgânicas da natureza em leis inorgânicas. Em suma, consideramos a vontade de encontrar evidências no ataque ao vitalismo, sob as influências de Mueller, como o fator psicológico primordial.

Cabe comentar aqui a semelhança dos caminhos de Mayer com Helmholtz. Ambos eram médicos, alemães, guiados por uma filosofia que procurava uma interpretação unificada da natureza e trabalhavam com fisiologia[54]. Os seus interesses tanto em biologia quanto em física os motivavam a encontrar uma conexão que as pusessem juntas. Essa tendência a tentar explicar os fenômenos vitais em termos de processos físicos acompanhava os grandes resultados da época de Coulomb, Lavoisier, Ohm, Gauss e de Weber, junto com o estabelecimento da Química como ciência.

Contudo, a noção de uma força vital, trabalhando independentemente de outras forças dentro do organismo, era ainda muito forte na época. Helmholtz se empenhava em entender como uma força assim desaparecia com a morte, sem que nada aparecesse em seu lugar. Além disso, seu método sério de trabalho, apreendido de Mueller ("somente experimento metódico e definido podia tornar os princípios gerais da ciência inteligíveis") o levou à busca de uma base segura para as suas experiências, base esta que encontrou na matemática, a qual ele dominava bem, devido aos seus estudos particulares (Koenigsberger 1965).

Uma importante consequência da formulação matemática do princípio de conservação por Helmholtz é o mais nítido delineamento do conceito de energia, diferenciando-o do conceito de força. Tanto Mayer quanto Grove, Joule e Helmholtz usaram a palavra 'força' quando tentavam estabelecer o princípio de conservação de energia. O conceito de energia ficou somente separado e distinto do de força após[55] o

[54]Podemos abrir um parênteses aqui para falar sobre moda, isto é, quando uma disciplina aglutina um grande números de pessoas na mesma época. No presente, a moda é mais rápida, por exemplo na biologia, os alunos de graduação da USP foi tida em 1986 como 'geração Jacques Cousteau', mas já no ano seguinte os novos alunos escolhiam em massa a área de biologia molecular, por causa da engenharia genética, que começava a crescer rapidamente. Em termos de década de 80, podemos dizer que a ciência ambiental, com preocupações ecológicas, a engenharia genética e as ciências publicitárias (com estudos de relação entre linguagem em marketing, jornalismo, midia e o inconsciente coletivo), foram as disciplinas que mais puxaram alunos para as universidades brasileiras paulistas.

[55]Com a palavra após, queremos dizer que, durante o estabelecimento da primeira lei, nem mesmo os autores dela tinham muito evidentes todos os detalhes de seu alcance.

estabelecimento desse princípio (e da formulação Lagrangeana), tendo seu significado mais claramente demarcado.

Esse episódio histórico nos ensina que, ao lidar com os alunos que confundem força com energia, não seria conveniente dizer que eles estão errados. Devemos deixar bem claro, isto sim, que os dois conceitos adquiriram significações diferentes. Entretanto, se, ao responderem à pergunta "o que é energia para você?" eles responderem "é uma força", o professor poderia desanimá-los se desse apenas uma simples resposta sêca e negativa: "não, está errado". De certa forma, a resposta tem sentido histórico e representa um estágio de evolução no pensamento cotidiano, pois ambos estão inter-relacionados. O professor pode aproveitar a oportunidade para informar ao aluno que o conceito de energia era chamado de força por alguns pioneiros da descoberta, e que teve origem no conceito de força. E que, após longos estudos sobre ela, o próprio conceito de energia foi ficando cada vez mais claro ao longo de suas aplicações.

Outrossim, pode-se acrescentar um comentário sobre o desenvolvimento em ciência: que estava num 'estado de fluxo' na época de sua criação. E que, como uma criação científica, à época em que estava sendo sintetizada, o significado do conceito estava mais ou menos vago na superficie da consciência dos cientistas: nenhum pioneiro estava pensando exatamente a mesma coisa. (Bohm 1980, Elkana 1974)

As informações históricas possibilitam ao aluno se aproximar e se apoderar da criação científica, como uma empresa humana construída pelo esforço do homem, e que evolui através da adição desses esforços. É na ação integrada com o pensamento que surge a compreensão. O professor não apenas poderia como também deveria apresentar a ciência não somente com seus resultados prontos e acabados, mas como processos em evolução.

K) Clausius

Rudolf Clausius, junto com Thomson e Rankine, estabeleceu a equivalência dos trabalhos anteriores de Mayer, Joule e Helmholtz, e conciliou estes resultados com os de Carnot, que se acreditava contradizê-los. Sir William Thomson (Lord Kelvin) foi o primeiro a notar as aparentes discrepâncias entre as teorias de Carnot e de Joule. A necessidade de clarificação levou Clausius a reorganizar o enunciado da primeira lei e a expressar o segundo princípio fundamental da termodinâmica.

Joule provou, considerando o calor como um estado de vibração, que o calor deveria desaparecer se o trabalho mecânico fosse feito às suas custas. Kelvin reconheceu a importância e o significado destes resultados, mas também via que os resultados de Carnot, derivados de hipóteses que contradiziam os de Joule, eram igualmente valorosos. A teoria de Carnot, em que a quantidade de efeito mecânico obtido do calor envolvia somente intervalos de temperatura e quantidade de calor, interessava a Kelvin. Este estava empenhado em estabelecer uma escala de temperatura absoluta, i.e, um termômetro que não dependesse da substância termométrica. Mas o calor de Carnot era conservado, fluía inalterado do corpo de temperatura mais alta ao de temperatura mais baixa, enquanto que no de Joule a quantidade que não atingia o corpo de temperatura mais baixa era convertido em trabalho. Mas, em ambos os casos, o calor não é perdido. O que é perdido em seu lugar? Kelvin sente a necessidade de uma teoria do calor mais completa, que se integrasse à conservação de energia. Kátya Margareth Aurani, em seus estudos sobre as origens da 2ª lei e do conceito de entropia, expõe o raciocínio de Clausius, desenvolvido ao mostrar que não existia contradição entre os desenvolvimentos de Carnot e as implicações da conservação da energia: se há transformação de calor de uma temperatura em calor de outra temperatura, há também uma quantidade que se conserva, o que não descarta a idéia de que uma outra quantidade se altera. Clausius enunciou, em 1850, sua formulação como premissas conjuntas da 1ª e 2ª lei, mas reconhecendo a existência independente de cada lei. Thomson o seguiu um ano mais tarde. (Aurani 1986)

Clausius considera inicialmente uma quantidade de calor Q', transformada em trabalho num processo reversível. Diz que em todos os processos cíclicos outra quantidade de calor Q deve ser necessariamente transferida de um corpo mais quente à temperatura absoluta[56] $T_1$ para temperatura $T_2$. Aqui Q' depende somente de Q,$T_1$,$T_2$, mas é independente das substâncias usadas e do caráter do processo, contanto que não seja acompanhado por perda. Devido a este último fato, é suficiente encontrar a relação para alguma substância química bem conhecida, digamos um gás, e algum processo simples definido.

A relação encontrada será válida geralmente. Obtém-se assim, $Q'/Q'+Q = T_1 - T_2 /T1$ (I), isto é, o quociente do calor disponível Q' transformado em trabalho dividido pela soma dos calores transformados e transferidos (a soma total usada). O assim chamado coeficiente econômico do processo é $T_1$-$T_2$/ $T_1$, que é a porção da quantidade de calor que é tranformada em trabalho num processo reversível, enquanto que o resto é tranferido para o nível mais baixo $T_2$ (Ostwald 1910). Portanto, a eficiência dependia exclusivamente da diferença entre as temperaturas dos dois reservatórios de calor, conforme encontrado por Carnot anteriormente.

Nos processos térmicos reais, que são irreversíveis, W. Thomson chamou atenção para o fato de que o calor de $T_1$ só volta para $T_2$ com dissipação de energia mecânica. Isto quer dizer que, enquanto todo trabalho é tranformado em calor, o calor só é parcialmente transformado em trabalho. Supondo os processos cíclicos fechados reversíveis, Clausius encontrou para mudanças contínuas de temperaturas a expressão $\int dQ/T = 0$, que ele chama de entropia, e afirma que, para processos reversíveis, ela tende a aumentar para um máximo. Em outras palavras, todas as mudanças nas quais a entropia aumenta ocorrerão espontaneamente.

[56]Por isto ele quer dizer a temperatura de uma escala Celsius, o zero do qual está 2730 abaixo do ponto de derretimento do gelo - quantidade de calor não depende da natureza do corpo.

## 2.3 - DEBATE ATOMISMO X ENERGETICISMO

Como vimos no ítem anterior, as idéias termodinâmicas de Carnot e Mayer culminaram na formulação da lei de conservação de energia. Estas idéias influenciaram o pensamento de muitos cientistas e filósofos, que, entusiasmados com o sucesso desse princípio, criaram até uma ciência própria, a energética. Robert Mayer, o primeiro a enunciar claramente o princípio da energia, tinha idéias filosóficas que rejeitavam a realidade de átomos e moléculas, opondo inferência além das aparências, i.e., hipóteses.

Sadi Carnot concluiu que a eficiência das máquinas a vapor era a mesma entre os mesmos níveis de temperatura, independentemente do modo de operação da máquina ou do material usado para transportar o calor e realizar trabalho. A termodinâmica podia, então, dispensar as hipóteses atômicas, e ser desenvolvida sem qualquer referência às partículas materiais ou explicação de força mecanicisticamente. Muitos físicos advogavam a Termodinâmica como ciência pura, baseada somente na observação, experimentação e em leis gerais. Esse argumento ia contra a teoria cinética dos gases de Boltzmann, baseada em noções de átomos e moléculas, com a suposição de que calor e entropia consistiam de movimento mecânico.

Boltzmann, ao se esforçar para entender os ataques filosóficos contra suas contribuições para a teoria cinética dos gases e a física clássica em geral, acabou concluindo a indispensabilidade da teoria atômica. Alertava também para o perigo de desprezar prematuramente descobertas sólidas do passado na correria selvagem por novas idéias, apesar de simpatizar com a maioria das descobertas revolucionárias de sua época. Tomou então para si o papel de

*"contribuir de tal modo que, quando a teoria dos gases for novamente ressuscitada, não muito precisará ser redescoberto".*

Os debates (Leibnitz x Newton, Bohr x Einstein...) que a história da pesquisa científica tem nos apresentado como parte do processo de construção do conhecimento

estão cheios de elementos ricos e frutíferos de elaboração das novas teorias. Ao estabelecer antinômias e conflitos necessários para as descobertas e criações, e também para a compreensão como ação do pensamento, contribuem na delimitação e reorganização das teorias antigas e de seus conceitos e na determinação de seus objetos. Nessa perspectiva, as controvérsias, contradições e polêmicas não dividem os debatedores e nem as idéias contrárias em vencedores ou vilões; o que resulta é uma maior consistência das teorias, que têm seus objetos ampliados e precisados (Wallon 1942).

Na discussão sobre quais eram os conceitos mais fundamentais para as teorias sobre a matéria no final do século XIX, nascia a Mecânica Estatística, ao ter seu objeto mais definidamente demarcado. Esse debate, que ficou conhecido como "Energeticismo x Atomismo", teve como grandes protagonistas, por um lado, Boltzmann, físico, filósofo, pensador com idéias expostas em química e biologia, e defensor do atomismo; por outro lado, o grupo dos energeticistas, Wilhelm Ostwald (1853-1932), filósofo natural e co-fundador da físico-química. Ernst Mach ficou conhecido como o maior representante do Energeticismo, um dos primeiros a reconhecer e promover o significado geral das leis de energia. Entretanto, ele era crítico ao Energeticismo, e não se associaria com este: Mach mantinha que todas as teorias, quer atomísticas ou energéticas, eram meramente auxílios provisionais para a ciência atingir seu objetivo final de simplicidade na forma de funções matemáticas. Porém, ele nunca rejeitou explicitamente o Energeticismo, ocasionalmente apoiando Ostwald, pois, de acordo com Blackmore, Mach precisava de Ostwald como um aliado contra o Atomismo, ao qual ele explícitamente se opunha[57]. Georg Helm, Robert Mayer e o tcheco Frantisek Wald também apoiavam o Energeticismo de Ostwald e Mach; e do lado de Boltzmann estavam Felix Klein, Josef Stefan e Loschmidt, que trabalhavam

[57]A relação de Mach com o Energeticismo é esclarecida também por Holton, que diz: "...os oponentes das visões materialísticas, mecânicas ou cinéticas de fenômenos naturais eram clamorosos. Eles objetavam à teoria atômica e ganharam força através das vitórias da Termodinâmica, um campo em que nenhum conhecimento ou suposição era requerido, em relação à natureza detalhada de substâncias materiais (por exemplo, para uma compreensão de engenhos de calor). Ostwald foi um crítico dominante da interpretação mecânica dos fenômenos físicos, tal como foram Helm, Stallo e Mach". A energética era um instrumento para atacar o positivismo lógico de Carnap e Ayer e de anti-atomismo. (Caneva 1993).

arduamente na teoria atômica estabelecendo a reputação do que ficou conhecido como a escola de Viena [58].

Mas, muito antes disso, a questão sobre a natureza da matéria era tratada pelos jônicos, que polemizavam sobre os constituintes básicos da natureza: Anaximandro (570 A.C.) dizia que a substância básica era o "indefinido", infinito em extensão, mas sem as qualidades associadas com as coisas materiais. O fogo na forma de éter que circunda o mundo era a matéria principal para Heráclito de Ephesus (540-480 A.C.), cujo sistema de teorias físicas foi tomado, divulgado e alterado por Zeno (355-263 A.C.), fundador da escola estóica. Parmênides, nascido a 515 A.C. em Elea, último dos monistas[59] (grupo de pensadores que procuravam explicar o mundo em termos de uma única unidade básica), cuja teoria de um todo constante, que não muda, embora pareça oposta ao atomismo de Lucrécio, com seu incessante movimento, na verdade direcionava para este. Empédocles (450 A.C.), por sua vez, insistia que todas as coisas saíam da terra, ar, fogo e água, os quatro elementos primeiros, responsáveis por toda a criação; o movimento era o atributo inerente das coisas para os seus seguidores. Agora a matéria de Anaxágoras (500-428 A.C.) era composta por partículas infinitamente divisíveis: cada uma, embora pequena, continha dentro de si porções de todos os tipos de objetos. Já Lucrécio defendia veementemente o atomismo de Epicuro, que tomou a física de Leucipo (440 A.C.) e Demócrito (420 A.C.), que começam com a lei da permanência da matéria, que existia em forma de átomos- partículas indivisíveis, indestrutíveis, infinitos em número, todas compostas da mesma substância, com formas infinitamente variadas, cada uma delas possuindo como suas propriedades únicas forma, tamanho e massa variando diretamente com tamanho, e movimento incessante, devido ao vácuo entre elas, apesar de não terem vácuo dentro deles.[60]

---

[58]Havia outros fisicos e filósofos que trabalhavam com a hipótese atomística, ou que a apoiavam de uma forma ou de outra, como Meyer, Exner, ou mesmo Helmholtz, que também apreciava o princípio de mínima ação, um dos pioneiros da descoberta da lei de conservação de energia, mas que não tomaram parte na 'luta' à maneira de Boltzmann.
[59]Thales de Mileto foi o primeiro.
[60]Para maior detalhes, ver dissertação de M. Miranda de Oliveira.

Atomistas e energeticistas do final do século XIX "definiam terrenos filosóficos aparentemente em conflito". Ainda com a preocupação sobre as teorias da matéria (se deviam ou não fazer suposições especiais com relação ao tipo de matéria), mas com questões novas da época, que excluíam imutabilidade e indivisibilidade, (mas incluíam um agregado com grande número de partículas). "Os primeiros acreditavam na possibilidade de uma explicação mecânica dos fenômenos físicos em seus constituintes últimos, enquanto os segundos tinham como axiomas fundamentais a diversidade qualitativas da energia e sua tendência à degradação" (Rodrigues Mattos 1992).

Mach, que era considerado o grande representante dos energeticistas, mantinha um ponto de vista filosófico (que continha ramos como positivismo, operacionalismo, empiricismo) que o levava a só postular a existência de entidades que podiam ser observadas por métodos que já eram disponíveis. Este ponto de vista o levou a se refrear até mesmo a levantar a questão da existência do átomo. Uma vez que era possível tratar as regularidades de larga escala diretamente em termos só de conceitos macroscópicos[61], Mach insistia que o conceito de átomos era sem significado e mesmo disparatado, porque não era então possível observá-los como tais. Ele diz:

*" As ininteligibilidades fundamentais nas quais a ciência está fundada devem ser fatos, ou, se elas são hipóteses, devem ser capazes de se tornarem fatos. Se as hipóteses são escolhidas de modo que seu objeto (gegenstand) não possa nunca apelar aos sentidos e, portanto, também nunca possa ser testado, como é o caso com a teoria molecular mecânica, o investigador tem feito mais do que ciência, cujo objetivo é fatos, requer dele - e este trabalho de fazer mais do que o necessário é um mal." (Mach 1910).*

Seu ponto de vista epistemológico era baseado num estudo da fisiologia dos sentidos, no qual era recomendado um arranjo de fatos, de acordo com o princípio de economia de pensamento. Helm estimou o princípio da economia de pensamento e a tendência do tratado de Mach "A história e raiz do princípio da conservação de trabalho"

---

[61]No entanto, as críticas de Botzmann em relação ao método dos físicos energeticistas era exatamente o fato de achar que não tratava bem dos problemas de larga escala, como os gases: *"O que pareceria ser mais difícil é dar uma descrição puramente do ponto de vista da energética de todos os casos onde a energia mecânica é transformada em calor, fenômenos de fusão e vaporização, propriedades dos gases e vapores e etc, ao passo que são precisamente estes fenômenos que se tornam tão inteligíveis por meio de teoria molecular e a teoria mecânica especial do calor."* (in Boltzmann - Theoretical Physics and Philosophical problems).

(1871) em direção a uma ciência de energética. Ostwald, atraído pelas noções de economia, substância, e hipótese de Mach, supunha a existência de um referente real para a 'substância' de Mach. Aquilo que persistia por todas as mudanças e transformações era a definição de 'substância' para Mach, que "duvidava que qualquer referente pudesse qualificar". A *energia* como a única 'substância' que persistia por todas as mudanças e transformações foi adotada por Ostwald após as sugestões de Rankine, Popper-Linkeus e Helm, na tentativa de uma resposta para a realidade da substância. *"The Science of Mechanics"* (1883), de Mach, foi um grande contribuidor para o antiatomismo, e impressionou até mesmo Boltzmann filosoficamente. (Blackmore 1972)

Voltando à questão da indivisibilidade, na verdade ela não foi excluída deste debate, mas apareceu com caráter novo, sendo a imagem mental que estava por trás da origem de suas hipóteses principais. Ninguém mais atribuía indivisibilidade ao átomo, no sentido de questionar se ele podia ser dividido em partículas menores. Os cálculos mostravam que os életrons eram ainda muito menores que os átomos. O que estava em jogo era qual a descrição que melhor aproximava as propriedades observadas da matéria: partir da hipótese de que a subdivisão pode ser levada ao infinito, ou partir das menores unidades concebíveis no momento, dispensando a suposição de indivisibilidade do átomo. Para os atomistas, derivar as leis do mundo microscópico a partir do macroscópico corresponderia mais à realidade se não se estendesse a subdivisão mental da matéria indefinidamente, mas se parássem nos átomos ou elétrons, i.e., nas menores partículas concebíveis no momento. Antiatomistas que concebiam a matéria como um contínuo mantinham a lei do pensamento de que não pode haver limite para a divisibilidade da matéria. Boltzmann, o principal atomista, rejeita tomar a continuidade da matéria como a priori, pois essa é apenas uma hipótese, um modelo de realidade. Para ele, pode-se chegar na continuidade ao tomar um número grande mas finito de partículas, considerando as menores unidades concebíveis no momento, ou seja, partir da hipótese que a matéria é constituída de átomos (Broda s/d).

> *"Se desejamos obter uma imagem do continuum em palavras, primeiro temos que imaginar um grande, mas finito, número de partículas com certas propriedades e investigar o comportamento do ensemble de partículas. Certas propriedades do ensemble podem aproximar um limite definido conforme deixamos o número de partículas aumentar cada vez mais e seus tamanhos diminuir sempre mais. Destas propriedades, a gente então pode asseverar que eles se aplicam ao contínuo, e, em minha opinião, esta é a única definição não contraditória de um continuum com certas propriedades."* (Boltzmann pg 169).

Em seguida, ele afirma que a outra direção, obter a hipótese atomista através da hipótese do contínuo, é também possível:

*"Os processos de pensamento pelos quais primeiro examinamos as propriedades de um ensemble finito e então deixamos o número de membros crescer extraordináriamente permanece o mesmo em ambos os casos."* (Boltzmann s/d).

Em ambos os casos, ele quer dizer tomar o finito, ou o infinito como o limite de quantidades finitas crescendo firmemente. Mas o problema era que esse caminho não era aceito pelos fenomenologistas, que evitavam a hipótese atomística, reinvindicando que, ao dispensar a noção de átomos, eles tinham livrado a ciência de uma suposição não comprovada. Ao apontar que uma hipótese leva à outra, Boltzmann tentou demonstrar que essa liberação era só aparente.

As hipóteses atomísticas a que Mach se refere como ainda não comprovadas têm por trás outras hipóteses - matéria formada por partículas individuais pequeníssimas só visíveis quando combinadas, e movimentos mútuos irregulares dessas partículas (teoria mecânica do calor). De acordo com Boltzmann, estas últimas também são possíveis de se obter por meio de suposições subsidiárias adequadas, do próprio conceito de energia, que o atomismo também reconhece como um dos mais importantes.[62] Boltzmann acha difícil a energética evitar tais hipóteses. Dizia que o único modo de construir a mecânica como um todo seria recrutar hipóteses auxiliares para cada derivação de equação de movimento.

Para Boltzmann, a pressuposição de que os corpos são sistema de pontos materiais nos leva completamente à área do atomismo, pois as forças que não agem uniformente em todos os pontos materiais fazem surgir vibrações irregulares que engolem parte da energia cinética visível, ou seja, a transforma em calor. Helm assumia os corpos como sistema de pontos materiais ao obter as equações de movimento e as equações Lagrangianas a partir do princípio de energia. Mas, nessa época, não somente o sucesso da lei da conservação de energia, mas também a abordagem analítica, com a decomposição da expressão da energia em dois fatores e um consequente teorema variacional como a lei fundamental de toda a natureza, entusiasmava os energeticistas. A formulação Lagrangeana se tornou um poderoso instrumento matemático: fez as funções energéticas aparecerem sob uma nova luz. Através das equações de Lagrange, podia-se deduzir o princípio de conservação de *vis viva* , mas, mais importante que isso, o método analítico não requeria o conhecimento de todas as forças agindo no sistema: bastava saber apenas uma única função escalar, que determinava toda a dinâmica do problema. Além disso, mesmo os que não iam ao extremo de encarar a energética como doutrina[63], mas apreciavam as vantagens metodológicas da

---

[62] Botzmann duvidava que uma física sem hipóteses fosse possível, e enfatizava qua a física mecanística continha menos suposições arbitrárias que a física do contínuo ou energética.

[63]Aqui é só maneira de dizer. A energética nunca chegou a virar dogma, mas seus seguidores foram avisados deste perigo pelo próprio atomista Boltzmann (o atomismo mais antigo, devido à sua maior idade, foi previamente tido como dogma).

abordagem analítica, tinham dificuldade em apoiar o atomismo; no fim do século passado, na Alemanha, por exemplo, a teoria do gás era tida como fora de moda e era muito atacada[64]. A atitude de autoridades como Ostwald, Helm e Mach chegava a ser hostil: gostavam de se referir a Boltzmann como o 'último pilar' do atomismo tradicional[65] (Broda s/d).

Mach chamava a atenção para a investigação da dependência dos fenômenos uns sobre os outros como o objetivo da ciência natural (positivismo na Alemanha):

.

*"Talvez se pudesse pensar que as regras para os fenômenos que não podem ser percebidos nos próprios fenômenos mesmos, podem ser descobertas por meio da teoria molecular. Só que não é assim. Numa teoria completa, para todos os detalhes do fenômeno, detalhes da hipótese devem corresponder, e todas as regras para estas coisas hipotéticas devem também ser diretamente transferíveis aos fenômenos. Mas então moléculas são meramente uma imagem sem valor."* (Mach 1910)[66].

A sua energética era um tipo especial de fenomenologia, já mencionada acima, mas Boltzmann acusava Mach de ser também um fenomenologista num sentido mais amplo do termo, que considera a visão de que os fenômenos de movimento são essencialmente mais fundamentais que todos os outros: nas várias esferas dos fenômenos, suas leis fundamentais e noções derivadas delas devem ser empregadas onde a descrição tem um papel máximo. As analogias, que são consideradas aí apenas auxílios efêmeros à percepção, na fenomenologia energética dão a base para a interpretação ou explicação dos fenômenos naturais, pois elas lidam com o comportamento da energia nos seus vários modos de manifestação (Boltzmann 1896). No entanto, as analogias da energética não são mecânicas como as da fenomenologia.

Elas (analogias no comportamento de formas diversas de energia, inclusive) são frequentemente baseadas na identidade de forma presumida por certas equações quando são feitas certas aproximações. Por exemplo, equações de formas análogas valem também para a transformação de uma em outra das outras formas de energia, elétrica, magnética, radiante e etc. Ostwald diz que os dois tipos de energia da mecânica clássica, a cinética e o trabalho, não exaurem a multiplicidade das energias mecânicas (pensamento descartiano):

---

[64]Qual seria a situação nas universidades alemães? Muita competividade? Exclusão de atomistas e judeus? Não nos aprofundaremos nessas questões aqui. Ver dissertação de mestrado e doutorado de Olival Freire, que faz referência à ideologia alemã em Marx.

[65]O termo último pilar é devido às mortes de J. Stefan, fundador da escola de atomismo físico, em 1893, de H. Hertz e H. Helmholtz, em 1894, e J. Loschmidt, em 1895, e Emil du Bois-Reymond, no ano seguinte. Boltzmann também havia arrumado uma expressão para Mach: 'quebra-nozes' (e também Hofrat) (Blackmore 1972).

[66](Einstein usou o argumento no artigo EPR)

*"Se por energias mecânicas entendemos todas as energias nas quais mudanças de espaço estão ligadas com mudanças de energia, há tantas muitas formas diferentes como há conceitos espaciais que parecem aplicáveis. Forma, Volume e Superfície de corpos no espaço são especialmente reconhecíveis como o campo de ação de energia, que mostra diferentes propriedades ou multiplicidade de acordo com cada uma destas relações." (Ostwald 1910).*

Por exemplo, a equação (I) do ítem anterior é análoga à equação:

$W' \int W' + W = H_1 - H_2 \int H_1$

quando se faz W (energia tranferida) igual a $W_2$ , e onde $W' = W_1 - W_2$ denota a energia tranformada. $W_1 = PH_1$ é a energia do peso P numa altura $H_1$. Se esta energia é depositada num nível mais baixo $H_2$, temos $W_1/H_1 = W_2/H_2$, que vale para toda forma de energia. Se considerarmos $H_1$ e $H_2$ potenciais, essas equações se aplicam à eletricidade. Para Mach, esta é a lei transformativa da energia, a tranformação de trabalho em outras formas de energia: "Toda transformação de um tipo especial de energia A é acompanhada por uma queda de potencial daquele tipo específico de energia". Ele faz ,no entanto, uma restrição ao calor quanto à transformação (perda de energia) não estar ligada com a queda de potencial. Daí conclui que o calor é uma substância material. Isso vai diretamente contra a hipótese atomística, de que o calor é movimento.

No que tange ao ponto de vista epistemológico de Mach, Boltzmann o acusa de afastar toda a visão mecânica unilateral e metafísica da física:

*"É o resultado de má concepção acreditar, como as pessoas acreditam no presente, que fatos mecânicos são mais inteligíveis que outros, e que eles podem fornecer a base para outros fatos físicos. Esta crença surge do fato de que a história da mecânica é mais velha e mais rica que aquela da física, de modo que temos estado em relações de intimidade com fatos mecânicos por um tempo maior. Quem pode negar que, num tempo futuro, fenômenos elétricos e térmicos não parecerão para nós assim desse modo, quando tivermos chegado a conhecer e estar familiarizado com suas regras mais simples? ...Um fato fundamental não é absolutamente mais inteligível que outro: a escolha de fatos fundamentais é uma questão de conveniência, história, e costume."* (Boltzmann in Broda).

Mach fala sobre a insuficiência da teoria atômica, por não tratar de fenômenos macroscópicos. Além de atacar a teoria atômica, por não permitir experiência positiva de seu objeto, o átomo, e não poder ser percebido pelos sentidos, critica a teoria atômica molecular por ser fundamentada na mecânica. Acha injustificado pensar em átomos espacialmente, uma vez que a intuição do espaço, para ele, está ligada com a organização dos sentidos:

*"…Não se justifica imputarmos propriedades espaciais a coisas que não são percebidas pelos sentidos."* ( típico do positivismo).

Esforça-se então por situar as raízes de "sua" ciência energética fora da visão mecânica do mundo. Tenta mostrar que a raiz lógica do teorema da conservação de energia é incomparavelmente mais profunda em nossa mente que a visão mecanicista do mundo, e que ela, da forma expressa no ítem 2.1.2 anterior, estava presente desde a física de Stevinus e Galileu. Quanto às relações entre a Energética e a Mecânica, já mencionamos que Helm, a partir do princípio de energia, obteve as equações Lagrangianas e, assim, o todo da Mecânica através da transformação de coordenadas retangulares de pontos materiais e as forças agindo neles. Helm (e, em parte, também Planck) mostrou que as equações ordinárias de movimento para um sistema de pontos materiais podem ser obtidas se assumirmos que o princípio de energia se aplica separadamente para cada uma das partículas em qualquer direção arbitrária de toda coordenada (Boltzmann 1896).

Vale observar que a Mecânica referida na época como clássica não deve ser confundida com a que chamamos de clássica hoje[67]. A estrutura conceitual da Energética tinha em sua fundação dois princípios básicos: o princípio da conservação de energia e o princípio de mínima ação. Esses dois princípios considerados juntos tinham uma vantagem sobre a velha mecânica clássica, de excluir movimentos não percebidos na natureza, que eram compatíveis com a velha teoria clássica. "A fim de perceber a importância de processos exclusos que não acontecem realmente na natureza, embora admitida pela Mecânica Clássica, era absolutamente necessário ter percebido os dois princípios fundamentais da termodinâmica, i.e., a clarificação da 'entropia' - caráter conservativo dos ciclos reversíveis completos" (Elkana 1974).

Boltzmann, por sua vez, compreendia a mecânica, "o fundamento de todas as ciências naturais", e por muitas décadas ele se empenhou em interpretar fenômenos normalmente tratados em outros ramos da física em termos da mecânica. Todavia, ele não defendia uma visão do mundo puramente mecânica; com o curso do tempo, ele passou a admitir um domínio mais reduzido para ela, e expressava restrições sobre aplicações muito excessivas do termo 'mecânica' aos futuros atomistas em 1897 (Broda).

*"..Eu prontamente admitirei que seria presunção esperar que a visão mecânica do mundo de hoje se manterá eternamente mesmo nas suas características mais essenciais. Por esta razão, eu estou longe de desdenhar tentativas de encontrar equações mais gerais das quais as mecânicas são apenas casos especiais." ( Boltzmann 1904).*

[67]Chamaremos de velha mecânica clássica aquela anterior a Euler-Lagrange-Hamilton, pois esta última, apesar de, às vezes, ser denominada de anti-Newtoniana, na verdade parte da Mecânica Newtoniana, só discordavam com relação à primazia do conceito de força. Diremos abordagem analítica. (Hamiltoniana + Lagrangeana = atomista $\underline{=}$ equações diferenciais).

No entanto, até o fim de sua vida ele não abandonou a física clássica, criando até a mecânica estatística. Descreve o seu papel no campo que dominava, apesar de ter se aventurado na filosofia, e não gostaria de abandonar:

*" ...daqueles que abraçaram o velho com todo o coração eu sozinho resto; no mínimo eu sou o único que ainda luta pelo velho até onde dá. Eu considero isso como tarefa minha em vida, através da elaboração dos resultados da velha teoria clássica, tão claramente quanto possível e em ordem lógica, contribuir para esta teoria até a última gota do meu poder*. O *objetivo é que as muitas coisas boas e para sempre usáveis* (grifo nosso), *que eu estou convencido, estão ainda nela não precisem ser descobertas uma segunda vez um dia."* (Boltzmann in Broda).

Boltzmann então esclarece sua posição em relação à Mecânica:

*"Eu mesmo uma vez quebrei uma lança em favor da visão mecânica da Natureza, mas somente no sentido de que ela é um avanço colossal comparada à mais primitiva visão puramente mística. Mas a idéia de que não poderia haver nenhuma explicação da Natureza, exceto em termos do movimento de pontos materiais, cujas leis eram determinadas por forças centrais, foi muito tempo abandonada por quase todo mundo."* (Boltzmann 1896).

Boltzmann não tencionava provar que todos os fenômenos naturais podiam ser explicados mecânicamente, mas dizia que ninguém ainda havia mostrado que não podiam, mesmo que certos fenômenos fossem explicáveis de outra forma, como realmente admitia:

*"...O raio de esperança para uma explicação não-mecânica da Natureza não se originou no energismo ou fenomenologia, mas antes numa teoria atômica que supera a velha em hipóteses fantásticas, exatamente como seus blocos edificantes elementares excedem os átomos velhos em pequenez. Eu não preciso dizer que me refiro à moderna teoria do elétron. Seu objetivo é positivamente não explicar os conceitos de massa e força, a lei da inércia etc, baseado em algo mais simples e mais fácilmente entendido. Seus conceitos e leis fundamentais mais simples permanecerão sem dúvida tão inexplicáveis como no caso da visão de mundo da mecânica. Mas a vantagem de podermos derivar toda a mecânica de outros conceitos, que são em qualquer caso necessário para a explicação do eletromagnetismo, seria justamente tão grande como se reversamente os fenômenos eletromagnéticos pudessem ser explicados mecanicamente..."* (Boltzmann in Broda).

Ao mesmo tempo em que mostra que a física mecanicista não foi refutada, e sim reforçada pelas descobertas de partículas e a teoria eletromagnética (a teoria eletro-química teve seu ponto de partida na visão molecular, e somente mais tarde suas proposições foram separadas desta), tenta se defender do estereótipo de protetor da física Newtoniana e mecanística. Os conceitos de massa e força, a lei da inércia, espaço e tempo introduzidos como absolutos eram pontos não elucidados, que levantavam restrições contra as fundações da Mecânica Newtoniana. Na formulação das leis do movimento, interpreta-se que Newton considera o movimento dos corpos como sendo absolutos no

espaço; mas a nossa experiência só nos dá a mudança relativa da posição dos corpos, o espaço absoluto não nos é acessível à observação. Agora, o conceito de um espaço absoluto vem junto com a formação de uma lei de inércia simples. A lei de inércia define o espaço absoluto só em relação ao movimento retilíneo e uniforme, isto é, a definição do sistema de referência inercial para a teoria clássica. Do mesmo modo, não experimentamos um tempo absoluto, apenas a simultaneidade do curso de vários processos. A dificuldade da definição de massa como quantidade de matéria e sua proporção com a força residia na questão de conceder existência para esses conceitos: os dois existem separadamente, ou é só a força que causa o movimento que existe, ou ela é apenas uma propriedade da massa, matéria única existente? (Blackmore 1972). Devido a essas dificuldades, Boltzmann se convence de que não pode ser nossa tarefa encontrar uma teoria absolutamente correta, mas sim uma imagem simples que represente certos fenômenos o mais exatamente possível. Parte das dificuldades e obscuridades a que Boltzmann se refere é fruto das críticas de Mach contra Newton. Porém, muitas das críticas e objeções de Mach à teoria Newtoniana eram inconsequentes e não verdadeiras. Blackmore sugere que Mach não entendeu bem as idéias de Newton. A massa e a velocidade, por exemplo, são inseparáveis no movimento. Para achar uma imagem simples, o modo de representação de partes dos fenômenos que teria vantagens para Boltzmann seria o dedutivo, que consiste em começar a operar com abstrações mentais internas, que não levam em conta fatos de experiência. Essas imagens mentais são primeiro claramente desenvolvidas para tirar consequências, e somente mais tarde se justificam as construções mentais à luz dos fatos de experiência. Ao começar com exatos pontos materiais como contruções mentais, Boltzmann derrota a questão "obscura" quanto à natureza da matéria, massa e força.

Quanto à representação e o método do assim chamado energismo, Boltzmann expressa suas restrições à redução da enérgica a analogias (energética = analogias):

> “ *...Parece que o energismo frequentemente tem se permitido iludir com analogias meramente formais, que suas leis eram destituídas da formulação clara e sem ambiguidades habituais na física clássica, que suas conclusões não tinham o rigor da física clássica, e que ele jogou fora muito do velho que é bom, realmente indispensável para a ciência."* (Boltzmann 1899).

A sua metodologia científica enfatizava que a falta de clareza nos princípios da física vinham das tentativas de esconder aspectos hipotéticos e suposições, e de suas origens em métodos indutivos. A sua posição em relaçâo à Mecânica, então, era partir de seus princípios fundamentais. Boltzmann não quer evitar "obscuridades”, que, por exemplo, a fenomenologia físico-matemática de Kirchhoff tenta de remover nos

princípios da mecânica. Kirchhoff parte de equações diferenciais parciais para predizer os fenômenos, e a energética apresenta a imagem do mundo livre de hipóteses. Boltzmann quer começar levando em conta todas as críticas justificadas, ao representar a mecânica na sua forma clássica, tratando em detalhe certas questões que eram omitidas ou tratadas superficialmente como auto-evidentes; o seu atomismo propõe, então, a suposição fundamental de um grande, embora finito, número de pontos materiais.

Mach objetava que a teoria atômica não era o modo mais simples de descrever e expor as aparências, conforme Gustav Kirchhoff, em 1874, e Richard Avenarius, em 1876, argumentavam. Em 1890, Ostwald introduz sua filosofia do energeticismo como a abordagem simplificadora, que descrevia e relacionava as aparências de forma mais simples que partículas discretas como átomos ou moléculas, substituindo essas noções pela de 'energia' (Blackmore 1972).

A velha mecânica clássica se apresentava dividida em Estática, a ciência do equilíbrio, e em Dinâmica, a ciência do movimento. Os cientistas da época em questão (Ostwald, Boltzmann, Mach, Planck, etc.) começaram a objetar sobre essa divisão tradicional, que não expressava uma diferença essencial, sendo o equilíbrio somente o caso limite do movimento. Os energeticistas propõem então aplicar o conceito de energia à mecânica para clarificar a diferença, ao chamar a estática a ciência do trabalho, ou energia de posição, e a dinâmica de ciência da força viva, ou da energia de movimento (cinética). Para os energeticistas, a energia era o conceito principal (não um conceito fundamental, mas com característica de composto e complexo), o conceito mais geral das ciências físicas, que incluía a mecânica, a física e a química. Nas palavras do energeticista Ostwald:

> *"Todo ramo da física prova ser a ciência de um tipo especial de energia, e para o conhecimento de cada tipo de energia deve ser adicionado o conhecimento das relações pelas quais ela muda para as outras formas de energia e vice versa. É verdade que, na divisão tradicional da física, este sistema não tem sido estritamente cumprido, desde que um motivo adicional e muito influente para a classificação tem sido a consideração prestada aos vários órgãos dos sentidos humanos."*. (Ostwald 1910).

Ostwald ficou tão entusiasmado com o Energeticismo como uma teoria explicatória para descrever as aparências, que chegou a tentar explicar até a felicidade em termos de energia numa palestra em 1904, ainda que só de brincadeira.

Outra questão da mecânica, mais frisante contra Boltzmann, era a de relacionar a difusão irreversível da entropia com o movimento reversível da mecânica. O próprio Loschmidt, amigo de Boltzmann, sugeriu que calor e entropia não poderiam consistir de movimento mecânico. Boltzmann ao construir uma abordagem probabilística confrontrou o ataque aos átomos que se seguiu à esse raciocínio, e também o rebaixamento da

mecânica em relação à termodinâmica fenomenalística. O rebaixamento da Mecânica vinha do mesmo argumento de que todos os movimentos mecânicos eram reversíveis, e não descreviam os processos reais que continham componentes irreversíveis.

A abordagem probabilística de Boltzmann extendeu a definição de entropia de Clausius para sistemas fora do equilíbrio através de (S = k log W), pondo fim às contradições entre a Termodinâmica e a Mecânica. No argumento de Boltzmann, a irreversiblidade do fluxo de entropia (S) é meramente uma probabilidade estatística (W) da distribuição de um número grande de partículas. Isso implica que algumas partículas individuais podem ter suas entropias diminuídas, o que satisfaz a hipótese de que o calor consiste de movimentos mecânicos de átomos e moléculas.

Depois dos problemas da mecânica, a polêmica passou a lidar com os da termodinâmica, e então culminou com um criticismo aniquilador de Ostwald contra o 'materialismo científico', numa conferência de ciências naturais em Luebeck, em 1895. Boltzmann responde, falando sobre a fertilidade do atomismo:

> *"A teoria atômica, que, num sentido, data de Demócrito, a teoria e mecânica especial do calor devido à Bernoulli e Rumford, as imagens mecânicas da química, cristalografia, eletrólise, etc, estão ainda em contínuo desenvolvimento hoje... Assim, temos aqui sucessos que todas as novidades filosóficas da Natureza de Hegel a Ostwald não podem igualar."* (Boltzmann 1896).

Muitos, como Broda, clamam Boltzmann como vitorioso da 'guerra' de trinta anos contra Mach, devido aos posteriores sucessos da teoria da relatividade de Einstein, à comprovação da existência de movimentos irregulares (Browniano) e etc (Broda s/d). Diz-se (Loewy, Viktor von Niesiolowski, Blackmore1972) também que Mach antecipou e pode ter influenciado a teoria quântica de Planck, apesar da controvérsia que existia entre ele e Planck. Mas foi Boltzmann quem <u>diretamente</u> sugeriu o tipo de cálculo termodinâmico que Planck realizou[68]. Blackmore, na mesma perspectiva filosófica de Mach[69], coloca a vitória de Boltzmann apenas num nível metodológico. Filosoficamente, o "descrever-e-relatar-as-aparências" de Mach teria ficado mais fortalecido que o "entender-realidade-física" de Boltzmann. A vitória de Mach seria para ele num nível ontológico e epistemológico, apesar de ter Ostwald publicamente admitido sua conversão ao atomismo, em 1908. Essa discussão requer maoir aprofundamento.

O que podemos concluir deste debate? Será que poderíamos dizer, como de Coudres, que "uma era de barbarismo energético poderia refrear a efetividade do trabalho de vida de Boltzmann e suprimir todo o pensamento atomístico por um longo tempo"?

---

[68]Ref. Dissertação de Mestrado de Ivone Freire (1989).
[69]Ver Mário Schenberg sobre o debate Bohr x Einstein (debate no IEA-USP 1986)

(in Broda). O próprio desenrolar da história, com os resultados bem sucedidos da teoria atômica, falam por si mesmos. Poderíamos nos perguntar por que cada um não faz o seu trabalho, deixando o outro fazer o seu também sem colocar obstáculos - que os energeticistas derivem todas as equações usando tantas hipóteses auxiliares quantas têm
direito, e que os atomistas teorizem imaginativamente e trabalhem com suas hipóteses até que se comprovasse realmente se elas estivessem erradas? Bohm chamou atenção para o perigo de assumir o caráter absoluto e final dos aspectos gerais da teoria mais fundamental que acontece estar disponível na época que eles estão trabalhando. Mais recentemente, Bohm (1952) postulou a hipótese da existência de um nível subquântico mais profundo (inspirado em Luis de Broglie 1927), e acabou iniciando um movimento que ficou conhecido como a teoria das variáveis escondidas. Luis de Broglie diz que devemos usar as lições que o debate atomista nos deixou de que, para o progresso da ciência, não se deve tentar parar todas as tentativas para passar "além do presente ponto de vista da física quântica". É possível que as variáveis escondidas não existam, admite Bohm, "mas enquanto não for provado que não existem, não devemos eliminar essa hipótese". Ou se eles existem e está sendo difícil desenvolver novos conceitos, "a possibilidade de tais dificuldades mal podem ser consideradas como uma boa desculpa para renunciar nossas possessões em desespero antes que quaisquer esforços sérios nesta direção tenham sido feitos absolutamente e para afirmar que nossos cérebros simplesmente não são adequados à empresa de imaginar o que não temos experimentado no cotidiano ou na experiência no domínio clássico" (Bohm 1961).

Ou poderíamos perguntar, finalmente, se todos concordassem entre si sobre todos os aspectos de uma teoria, não haveria nem a necessidade de diálogo, muito menos do debate impulsionador na direção de imensas novas regiões para descobrir. Não é fato que, quando há críticas, cada lado procura se esforçar para aprimorar seus argumentos e tentar solucionar as dificuldades (de desenvolver novos conceitos, por exemplo) que encontram no caminho? Boltzmann, por exemplo, demonstrou que, mesmo achando válido o método energético, e também mesmo conhecendo as descobertas que levaram ao desenvolvimento da física além dos limites clássicos[70], seria frutífero ele trabalhar no seu campo, a física clássica, que ainda não estava esgotada, e lutar para desenvolver as idéias que ele acreditava até comprová-las (Bohm - New Scientist). Perguntas essas, que são mais para refletir , são mais importantes que as respostas que poderíamos dar.

[70]Sobretudo a descoberta do elétron por J. J. Thomson, dos raios X por W. K. Roentgen, e da radioatividade por H. Becquerel e os Curies, todas na virada do século.

O debate também ajudou a consolidar o prestígio da teoria dentro da ciência, ao mesmo tempo reforçando a entender os papéis dos cientistas teóricos e experimentais. A questão entre Mach e Boltzmann era principalmente epistemológica: o que é o conhecimento científico?

Por último, não poderíamos negligenciar um dos aspectos que a energética e o atomismo mais contribuíram, através da Termodinâmica, que é a infiltração do conceito de energia em outras áreas como a filosofia e psicologia, em todos os níveis, até culminar com sua disseminação no cotidiano. Agora, dúvidas são levantadas se essa contribuição foi positiva. Educacionalmente se argumenta que o uso da palavra energia no cotidiano afasta mais o aluno da compreensão do conceito físico. Diz-se que, na psicologia, a tentativa de reducionismo, ou o simples empréstimo de estruturas conceituais das ciências mais estabelecidas, torna-a menos científica, por cegá-la de aspectos importantes do comportamento humano. Termos como força, inércia, potência ou energia, adotados da física, têm significados metafóricos em psicologia quando comparados às suas definições precisas em física. No fim do século XIX, Freud desenvolveu um modelo físico do que ele denominou aparelho psíquico, emprestando o termo 'energia' para sua teoria. A lei básica deste aparelho era evitar todo aumento em energia psiquíca. Estímulos internos excitados pelas necessidades organísmicas eram conceitualizados como fontes de tais energias. O aparelho psiquíco era percebido como projetado para evitar toda estimulação ou para responder à todos os aumentos de energia, reduzindo-os por descarregá-la em atividade motora. (Jung s/d)

As lições deste debate, no entanto, não foram tocadas: no confronto de idéias sobre a ciência, que à distância no tempo perdem significado, deve ter havido problemas reais, de preconceitos, que eram inventados como justificativas de atitudes discriminatórias ditadas por interesses pessoais. Essa é uma pesquisa a ser realizada.

Na perspectiva do futuro da concepção energia x atomismo, os elementos desse debate são apresentados por Einstein, Yukawa e Dirac. Einstein, bastante influenciado por Mach no debate sobre a complitude da Teoria Quântica (EPR-1935), solucionou a questão atomismo x energismo com $E = m c^2$ - aplicável à física dos núcleos como na bomba atômica, onde as energias são muito grandes. Yukawa, que previu a existência de píons, propôs a teoria dos mésons, que era contrária ao preconceito dos físicos de então (Bohr) que se opunham a idéia de novas partículas além do elétron e do proton, e desde 1932 o neutron, para o atomismo da matéria (Leite Lopes 1993). Dirac contribui para impulsionar a mecânica quântica, descobriu a equação relativística do elétron quântico, que ficou conhecida como a equação de Dirac (1928).

## 3 - COMENTÁRIOS

Para a pergunta de Kuhn: "Sabendo que a ferramenta (impossibilidade de movimento perpétuo, por exemplo) estava lá... por que ela adquiriu de repente um novo significado e um novo domínio de aplicação?" (Kuhn 1962, pg.513-514). Entre várias possíveis respostas (e nenhuma exata e completa), uma que podemos tentar dar é que não se faz uma troca rápida e simples do pensamento antigo pelo novo. A justificativa de Boltzmann, discutida no debate, do procedimento de seu trabalho: "aprimorar tanto quanto eu possa a velha teoria"[71], que é a que ele mais entende e se dedicou a maior parte de sua vida, é um exemplo. Podemos dizer que este de repente não é tão de repente assim, a ferramenta estava lá há muito tempo antes do ato de adquirir novo significado[72]. Todos os cientistas envolvidos com a descoberta 'simultânea', por exemplo, estavam completamente bem saturados com o assunto, acostumados a ponderar várias e repetidas vezes um mesmo assunto, empreendidos e comprometidos numa maneira séria e persistente para compreendê-lo, de modo a possibilitar uma organização, (e, portanto, desorganização) suficiente para dar chance ao acaso e acidentes.

Para cada novo fato observado, uma nova concepção se forma na comparação com as idéias antigas, que, por longa experiência, se tornaram familiares. As invenções e descobertas revolucionárias, quando olhadas nas suas origens em épocas precedentes, revelam seu vagaroso surgimento por degraus imperceptíveis. Sobre isso, I. Bernard Cohen esclarece bem: *"Avanços revolucionários na ciência podem consistir menos de revelações repentinas e dramáticas do que de uma série de transformações, das quais o significado revolucionário não é percebido (exceto por historiadores) até uma última grande realização final. Assim, o significado completo de um passo mais radical pode nem mesmo estar manifesto para seu autor."* ( in Elkna 1974).

Um exemplo é o de Helmholtz, que, ao ter seu trabalho comparado com os de Joule e Mayer, após a publicação de seu "Conservação de Força", como consequência das respotas e interações que recebeu, passou ele mesmo a entender a dimensão de seu próprio trabalho. Prova disso é que ele trocou nos seminários após a publicação, a palavra força por energia, referindo-se ao próprio título de seu ensaio como 'Conservação de Energia'.

Isso coloca em evidência o problema da medida da possibilidade de se relatar fatos e conteúdos científicos históricamente. Se, na década de 1970, o problema aglutinador dos

---

[71]Boltzmann fica com a “velha” teoria, mas que para ele adquire novo significado: S=klogW

[72]Por exemplo h=constante de Boltzmann batizada por Planck

historiadores era como o conhecimento evoluiu, na década de 1980, a preocupação predominante foi evitar fazer revisões do passado baseado apenas no resultado final destacado no presente. Pelo fato dos historiadores entenderem hoje uma palavra ou conceito de forma mais evoluída, muitos deles colocam pensamento na cabeça dos cientistas passados que eles não poderiam ter, devido às circunstâncias da época. Mas é justamente o problema da relatabilidade[73] que responde em parte à pergunta dos anos 70. Isso, interpretando-se a maneira como um cientista nas condições históricas da sociedade de sua época usava certo conceito, i.e., ao confrontar o seu pensamento com um conhecimento mais evoluído de hoje, uma tensão quase dialética surge, criando uma nova realidade, na medida em que esse novo entendimento resultante da tensão avança o conhecimento. Basta dizer que nem mesmo na hora em que o cientista formula um novo princípio ele tem claro a totalidade do alcance desta. O exemplo de Helmholtz acima mostra isso, de que seu próprio entendimento aumentou após a teoria ser testada experimentalmente e aplicada em vários domínios; nos faz entender também que o cientista individualmente luta por clarificar seus próprios pensamentos, para si mesmo e na expressão, através de sua comunicação com e para outros.

Temos dois 'instantes' presentes na evolução do conhecimento. Estes estão presentes na totalidade do conhecimento humano e também no nível individual, no momento da compreensão de cada parte de um conceito. Um exemplo foi a impossibilidade de movimento perpétuo: ao mesmo tempo em que a impossibilidade é por si só um fator limitante, o conhecimento dessa limitação permitiu levar aos conceitos de energia (movimento perpétuo de primeira espécie) e entropia (movimento perpétuo de segunda espécie).

Pode-se pensar que os conceitos cotidianos possuem maior variabilidade que os científicos, devido ao fato de que a maior precisão das teorias confere uma limitação na definição e uso desses. Contudo, nos cientistas a variabilidade é maior no que tange às ligações próprias de cada um com o próprio contexto em que se inserem, possibilitando a criação.

Podemos concluir, como consequência pedagógica, o uso de debates e idéias conflitantes no ensino para facilitar a compreensão de conceitos. Vimos que as controvérsias ajudam nessa tarefa e que elas precisam ser apresentadas, além de simplesmente informar aos alunos os resultados prontos e mais aceitos na atualidade. Devemos apenas tomar o cuidado para não ficarmos somente nisso. Sabemos, pela lei de

[73]Relatabilidade tem a ver com o significado de uma palavra. Tem a ver com a pergunta 'Eles estão usando a palavra do mesmo modo como eles costumavam usar em sua época?', que decorre do fato de que o significado da palavra evolui.

percepção de Claparède, que as diferenças chamam mais a atenção do que as semelhanças[74]. Vygotsky explica a lei de Claparède através de seus experimentos: "a criança se conscientiza das diferenças mais cedo do que das semelhanças, não porque as diferenças levem a um mau funcionamento, mas porque a percepção da semelhança exige uma estrutura de generalização e de conceitualização mais avançada do que a consciência da semelhança" (Vygotsky 1989, pg 76). Precisamos exercitar os alunos a pensar profundamente sem termos que recorrer sempre aos contrastes. O caminho mais fácil é o do confronto. Francis Bacon desenvolveu o método científico que amplia a visão aristotélica: temos que ver tanto as diferenças quanto as semelhanças.

Daí a importância de um programa de estudos das origens e evolução como fundando uma epistemologia com vistas ao ensino que desenvolva sensibilidade de percepção e ligações significativas com a realidade objetiva e com o conhecimento intersubjetivo.

[74]Ver próximo capítulo.

# PARTE II
# SER SENDO V
# TEORIAS DE APRENDIZAGEM E O DEBATE PIAGET x VYGOTSKY

## V.1- INTRODUÇÃO
## PIAGET, VYGOTSKY E O ENSINO DE CIÊNCIAS

Na primeira parte deste trabalho, em Ser Sendo II, vimos que o monitor não estava preparado do ponto de vista das Teorias da Aprendizagem. Na tentativa de mostrar a necessidade de subsidiar a formação do monitor ou professor incluímos uma referência de estudos históricos e epistemológicos sobre o conteúdo de física no capítulo anterior. Agora trataremos de comentar alguns conceitos pedagógicos através de um confronto de idéias entre Vygotsky e Piaget.

Destacamos na teoria de aprendizagem de Vygotsky, o conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), pois este aponta claramente a natureza social da aprendizagem, que nos interessa enfatizar em situações de ensino.

As situações de ensino-aprendizagem na Exposição Científica, analisadas neste trabalho, envolvem as interações dos monitores da exposição e os alunos visitantes, mediatizadas pelo espaço de informação que consiste na linguagem da comunicação oral, dos painéis escritos e pelos experimentos de física montados e ainda pela distribuição espacial.

Estamos interessados que as interações sejam o mais eficientes possível no sentido de promoverem a apropriação do conhecimento científico, e por isso estudamos as visões interacionistas de L.S. Vygotsky e J. Piaget. Privilegiamos neste trabalho os conceitos vygotskianos de ZDP, generalização, consciência, historicidade, sua implicação para o ensino de conceitos físicos. Os conceitos científicos na linguagem cotidiana não trazem as características de sua construção histórica, e por isso demandam para o seu aprendizado a interação com o professor, monitor, ou com a concepção dos conceitos e teorias contidas nos fenômenos mostrados através dos "aparelhos". A natureza social da aquisição do conhecimento fica evidente. A compreensão destes conceitos nos parece fundamental para o estabelecimento de interações dialógicas nas entrevistas pedagógicas e para definir melhor os papéis do monitor e da própria montagem da exposição nos processos de aprendizagem dos conceitos de energia e entropia.

Escolhemos para esclarecer os conceitos a situação de debate com Jean Piaget, cujas idéias hoje são muito difundidas e que sofreram desde o início a interferência das idéias de Vygotsky, principalmente na sua insistência da aprendizagem como fenômeno social. As duas visões consideram não apenas os fatores internos, mas também os externos (sociais) no desenvolvimento cognitivo. (Oliveira-1991 e Davis Oliveira). Apesar disso essas abordagens diferem entre si em alguns pontos importantes que contrapomos em seguida, através da discussão "Comentários sobre as observações críticas de Vygotsky" escritos por Piaget em 1959.

## V.2. DEBATE VYGOTSKY x PIAGET[75]

*"Não pode ser senão com pena que um autor descobre vinte e cinco anos depois de sua publicação, o trabalho de um colega desaparecido durante esse tempo, sobretudo se se tem em conta que continha tantos pontos de interesse imediato para ele que podiam ter sido discutidos pessoalmente e em detalhe".*
*"... e hoje, ao ler seu livro lamento profundamente, já que se tivesse sido possível um contato poderíamos ter chegado a nos entendermos em muitos pontos."*

A leitura das críticas de Vygotsky foi feita por Piaget em 1959. Piaget revelou estar a par do teor dessas críticas, antes mesmo de ler os escritos, por intermédio de Luria, que era amigo de ambos. Essa proximidade pode ter afetado as investigações posteriores de Piaget.

*"Ao considerar a forma em que podia levar a cabo tal discussão retrospectiva, encontrei, todavia, uma solução por sua vez simples e instrutiva (pelo menos para mim), ou seja, tratar de ver se as críticas de Vygotsky resultam justificadas à luz de meus trabalhos posteriores".* (Piaget 1981)

---

[75]Por que o debate?
A idéia de contrapor alguns pontos de vista de Piaget e Vygotsky sobre a psicologia do desenvolvimento já estava contida no contexto acadêmico deste trabalho, no sentido que havia uma certa polêmica, na pós graduação em Ensino, entre "piagetianos" de um lado e "vygotskinianos" de outro. Não evitamos a discussão com medo de preconceitos pois no debate de idéias, não há perdedores: todos saímos vitoriosos Consideramos essa discussão um atrator, e resolvemos aderir, sem preconceitos, procurando possíveis correlações, que pudessem esclarecer alguns conceitos importantes, adequados a nossa análise de sistemas dinâmicos.

Enfatizaremos mais as diferenças, embora existam muitas semelhanças entre esses dois pensadores, devido a estarmos justamente partindo das críticas de Vygotsky, a parte que ele não concorda com Piaget.

Um dos nossos objetivos é aprofundar a nossa compreensão do método de Vygotsky para tentarmos algumas interpretações que nos aproximem de algumas questões psicológicas importantes para a ação pedagógica. O estudo de conceitos pedagógicos é também importante como um exercício de pensamento em geral, dentro de uma perspectiva mais ampla, sobre as questões que afligem o homem. Vemos como Bruner:

"A *teoria do desenvolvimento de Vygotsky é também uma descrição dos muitos caminhos possíveis para a individualidade e a liberdade; é nesse sentido, penso eu, que ele transcende, como teórico da natureza do homem,*[76] *os dilemas ideológicos que dividem tão profundamente nosso mundo de hoje."* (Bruner 1961)

## V.2.1. AS CRÍTICAS DE VYGOTSKY E "COMENTÁRIOS SOBRE AS OBSERVAÇÕES CRÍTICAS DE VYGOTSKY" POR JEAN PIAGET

Vygotsky em seus segundo e sexto capítulos do livro "Pensamento e Linguagem", com seu vigoroso estilo de escrever, faz grandes elogios a Piaget, como sendo grande contribuidor para a Psicologia no estudo da linguagem e pensamento das crianças, criador do método clínico de investigação das idéias infantis e estudioso pioneiro da percepção e lógica infantis; fala da abordagem de Piaget como sendo positiva, nova, de amplitude e ousadia incomuns: "Como muitas outras grandes descobertas, a idéia de Piaget é tão simples que parece óbvia". "A idéia da evolução por trás da diferença qualitativa entre o pensamento infantil e o pensamento adulto" diz Vygotsky: "projeta um brilho incomum sobre todos os estudos de Piaget". Entretanto diz também que Piaget revolucionou o estudo do pensamento das crianças concentrando-se naquilo que elas têm e não naquilo que lhes falta em comparação com o raciocínio adulto: "Por meio dessa abordagem positiva (grifo meu), demonstrou que a diferença entre o pensamento infantil e o pensamento adulto era mais *qualitativa* do que quantitativa" (Vygotsky 1989).

Esse é um dos pontos críticos de confronto, os quais enumeramos a seguir:

i) Apesar de Piaget ter-lhe servido como um dos pontos de partida, no estudo da linguagem egocêntrica e do pensamento das crianças, Vygotsky opõe o seu ponto de vista

[76]grifo meu

ao adotado por Piaget sobre a fala egocêntrica dizendo que ela não vai ser suprimida no desenvolvimento intelectual e linguístico das crianças, mas ao contrário, ela se interioriza como representação interna. Essa idéia revela o significado evolutivo em Vygotsky: No sentido de evolução como mudança qualitativa sem perder a ligação com o pensamento anterior. (Usamos essa idéia para analisar as entrevistas a partir de uma espécie de representação interna, indefinida ou indeterminada, no capítulo Ser Sendo I).

Além disso, Vygotsky critica e comenta a obra de Piaget sobre o desenvolvimento intelectual sob aspectos metodológicos, filosóficos e epistemológicos.

ii) Direção do desenvolvimento do pensamento: do indivíduo ao social (Piaget), o social favorecendo o desenvolvimento do indivíduo (Vygotsky)

*Egocentrismo: uma diferença essencial na direção*

Crítica de Vygotsky: Piaget parte do pensamento autístico (!) não-verbal à fala socializada e ao pensamento lógico, através do pensamento e fala egocêntricos, isto é parte do individual para o socializado

Para Vygotsky pode haver inversão no curso do desenvolvimento, isto é, participando de níveis de compreensão (aprendizagem) existentes no social o individuo vai além de seu nível inicial transformando-o na seguinte sequência: 1º fala social (no sentido intersubjetivo), depois egocêntrica e então interior.

iii) *Aprendizagem como sinônimo de Pensamento lógico* em Piaget:

Piaget diz não ter enfatizado suficientemente desde o princípio o aspecto funcional da linguagem egocêntrica, concordando com Vygotsky de que *"a fala egocêntrica é o ponto de partida para o desenvolvimento da fala interior, que se estabelece em uma etapa posterior do desenvolvimento"*. Diz que a linguagem interiorizada pode servir tanto aos fins autistas como aos lógicos, pois para Piaget a fase autista exclui qualquer forma de aprendizagem. O pensamento lógico para ele é o fim último da aprendizagem. Piaget parte do pensamento autístico não verbal à fala socializada ao pensamento lógico, através do pensamento e fala egocêntricas para explicar o curso do desenvolvimento do pensamento.

resposta de Piaget:

*"...quando Vygotsky afirma que a primeira função da linguagem deve ser a da comunicação global, e que a fala posterior se diferencia em egocêntrica e comunicativa,*

*propriamente dita, creio que estou de acordo com ele. Mas quando sustenta que estas duas formas linguísticas são igualmente socializadas e diferem só em função, não posso segui-lo porque a palavra socialização se torna ampla no contexto: se um indivíduo A crê equivocadamente que um indivíduo B pensa do modo que faz A, e se não se trata de entender a diferença entre os dois pontos de vista, isto é, sem dúvida comportamento social no sentido de que existe um contato entre os dois, mas considero que tal conduta é inadaptada do ponto de vista da cooperação intelectual. Este ponto de vista é o único aspecto do problema que me tem preocupado, mas que Vygotsky parece não ter se interessado."*(Piaget 1981)

A sequência de Piaget, 1º pensamento autístico 2º pensamento simbólico da criança e por último pensamento lógico do adulto, da evolução do pensamento é resultado da superposição de dois planos separados, o da subjetividade e o da objetividade.

*..."na constituição do egocentrismo infantil o fator primário é a atitude espontânea do pensamento individual que tende diretamente ao objeto sem ter tomado consciência de sua própria perspectiva. O espírito egocêntrico é mesmo muito mais acessível às sugestões do ambiente e à pressão do grupo que o espírito disciplinado pela cooperação: enquanto continua a se ignorar, o espírito egocêntrico não alcança com efeito, a consciência de sua personalidade."* (Piaget 1989, pg 65)

iv) Socialização para Piaget está ligada a um processo de cooperação. Como se o indivíduo não fosse desde sempre um ser social (daí o nome de estágio autista).

*"Como, então se opera essa socialização?...por transformação de pontos de vista que o indivíduo, sem abandonar seu ponto de vista inicial, o situa, simplesmente, entre o conjunto de outros possíveis. Em outras palavras, a compreensão dos outros, assim como a compreensão do mundo físico, supõe duas condições: 1º) tomar consciência de si próprio como indivíduo e desligar o sujeito do objeto, de maneira a não mais atribuir ao segundo as características do primeiro; 2º) cessar de considerar o seu próprio ponto de vista como o único possível e coordená-lo ao conjunto dos outros.*

*Em outras palavras, adaptar-se ao meio social e ao meio físico, é construir um conjunto de relações e situar-se entre essas relações, graças a uma atividade de coordenação que implica na descentralização e reciprocidade dos pontos de vista."* (Piaget 1989)

Piaget então utiliza a palavra 'socialização' num sentido diferente de Vygotsky, apesar de ambos valorizarem os processos de cooperação. Em Vygotsky esse conceito é primordial e seu conceito de Zona de Desenvolvimento Proximal contém essa idéia. Socializar para Piaget é necessário, pois todo mundo começa por ser autista. Para Vygotsky toda existência já é social, então não tem sentido em falar em 'socialização'

como algo a ser conquistado que não existisse antes. Em Vygotsky a socialização existe sempre e favorece funções psicológicas superiores. Poderíamos analisar ainda o que seria função psicológica para Vygotsky o que não faremos aqui. São dois caminhos diferentes quanto à questão da relação indivíduo - social.

v) Crítica de Vygotsky sobre aspectos filosóficos da teoria de Piaget sobre o desenvolvimento intelectual:

1º) Ao discutir os fatores biológicos e sociais do desenvolvimento mental, Piaget reduz sua abordagem a uma escolha puramente arbitrária dos fatores biológicos em prejuízo dos sociológicos. Vygotsky não crê na generalizabilidade das descobertas de Piaget, pois se os objetos que as crianças lidam representam a realidade, estes são determinados histórica e socialmente. O homem primitivo não pode ser comparado a criança nas suas experiências, uma vez que as atividades daqueles (caça, agricultura, manufatura de objetos) constituiam praticamente toda a sua existência. Da mesma forma não se aplicam as concepções de Piaget para o grupo além do qual ele estudou. É necessário "delimitar a validade de suas conclusões para crianças que não trabalham no meio e situação social, em condições equivalentes aos dados na realização de seus estudos" (Vygotsky 1989). Essa idéia já está bastante incorporada e é muito importante para releituras de Piaget (ver Kubli). Porém quando Vygotsky fala em “delimitar a validade” das descobertas de Piaget, ele não está sugerindo que os piagetianos saiam por aí testando suas hipóteses em vários meios e situações sociais a fim de generalizar suas conclusões, pois isso seria difícil uma vez que a abordagem depende das consições do meio e da visão do observador. A perspectiva vygotskiniana é mais ampla por não ter separado a criança, não isolando a criança como objeto de estudo. Vygotsky parte do todo: o social está dentro e fora do indivíduo ao mesmo tempo.

vi) *Separação entre realidade e homem:*

As raízes das críticas de Vygotsky estão embasadas na sua visão de homem e de mundo, que parece que Piaget não se preocupa em compreender. No mundo de Piaget, os "objetos" (assim como as lógicas) já estão dados (existem antes do indivíduo), as estruturas biológicas tem que assimilá-los, e de um modo finalista o indivíduo se acomodar ao social. A sua definição de adaptação é sim uma interação dos objetos (que para ele estão fora do indivíduo) com sua estrutura interna:

*"A adaptação é um estado de equilíbrio entre a assimilação dos objetos às estruturas da ação e a acomodação destas estruturas aos objetos"*

O objetivo seria a compreensão do 'real', colocando em primeiro plano as necessidades práticas. A ênfase fica sobre a estrutura interna do indivíduo, sem considerar que "o real" pode evoluir e não levando em conta o papel dos sistemas simbólicos como parte ativa do real (Oliveira 1992). O significado da palavra, que ocupa lugar central nas análises de Vygotsky contém o externo e o interno ao mesmo tempo, sendo que ele evolui e pode ter sentidos que variam de indivíduo para indivíduo. Os processos mentais superiores para Vygotsky são sempre mediatizados por sistemas simbólicos (Oliveira 1992).

De acordo com Piaget, se não houver nem 'assimilação' nem 'acomodação', a adaptação (a um meio que pode existir sem o homem) não ocorre, então há uma limitação, o que ele chama de *erros sistemáticos.*

A realidade de Vygotsky (os objetos) existe junto com o homem, uma visão dialética do mundo. A realidade não está dada, não pode existir realidade (ou consciência) sem homem, e não pode existir homem sem a consciência dele. A lógica dialética pressupõe a existência de elementos opostos aparentemente antagônicos, por exemplo a parte e o todo: mas só existe o todo pois existe parte e existe parte pois existe todo; um outro exemplo seria a questão de quem se originou primeiro: ou a galinha existe pois existe ovo, ou o ovo existe pois existe galinha?, questão que passa a ser desnecessária, se considerarmos que os elementos opostos não se anulam mas se complementam numa existência simultânea. (Hamburger 1990)

vii) *Os "erros" na História da ciência*

Quando Piaget pensa em êxito e inadequação pressupõe a existência de um limiar de realidade ideal para se adaptar, de leis eternas do espírito, de uma lógica única (que não evolui), de uma espécie de verdade do adulto, desejável, a se alcançar. Deixa isso claro ao considerar as diversas possibilidades da ciência e sua necessária variabilidade e consequente evolução como erros:

*"A história completa da ciência, na área do pensamento, desde o geocentrismo até a revolução copernicana, desde os falsos absolutos da física de Aristóteles até o relativismo do princípio de inércia de Galileu e a teoria da relatividade de Einstein demonstra que temos levado muitos séculos para liberarmo-nos de certos erros, desde as ilusões provocadas por um ponto de vista imediato consideradas como opostas ao*

*pensamento sistemático 'descentralizado'; e esta liberação está ainda longe de ser completa".*

Entretanto sabemos que 'falsos absolutos' da física de Aristóteles não são absolutamente falsos, no contexto considerado dentro dos limites que a teoria posterior impôs, vale dizer que todos os corpos caem para baixo. Nem o princípio de inércia de Galileu está errado, para os movimentos que não são afetados pelo movimento de rotação da terra, esse e´ um caso particular da teoria da relatividade de Einstein, atualmente a teoria mais completa. A ciência, uma construção humana, está em constante evolução - exemplo disso foi apresentado Ser Sendo IV em relação ao conceito de energia.

viii) Críticas de Vygotsky quanto à formação de conceitos, cotidianos e a realidade:
1º) Vygotsky, ao estudar a relação entre a assimilação da informação e o desenvolvimento interno de um conceito científico na consciência da criança, diz que Piaget, entre poucos dos mais perspicazes estudiosos do pensamento infantil, questiona a concepção de que o processo de desenvolvimento na mente da criança dos conceitos formados em sua experiência cotidiana seja o mesmo que o dos conceitos científicos adquiridos com a ajuda do aprendizado sistemático. Porém Vygotsky considera um erro Piaget não conseguir ver a interação entre os dois tipos de conceitos e os elos que os unem num sistema total de conceitos, durante o desenvolvimento intelectual da criança.
2º) A criança, para Piaget, ao formar um conceito acerca da realidade, desenvolvido principalmente mediante seus próprios esforços mentais, o que ele denomina de idéia espontânea, marca com as características da sua própria mentalidade. Vygotsky o critica por ele não aplicar essa tese também aos conceitos que a criança desenvolve com a influência dos adultos, aos que Piaget chama de não-espontâneos. Se a criança não marca com características próprias os conceitos não espontâneos, que só vem de fora para dentro, dos adultos (social) para a mente da criança, segue-se que a aprendizagem escolar (um fator importante da socialização do pensamento) não tem qualquer relação com os processos do desenvolvimento interior. Assim segundo Vygotsky, é um outro erro considerar a socialização progressiva do pensamento como a própria essência do desenvolvimento mental da criança, pois isto significaria a abolição mecânica das características do próprio pensamento da criança.

*Formação de conceitos: Conceitos espontâneos x conceitos cotidianos; Conceitos não espontâneos x conceitos científicos*

Piaget divide os conceitos, quanto à sua formação separando entre aqueles que a criança desenvolve por seus próprios esforços mentais (espontâneas) e aquelas que ela desenvolve com influência dos adultos. Para Vygotsky, que chama os conceitos de cotidianos e científicos, respectivamente estes se interagem mutuamente, não havendo uma separação com relação a interações intersubjetivas. Estes conceitos vão diferir quanto à sua relação com a experiência da criança, e quanto à atitude da criança para com os objetos. Nos conceitos científicos que a criança adquire na escola, a relação com um objeto é mediada, desde o início, por algum outro conceito.

A resposta de Piaget no que concerne a interpretação dos conceitos espontâneos e não espontâneos, continua apontando a ausência de qualquer relação entre a aprendizagem escolar com os processos de desenvolvimento interior:

*..."Em alguns casos o que se transmite através da instrução é bem assimilado pela criança porque representa de fato uma extensão de algumas das suas próprias construções espontâneas. Em tais casos seu desenvolvimento se acelera. Mas em outros, os objetos que a instrução ministra se apresentam demasiado cedo ou tarde (grifo nosso), de um modo que impede a assimilação porque não concordam com suas construções espontâneas, então impede o desenvolvimento da criança, se o desvia esterilmente como sucede frequentemente no ensino das ciências exatas" (Piaget 1981; pg 211)*

Essa visão é limitante, pois se o ensino pode impedir a assimilação, como diz Piaget, não vai haver tentativa nenhuma de se tentar incidir na zona de desenvolvimento proximal: o aluno tem que já estar primeiro desenvolvido. Mas como desenvolvimento sem a aprendizagem é difícil, então se pode concluir disso que é melhor não ensinar, limitando o ensino, desvalorizando a capacidade do aluno.

3º) Vygotsky não se satisfaz com a explicação de Piaget de como a criança (finalmente) atinge a consciência e o domínio de seus próprios pensamentos. As leis da transferência e a da percepção de Claparède[77], em que Piaget se baseia, são insuficientes pois explicam só porque a criança em idade escolar não é consciente dos seus conceitos, e não como ela atinge a consciência. Para Piaget a criança em idade escolar é incapaz de conscientizar-se de seus atos devido ao resíduo do seu egocentrismo que só é expulsado do nível do pensamento verbal pelo pensamento social maduro quando a consciência é atingida.

[77]Lei da percepção: percepção da diferença precede a percepção da semelhança. Lei da transferência ou do deslocamento: Tornar-se consciente de uma operação mental significa transferi-la do plano da ação para o plano da linguagem, com as mesmas dificuldades. (in Vygotsky-Pensamento e Linguagem pg 76; 1989)

Vygotsky concorda com Piaget que durante a idade escolar a criança adquire uma consciência e um domínio maior e mais estáveis das suas operações conceituais. A criança tendo a atenção e memória passando a ser lógicas e voluntárias, paradoxalmente, ainda não está com o intelecto consciente e deliberado. Esse paradoxo é aparente segundo Vygotsky, pois a criança que está para entrar na escola já possui de forma bastante madura as funções (percepção, memória, atenção) que só depois de utilizadas e praticadas não-consciente[78] e espontaneamente vão aparecer controladas conscientemente.. É com o aprendizado escolar que os pré-conceitos espontâneos (não conscientes) são submetidos à consciência e ao controle deliberado, pois começam a fazer parte de um sistema através dos conceitos científicos que são sempre mediados por outros conceitos.

4º) Piaget acaba concordando com Vygotsky que a 'ausência de um sistema' é a diferença psicológica principal que distingue os conceitos cotidianos dos científicos, que contém relações de generalidade, e não o sincretismo, descrito por Piaget, e visto como *"um meio termo entre a lógica dos sonhos e a realidade - que explica as peculiaridades do pensamento infantil". (Vygotsky 1989)*

5º) Essa relação de conceitos espontâneos e científicos é um caso especial da relação entre o aprendizado escolar e o desenvolvimento mental da criança, que para Piaget são independentes entre si, ou melhor, opostos: ele *"acredita que o pensamento da criança passa por certas fases e estágios, independentemente de qualquer instrução que ela possa receber; a instrução permanece um fator externo"*, não se internalizando (Vygotsky 1989). Ao passo que a investigação de Vygotsky mostrou que *"o desenvolvimento das bases psicológicas para o aprendizado de matérias básicas não precede esse aprendizado, mas se desenvolve numa interação contínua com as suas contribuições"*; e que as curvas do progresso do aprendizado e das correspondentes funções psicológicas não são coincidentes: em geral, **o aprendizado precede o desenvolvimento.**

ix) R*elação entre desenvolvimento e aprendizagem*

Quando Piaget descreve o progresso do conhecimento, que chama de 'processo corretivo' que "*parece obedecer a uma lei de desenvolvimento bem definida, a lei da decentração*", o compara com o processo do desenvolvimento de conceito na criança,

[78]O termo 'consciência' é usado aqui, não no seu nível mais elevado, mas só para indicar a percepção da atividade da mente, e o termo 'não-consciente', para distinguir o que ainda não é consciente do 'inconsciente' freudiano, resultante da repressão, que é um desenvolvimento posterior

citando os conceitos "longo" (métrico) e "longe" (ordinal), exemplos que envolvem relações de medida, que se originam da própria lógica, criada pelo homem, e que portanto não está desenvolvido inatamente no homem; ao fazer isso demonstra que ainda pensa no desenvolvimento como separado da aprendizagem.

## VYGOTSKY E SUA ZONA DE DESENVOLVIMENTO PROXIMAL (ZDP)

A questão da medida da capacidade de um sujeito tem por trás uma questão maior, a da relação entre desenvolvimento e aprendizagem. Insatisfeito com as teorias que ora tratavam o desenvolvimento e aprendizagem como completamente independentes, ora como totalmente coincidentes, ou mesmo com aquela que tentava conciliar essas interpretações, Vygotsky começou a estudar a interrelação a partir de suas características específicas na idade escolar, propondo a **área de desenvolvimemto proximal**[79].

Para encontrar a relação entre desenvolvimento e capacidade potencial de aprendizagem, o ponto de vista tradicional costuma estabelecer a idade mental da criança com o auxílio de testes padronizados e supondo " que os problemas que ela conseguisse resolver sozinha indicariam o nível do seu desenvolvimento mental nessa ocasião especifica".

Para Vygotsky esse modo de pensar só refere um nível de desenvolvimento, o efetivo, que não indica completamente o estado de desenvolvimento da criança. Só possibilita verificar uma etapa já concluída do seu desenvolvimento (Vygotsky 1989).

A fim de definir a efetiva relação entre processo de desenvolvimento e capacidade potencial de aprendizagem, conforme Vygotsky, tem de se determinar pelo menos mais um nível de desenvolvimento. Como fazemos isso? Tomemos por exemplo duas crianças que foram avaliadas quanto ao 1º nível com testes que resultaram para ambas a mesma idade mental de sete anos. Ao submetermos essas crianças a provas posteriores com o auxílio de perguntas-guia, exemplo e demonstrações, pode-se salientar diferenças substanciais entre elas: uma criança resolve facilmente os testes, superando em dois anos o seu nível de desenvolvimento efetivo, enquanto a outra criança resolve testes que apenas superam em meio ano o seu nível de desenvolvimento efetivo. Isto supõe que "com o auxílio da imitação na atividade coletiva guiada pelos adultos, a criança pode fazer muito mais do que com a sua capacidade de compreensão dessa interação de modo independente

[79]Zona blizhaisnego razvitiya- usaremos em todo o trabalho a abreviação zdp que traduz por zona de desenvolvimento proximal e não área de desenvolvimento potencial como também encontrado em algumas leituras, apesar de considerarmos mesmo a de um potencial de aprendizagem.

(Vygotsky 1988). Essa discrepância entre a idade mental real de uma criança e o nível que ela atinge ao resolver problemas com o auxílio de uma outra pessoa indicam a existência de uma zona potencial do seu desempenho.

Essa zona é uma pista mais útil sobre a dinâmica do progresso intelectual, sugerindo que o ensino/aprendizado caminhe `a frente do desenvolvimento, i.e., seja "orientado para o (saber-) futuro e não para o (saber-) passado". Por essa abordagem pode-se dizer portanto que o desenvolvimento mental das duas crianças são equivalentes somente com relação à atividade sem orientação, o nível das funções psicointelectuais atingido como resultado de um específico processo de desenvolvimento já realizado; mas do ponto de vista das futuras potencialidades de desenvolvimento, as duas crianças são diferentes, uma mostra a idade potencial mental de nove anos, a outra de sete anos e meio[80], em relação ao aprendizado experimentado.

Com esse instrumento conceitual poderoso, a zona de desenvolvimento proximal, podemos ter como perspectiva não só o processo de desenvolvimento até o presente momento e os processos de maturação que já se produziram, mas também os processos que ainda estão ocorrendo e amadurecendo (impulsionando as funções que estão presentemente em estado embrionário).

Em especial, leva a alterar-se a orientação educacional que se baseia no nível de desenvolvimento mental a ser "respeitado" até sua superação por maturação e os limites "que não devem ser ultrapassados" para uma orientação que seja capaz de dirigir o processo de desenvolvimento. Uma consequência prática para o educador é considerar que, se o aluno fica aborrecido numa aula por exemplo, muitas vezes não é porque as tarefas são chatas ou difíceis (poderia ser o caso), mas é por não estarem sendo desafiantes o suficiente. "Numa atividade coletiva ou sob a orientação de adultos, usando a imitação, as crianças são capazes de fazer muito mais coisas. "Na hora de preparar atividades, o professor deve ter em mente, não um só nível de desenvolvimento, mas os dois níveis acima discutidos, de maturação e de desenvolvimento potencial.

"*O único bom ensino é o que se adianta ao desenvolvimento"*. Ensinar o que o aluno é capaz de aprender por si mesmo não é ensinar (Vygotsky 1988).

## V.3. COMENTÁRIOS SOBRE O DEBATE VYGOTSKY x PIAGET

[80]É preciso notar que os desenvolvimentos dependem das interações partilhadas, que vão promover o aprendizado (M. R de Oliveira, SBPC 42), portanto a ZDP não é só uma característica da criança. O adulto, o professor, monitor, etc ou a própria interação de cooperação contribuem. (Ser Sendo I)

Os estudos de Piaget e Vygotsky mostraram a importância das interações sociais como elemento ativador da construção do conhecimento, pondo esse contexto em destaque na gênese das funções cognitivas e afetivas do ser humano. Vygotsky incluiu o caso dos processos de interação de construção do conhecimento tipicamente evolutivos, analisando os processos de aprendizagem e desenvolvimento, enquanto Piaget se preocupou mais com a estrutura, isto é, funções cognitivas como fruto de uma pré-formação endógena. Apesar de ter ficado claro, na sua defesa, que não vê essas funções cognitivas e afetivas como fruto da experiência de um organismo socialmente isolado, o seu método de trabalho tratou o problema como produto, no indivíduo, num contexto intrapessoal.

Vygotsky enunciou, através do conceito de ZDP, que as funções psicológicas superiores (memória, atenção, formação de conceitos, desenvolvimento simbólico,etc) se originam num contexto interpessoal, isto é, elas têm origem nas relações entre as pessoas. Isso "exige logicamente uma maneira original de entender o desenvolvimento e sua vinculação com a aprendizagem. O conceito de ZDP sintetiza esse ponto de vista" (Coll 1983).

O quadro sinótico, proposto por K.Aurani, T.Higa e A.Império Hamburger, é um ponto de partida para o professor entrar na ZDP e ampliar os limites dos alunos (Aurani 1986, Higa 1988, Império Hamburger 1985, 1988).

A exposição científica que analisamos também através de quadro sinótico proporciona um contexto significativo, que propicia incidir na ZDP para o conceito de energia. Esse contexto envolve situações interativas, desde o aluno com o monitor, com os objetos da exposição, com outros alunos, até consigo mesmo (mediada pelos experimentos que vê).

A psicologia cognitiva de Piaget foi um importante começo para investigações do desenvolvimento intelectual infantil, do qual muitos autores como Vygotsky usou como ponto de partida, e hoje podemos verificar muitas consequências importantes do seu vasto trabalho que foi muito além dos seus livros aqui mencionados de 1923 e 1924, e ele merecidamente tem um lugar de reconhecimento na disciplina da educação.

Kubli expressa a necessidade de entender bem os resultados de Piaget com sua epistemologia que serve de base e com considerações adicionais antes de introduzi-los no ensino de ciências. As principais características não podem ser reduzidas aos seus famosos estágios, que muitas vezes são aplicados sem a devida clarificação: os estágios de Piaget são úteis sim, pois são adequados para apontar fraquezas num programa, ou seja mostrar um nível mínimo; mas não podemos tomar decisões rigorosas como retirar dos cursos de ciências do 1º grau todos os tópicos que requerem pensamento formal para

entendê-los (Aalst 1979). Contudo devemos ter em mente que avaliar a demanda intelectual de um programa ou tópico e a capacidade intelectual dos alunos, e depois simplesmente tentar casá-los, é necessário mas não suficiente para obtermos informação sobre a questão mais geral que Richard Kempa coloca como: 'o que, quando, por quem pode ser ensinado e em que forma'. Deixar de ensinar o conceito de energia e entropia para alunos de I grau, só porque algumas interpretações de Piaget os enquadra dentro de um estágio concreto de pensamento, é limitar as possibilidades de interação e desenvolvimento.

Assim o conceito de ZDP é importante para não esquecermos que cada matéria escolar tem uma relação própria com o curso de desenvolvimento da criança Um dos prominentes resultados do trabalho de Vygotsky é que a aprendizagem escolar tem um papel fundamental no desenvolvimento como sua fonte -a zona de desenvolvimento proximal- que traz importantes implicações na prática do educador, na sua escolha de atividades e métodos; na orientação das instituições, quanto aos processos educacionais.

Po fim concluímos que entendemos melhor as diferenças entre Vygotsky e Piaget, ao lermos Vygotsky e não Piaget.[81] Piaget deixa de responder algumas das críticas mais fundamentais, devido a natureza mesma do seu trabalho estar restrita apenas no contexto do homem isolado da evolução histórica e social e subtraído da componente afetiva, daí a necessidade de se precisar sempre voltar a Vygotsky. A unidade de análise, que Vygotsky escolheu, a conceituação do "significado da palavra", generaliza tanto para fatores internos quanto para externos. Para o estudo das correlações entre pensamento e linguagem este tipo de análise demonstra a existência de um sistema dinâmico de significado no qual não se pode separar o elemento afetivo do intelectual.

Wallon resolveu o problema da dicotomia interno x externo não considerando o problema, nem partindo do interno como fez Piaget e nem enfatizando mais o externo como fez Vygotsky: "*Caracterizando como indissoluvelmente ligados, a ação e o pensamento, na resolução das tensões, fundamentais, entre o externo a si e o interno, o homem, através da faculdade de Representação, a cada instante que reconhece o outro, o "socius", o que está de fora, vai se constituindo como ser. Representação, na poderosa concepção de Wallon, é o contrário de uma abstração, é uma existência em potência. Neste modo de pensar a dicotomia sujeito x objeto é superada, justamente na aceitação de sua exstência simultânea, sentindo que a tensão constante entre êsses contrários impulsionam os atos concretos da vida"* (Imperio-Hamburger 1987).

[81]Os comentários de Piaget foram impressos no final do livro Pensamento e Linguagem de Vygotsky da edição argentina, achamos que isso pode fazer parecer como se a palavra dele tivesse de ser a final.

## V.4. KUBLI E O DIÁLOGO

O estudo da questão da linguagem e do pensamento cotidiano sob o ponto de vista da Linguística, da Psicologia, da teoria do conhecimento e sua articulação com a atividade de ensino e aprendizagem segue na tentativa de analisarmos o que é e como deveria ser uma entrevista pedagógica e também para avaliarmos a relação de ensino e aprendizagem numa exposição científica.

Linguagem é uma das habilidades fundamentais do indivíduo humano, sempre em transformação, é um processo histórico-cultural, limitado e possibilitado pelos sentidos físicos (audição, visão) e que nos dá conhecimento do mundo exterior e interior. O que podemos ver do mundo depende também então da linguagem que podemos dispor: linguagem científica, poética, falada, escrita, etc. E as diferentes linguagens e línguas, por sua vez, de algum modo representam ou refletem, ou encorporam, diferentes modos de experimentar, perceber, ou pensar sobre o mundo, ou diferentes modos de 'ordenar' os 'dados' de experiência. (Oliveira 1992; Tertwilliger 1968)

Kubli, apoiado nas teorias de aprendizagem, sugere que a base de todo pensamento deve ser vista no meio das ações humanas (Piaget, Wallon, Vygotsky). Assim quando falamos em pensamento científico temos que considerar a linguagem e as ações juntas.

A linguagem, por ser o principal agente cognitivo, é de especial interesse para educadores profissionais de todos os tipos. Os processos cognitivos no homem são aqueles resultantes de comportamentos baseados em funções psicológicas altamente mediadas por signos.

A fala, que é o símbolo mediador de primeiro grau, é o mecanismo para manter e construir atividades cognitivas culturalmente mediadas e determinadas, como acreditava Luria- "Novas experiências e novas idéias mudam o modo como as pessoas usam a língua, de modo que as palavras se tornam o principal agente de abstração e generalização" (Luria s/d)

Quando Piaget, por exemplo, fala em conceito espontâneo, com a palavra "espontâneo", ele quer dar a idéia de que o conceito brota sozinho da criança, excluindo a interação. Ao substituir pela palavra “cotidiano”, Vygotsky na verdade cria um outro conceito, pois os "conceitos cotidianos" de Vygotsky, incluem já a idéia de que eles não estão isolados de um sistema total de conceitos (Vygotsky 1989). Isso quer dizer que a criança já começa a aprender através de interação antes mesmo de entrar na escola. Como implicação para o ensino, o professor de ciências deve considerar os conceitos cotidianos que os alunos trazem para a sala de aula, tentando elevar estes conceitos, levando em

conta a ZDP, para o nível dos conceitos científicos. Num quadro sinótico vão estar presentes os conceitos cotidianos que têm relação com os conceitos científicos a ser ensinados, e por isso seria uma boa sugestão como ponto de partida para uma interação dialógica.

Ao vermos o conhecimento como uma construção do pensamento na dimensão criativa, não podemos colocar a auto-consciência como ponto de partida primário, mas sim como produto final do desenvolvimento psicológico socialmente determinado. Essa última visão compartilhada por Luria, Vygotsky e Wallon, abre mais possibilidades ao papel da educação, mostrando que ela pode ter um maior poder de intervenção.

Tomemos como ponto de partida, o fato do comportamento humano ser tão repleto de funções cognitivas que, de muitas maneiras, ele reflete as características destas funções. Isto é especialmente verdadeiro para a linguagem que, como comportamento verbal, tem o propósito de expressar os conteúdos de cognição e pensamento. É através do estudo de tais formas abertas e manisfestas de comportamento verbal que a gente pode inferir a característica da aprendizagem.

Vygotsky e Luria demonstraram que é através da manipulação verbal e cognitiva, que o homem não somente aprende a conceitualizar objetos, situações e relações, mas também transformá-los a fim de criar novas combinações. Os cientistas se baseiam em tais tranformações para todas as manipulações cognitivas, que se iniciam quando a criança brinca com as palavras, fora do contexto social de comunicação, ao combinar e recombiná-las em várias possibilidades, tornando-se capaz de manipular a ação ou os objetos que as palavras se referem (Nuttin 1909).

Reconstruindo este processo, poderíamos seguir a gênese de conceitos, como fez Piaget quanto ao desenvolvimento de relações fundamentais entre conceitos na infância e adolescência. Só que preferimos fazer isso, não comparando faixas etárias, mas na (relação) das transformações históricas e dos conceitos dos alunos, na atividade cognitiva da exposição de ciências.

A linguagem, um sistema psicológico ,pode influenciar outros sistemas tais como a percepção e o pensar, por isso tem implicações para a vida prática e imediata que são importantes demais para ignorar. Como um sistema de comportamentos e comportamentos potenciais, a linguagem é um dispositivo capaz de regular nosso comportamento: "Uma linguagem está relacionada à algo que tem sido ou pode ser feito-comportamento ou comportamento potencial"

No que se refere ao poder de generalização, já foi mencionado por Vygotsky que a palavra já é uma generalização, mas algumas palavras são mais generalizantes que

outras[82]. Se o significado da palavra é simultaneamente pensamento e linguagem, no pensamento está presente um "reflexo generalizado da realidade", Vygotsky então conclui: Fica claro que o "método a seguir em nossa exploração da natureza do pensamento verbal é a análise semântica - o estudo do desenvolvimento, do funcionamento e da estrutura dessas unidades, em que pensamento e linguagem estão inter-relacionados" (Vygotsky 1989).

O quadro sinótico que utilizamos para analisar os dados dá uma idéia de como um conceito científico contém um alto nível de generalidade[83], sendo sempre mediado por outros conceitos, ao representá-lo como um espectro de outros conceitos, inclusive os cotidianos.

A linguagem como simbologia implica comunicação e formas de diálogo.

O DIÁLOGO

Todo diálogo pressupõe alguma forma de interação. Primeiro pensemos alguns tipos de interações com o mundo, no sentido psicolólogico de desenvolvimento.

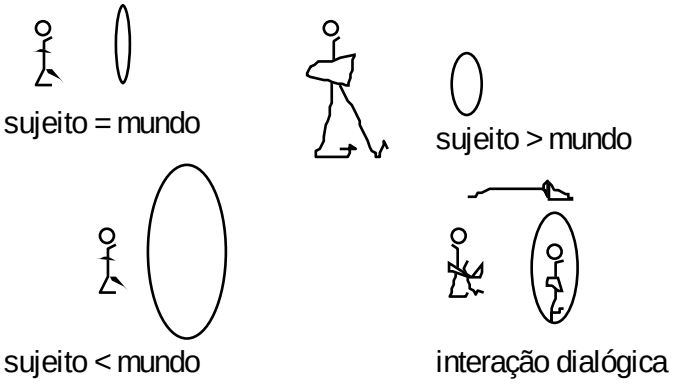



figura V

Um exemplo. Para a criança x (fig V) que está descobrindo o mundo, o mundo ainda é pequeno, do seu tamanho (espaço descentrado), mas ao mesmo tempo, na sua relação com os pais, de dependência total, o mundo é o seio e o vulto do queixo da mãe, que ele vê enquanto mama, e também é a voz da mãe e do pai. Os pais que são o mundo para ele são enormes. A medida que a criança vai enxergando a imperfeição dos pais e virando

[82]Vygotsky exemplica com a palavra mobília, que tem um grau de generalização maior que a palavra cadeira ou mesa, assim como com a palavra flor em relação à palavra rosa.

[83]pois seus significados estão compreendidos nas teorias científicas In Vygotsky: “Pensamento e Linguagem”(1989)

adolescente, o seu "eu" vai crescendo e ficando maior que tudo (diferenciando-se dos pais). Esse indivíduo x pode virar dois tipos de adultos. Ou o mundo ficou tão grande que ele foi "massacrado" por ele, ou o mundo apesar de ter crescido com o conhecimento que o sujeito adquiriu, é um mundo no qual ele pode transformar (à sua revelia). As duas possibilidades (desenvolver o externo ou o interno) não são mutuamente excludentes, a criança não é o adulto em miniatura. Se abandonada à si mesma, ela não vai virar naturalmente um adulto que interage com o mundo, de forma a poder mudá-lo.

Com relação ao papel dos parceiros, podemos ter:
i-interação direta ou comunicação irreversível

A comunicação é endereçada diretamente às ações do interlocutor, através de comandos. Kubli chama essa transmissão de informação de comunicação irreversível e não equilibrada, pois o receptor das ordens não precisa pensar sobre eles, bastando que as execute. Isto quer dizer que neste tipo de interação, por exemplo numa situação de sala de aula, o interlocutor- aluno que não está no nível do professor em relação às informações que este emite, sabe muitas vezes fazer o que está sendo pedido, sem entender o que está fazendo. Neste caso, o conteúdo a ser aprendido resulta imcompreensível, pois o transmissor da informação 'fala para si mesmo', como diz Piaget à respeito dos instrutores novos "...prestam atenção somente aos seus próprios pontos de vista. Se dão conta gradualmente e com dificuldade que não é fácil situar-se na compreensão dos estudantes, que não sabem todavia o que eles conhecem sobre a matéria que ditam".

ii- interação mediada pelo mundo ou assimétrica

Neste tipo de interação, há uma reação ativa por parte dos interagentes. Por exemplo, na sala de aula onde professor e alunos são interagentes. "A forma como os alunos reagem em cada momento é sempre única" faz com que o professor também reaja de uma maneira única que responda à essa reação do aluno: "voce prepara a mesma aula para duas classes, e acontecem coisas diferentes" (Império Hamburger-1988).

Destacamos o papel do **conteúdo a ser ensinado** "como mediatizador específico e imprescindível da interação professor-aluno na sala de aula" (Império Hamburger 1982). Na situação da entrevista, o conteúdo a ser investigado teria o mesmo papel. Trata-se de um recorte do conhecimento científico, que é "uma escolha nas possibilidades de interação do homem com o mundo". O diálogo entre o entrevistador e o entrevistado vai ser mediatizado por um conteúdo, que por si só já foi construído através de uma outra interação, do homem com o mundo natural e sócio-histórico.

Cognitivamente falando, os atos de compreensão são simétricos em relação aos seus agentes, pois para os dois lados, eles são únicos, no momento do dialógo, ao mesmo tempo que o conhecimento que o educador (professor ou pesquisador) tem sobre o conteúdo é assimétrico em relação ao aprendiz, sendo esse diferenciado do conhecimento cotidiano e etc. Para ambos, os participantes, é simétrico o fato de, terem que conduzir o dialógo com noções consistentes com os seus esquemas de assimilação, ao passo que o desenvolvimento do esquema de assimilação não é simétrico, por exemplo para uma criança: esse desenvolvimento" está firmemente ligado com o esquema de assimilação que prevalece no seu meio social". Para chegar a uma representação objetiva da realidade que vale não somente para um indivíduo, mas para uma sociedade de indivíduos - objetividade característica do conhecimento científico-, a criança deve adquirir discernimentos não somente na linguagem, mas também no sistema de esquemas de assimilação como são usados pelos adultos. Se isso não acontecer, a comunicação vai ser irreversível, e vai deixar de ser eficiente ao seu fim. Conforme Kubli, as palavras sem contexto são vazias; o professor que vai definir verbalmente uma realidade, deve reconhecer que palavras podem ser ensinadas, mas não o verdadeiro significado delas, então para haver ensino, a interação deve ser do tipo dialógica, em que exista um reconhecimento mútuo dos participantes e de seus esquemas para que ocorra uma reversibilidade na linguagem com perguntas e respostas dos dois lados. "É o dever do professor esclarecer o significado de suas palavras por atividades práticas na mesa de demonstrações". O professor também pode ter atos de compreensão durante a interação, porém existe uma direção preferencial do conteúdo, onde a intenção é ensinar, daí a preocupação com a argumentação do professor e a dialogicidade.

## INTERAÇÃO DIALÓGICA[84]

Processo contínuo de interação que envolve no mínimo dois interagentes com papéis ativos, podendo um transformar a visão do outro (elemento simétrico), o que implica uma dimensão criativa. Essa interação é mediada pelo mundo e possui o elemento assimétrico. No caso da interação professor-aluno ou educador-aprendiz em geral, para que ocorra este tipo de interação, o conteúdo a ser ensinado, com função mediatizadora, não deve nem ser somente centrado nas atividades do professor e nem centrado apenas na expectativa de aluno ativo. Para haver 'cooperação intelectual, a interação tem que ser do tipo dialógica. "A assimetria de situações em relação ao conhecimento parece ser uma

[84]Ver também Império Hamburger "Epistemologia para formação de professores" 1988 in Caderno sobre Ensino de Conceitos II

necessidade fundamental para haver a interação construtiva" (Wallon 1942) ou o aprendizado, pois o "conhecimento é essencialmente um esforço para resolver as contradições" (Wallon 1942).

A ligação existente entre as estruturas de assimilação, ou seja a ligação entre o entendimento dos pontos de vistas dos parceiros está no meio das ações, por isso Kubli destaca a necessidade do professor envolver ações integradas na sua argumentação. O pensamento se relaciona à linguagem e a ação conjuntamente, o que implica que no ensino de ciências, temos que executar ações e fazer demonstrações sempre que possível, mas estas não podem estar isoladas, têm que estar sempre integradas na explicação verbal (Kubli 1979).

DIMENSÃO CRIATIVA

Pensamento criativo e construtivo é uma questão de usar a língua, com suas referências à experiência passada, de tal modo a chegar a novas combinações, pois a dimensão criativa é inerente a uma perspectiva dialógica, histórica. A interação professor-aluno, justamente por se basear em processos cognitivos, permite construções criativas. Acima já mencionamos o caráter flexível dos processos cognitivos em relação à manipulação de objetos tangíveis, por serem independentes de sequências temporais e passos causais. Um indivíduo, ao pensar, pode inverter o curso de eventos, pulando de efeito para causa, A história da ciência reconstrói a origem, examinando os resultados, por exemplo. Essa capacidade para reversibilidade permite todas as imagináveis tentativas, erros, exploração, combinação, e construções criativas das entidades cognitivas.

Se fossemos fiéis às suposições universalistas de desenvolvimento cognitivo subjacentes à teoria de Piaget, poderíamos concluir que os nossos objetivos pedagógicos seriam facilitar o tipo de crescimento intelectual que leva ao raciocínio científico, pensamento abstrato e operações formais. O raciocínio lógico matemático como padrão da racionalidade individual e finalidade ideal da aprendizagem não é consistente com a liberdade como "a possibilidade de criar o possível".

## V.5. A CONSTRUÇÃO DOS CONCEITOS NO COTIDIANO: ENERGIA NAS PRÁTICAS HUMANAS CONCRETAS

A noção que nossos conceitos só vem de experiência cotidiana leva a um ponto de vista excessivamente unilateral. Pois é bem conhecido que a evolução de nossos conceitos tem também sido devido à experiência científica. Os conceitos científicos, de acordo com

Vygotsky, elevam a compreensão cotidiana a um nível mais preciso. Então embora os conceitos ganhos na experiência diária podem bem servir como pontos de partida, as leis e os conceitos científicos ajudam a levar a um progresso, no sentido de definir melhor a ligação da pessoa que compreende com os fenômenos. Essa ligação pode levar a um refinamento da compreensão destes conceitos, até que com o tempo as pessoas possam desenvolver algo bastante diferente, próprio de suas formas de percepção e de sua história pessoal, possibilitando a criação, tanto nos professores como nos alunos, ou às pessoas comuns expostas a esses conceitos.

A Termodinâmica e em particular a energética[85] foi responsável pela divulgação do termo energia, que penetrou em vários campos, sendo que o termo energia psíquica de Freud ficou definitivamente em nosso ideário contemporâneo.

Estudamos em especial como o conceito está disseminado no cotidiano dos alunos de Iº grau, que avaliamos segundo os dados analisados no capítulo I.

[85] Vimos nos nossos estudos "Compilação histórica do conceito de energia no século XIX"; in capítulo 4 anterior

## SER SENDO SIDO
## FINAL

Em Ser Sendo I, os estudantes de I grau entrevistados enunciam o conceito de energia não como Joule, Mayer ou Helmholtz, mas como alunos se engajando no processo de conhecer, chegando a um certo grau de organização interna. E é isso que é importante para o conceito de energia, cuja complexidade não permite uma única definição lógica, quantitativa ou qualitativa. O conceito de energia e a lei de sua conservação em sua complexidade traduzem um processo. Este aspecto, importante na aprendizagem, emergiu das interações com alunos, durante uma entrevista, colocadas no contexto da exposição, que acabavam de percorrer.

Realizamos a entrevista, que denominamos de pedagógica, no sentido de levar em conta esse processo e não apenas o resultado. O entrevistador participando do processo, conhecendo as características históricas das origens do conceito científico de energia e conhecendo também as características da Exposição Científica, incorpora sua atuação na complexidade do diálogo que se estabelece. Analisamos essa entrevista com a perspectiva, ampla, de um sistema dinâmico.

Na perspectiva do princípio de atribuição de significados usado na análise, a questão surge junto com a solução, pois, esses elementos opostos não se anulam, mas se complementam: interno e externo, indivíduo (representado por dado aluno) e social (representado no momento da entrevista pelo grupo, escola, exposição, entrevista, natureza, etc) sua atuação se constituem juntos, recíprocamente.Tivemos cuidado para não tentar simplificar o fenômeno enfatizando apenas fatores internos ou só externos da aprendizagem e do desenvolvimento.

O confronto das idéias entre Piaget e Vygotsky nos ajudou a esclarecer essa questão, que resume a interação indivíduo-social. Por que o debate Vygotsky x Piaget? Porque está no nosso contexto acadêmico de hoje: o efervescente confronto de idéias acaba aglutinando significações e favorecendo correlações. Vygotsky teve uma

compreensão da dimensão social do desenvolvimento, ao inventar o conceito de ZDP, (insatisfeito com a noção em Piaget de que o aprendizado tinha que vir a reboque do desenvolvimento). O conceito de ZDP teve origem nos estudos da relação entre aprendizagem e desenvolvimento, quando Vygotsy inverte a direção proposta por Piaget que o aprendizado tinha que vir antes do desenvolvimento. Para ele a aprendizagem sendo (imposta) primeiro pode adiantar o desenvolvimento que tem uma potencialidade.

O conceito de ZDP (Zona de Desenvolvimento Proximal) se mostra significativo para uma compreensão da Entrevista Pedagógica. Num sistema dinâmico o processo está sempre interagindo com o resultado por estarem se constituindo reciprocamente. A ZDP é uma potencialidade de desenvolvimento: a aprendizagem, vindo antes, promove o desenvolvimento. A ZDP, como qualquer potencialidade emerge de uma diferença entre dois níveis e para poder aparecer, isto é, para podermos perceber a existência dessa potencialidade, devemos observar o processo de interação entre o sujeito que aprende e o objeto da aprendizagem em termos da diferença de significado que o conceito estudado tem para o estudante e o significado científico que ele deve (ou vai) alcançar. Na perspectiva de análise, os dois significados se opõem, mas não se anulam no processo: ao aprender o conceito científico o aluno não destroe o conceito que tinha antes, mas o incorpora no novo patamar de conhecimento.

A análise da entrevista foi antes de tudo, um trabalho de percepção. A entrevista tem características a serem destrinchadas, de um fenômeno complexo, típicas de situações de ensino-aprendizagem e das relações professor-aluno. Observamos a emergência do enunciado do conceito de energia no grupo de alunos na hora da entrevista. O conceito não é explícito na exposição. Nas falas dos monitores e nos painéis é eventual. Na pesquisa histórica que fizemos sobre as origens pudemos refletir sobre questões epistemológicas que a compreensão dele implica e pudemos conjeturar sobre zonas proximais possíveis. Pudemos avaliar as imprecisões dos momentos de origem da significação, antes do estabelecimento de significado preciso na expressão das leis que

compõem as teorias científicas, acompanhando o desenvolvimento até os significados mais recentes em teorias e experiências atuais. Ao decorrer essa evolução foi se modificando a relação dos conceitos com seu uso cotidiano através das transformações sociais, tecnológicas e culturais. (Império Hamburger 1991). Os estudos históricos elevam a nossa compreensão epistemológica, importante para a compreensão dos conceitos científicos. Após a emergência dessa lei, a partir de processos termodinâmicos, ficou mais evidente a existência de certas formas de energia, como a elétrica que se destacou na disseminação generalizada no uso doméstico.

Dos estudos históricos destacamos alguns pontos epistemológicos importantes para o ensino: 1) o conceito de energia é invisível, 2) confusão com o conceito de força, 3) a importância de ter considerado a teoria do calor como movimento em vez de calor como substância, 4) o contexto social e econômico, 5) formalismo matemático, 6) o conceito de energia teve origem no enunciado da lei de sua conservação, a partir da compreensão do processo de transformação.

Ao aprofundar esses pontos adquirimos sensibilidade para a compreensão pré-científica dos conceitos que os estudantes apresentam, desenvolvendo discernimento sobre as diferenças de significado que constituem a "zona proximal" de desenvolvimento cognitivo de Vygotsky. Os estudos das origens dos conceitos científicos permitiram a formação de uma ligação própria com a realidade desses conceitos nos diversos planos de significação (Império Hamburger 1991).

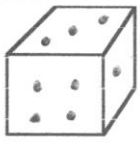
Na perspectiva da totalidade (Bohm, 1980), o processo da psicologia e física tem o mesmo sentido pois são ligados à natureza das coisas. O conceito de energia exemplifica. O conceito de energia e a lei de sua conservação é um processo. A energia na história constitui um espaço de significação. A tranformação de energia é um processo na psicologia também.

O princípio de atribuição de significados é um princípio geral, uma lei da natureza, está na história, na sala de aula e no cotidiano. O processo da elaboração desta dissertação

elevou minha compreensão dessa lei, que estava já presente no pensamento de Newton, D. Bohm e de minha orientadora, só para citar alguns pensadores.

## O DADO

É um dado



de (quase) infinitas faces. *

Você pode escolher.

De acordo com a intenção

De sua escala de ação.

É um ajuste

Cuja precisão

Depende das condições de interação.

A intenção é determinada

Pelos princípios da vida.

A precisão vem sempre

Com seu grau intrínseco

De indeterminação.

* São (quase) infinitas as faces de um dado jogado

Ou são infinitas possibilidades

Fractais

O limite é dado

Na interação

E a concreteza ↔ finita

Na ação.

*A.Império Hamburger. 10/5/1991 - à Fausta*

**SER SENDO**
**ANEXO**
DESENVOLVIMENTO DE INSTRUMENTO DE PESQUISA:
METODOLOGIA E DADOS

*"Não é somente a câmera que apreende, mas o sujeito que se expressa."*

## I. TÉCNICAS DE FILMAGEM

O TRABALHO EM VÍDEO

Em nossas pesquisas, temos verificado que o vídeo é um instrumento poderoso de ensino, seja em sala de aula ou como material para pesquisa, seja vendo o vídeo ou fazendo vídeo, tanto para alunos como professores ou pesquisadores. Participamos de duas experiências no curso de Instrumentação para o Ensino de Física (1990-1991) (ref.41). As técnicas de filmagem foram desenvolvidas em estágio com Elvira Souza Lima (agosto 1989 a julho 1990), e as de entrevistas foram influenciadas por um curso de Joan Bliss (1990).

1. Descrição da tomada de dados em vídeo

Resumimos o nosso método para pesquisa em vídeo em dois quadros:
A) Colhendo dados (Quadro I-A) e B) Manipulação das Imagens (Quadro I-B)

Quadros

Antes de irmos a campo para a coleta de dados, devemos ter pensado em várias coisas com antecedência. A primeira coisa que devemos decidir é qual a melhor forma de registro para a pesquisa que propomos. Se simplesmente vamos, por exemplo, observar qualitativamente uma aula, de modo natural, temos apenas que nos preocupar se faremos algum tipo de anotação. Se queremos investigar alguma qualidade observada com mais detalhes, podemos, então, levar na próxima observação uma folha com caracteres a bservar e colunas prontas para assinalar. Talvez prefiramos levar um gravador de áudio, ou mesmo um questionário pronto. Se decidirmos por uma entrevista, talvez queiramos ter algumas perguntas preparadas. Enfim, podemos optar por uma das formas acima ou uma

ombinação delas.

O registro no qual estamos interessados aqui, que achamos ser a melhor forma, é a gravação em vídeo; seja combinada com outras ou não, ela permite que observemos várias vezes o mesmo dado, de modo que, se tivermos dúvidas a respeito de alguma característica encontrada, podemos checar de novo. Além disso, sempre poderemos detectar alguma coisa não percebida da primeira vez, e podemos também fazer um ajuste mais fino nos recortes realizados, através da constante comparação com dados de outras fitas ou fontes.

Colher os dados para análise em vídeo não significa apenas aparecer em campo com uma câmera de filmar na mão. Na hora da situação a ser gravada, podem acontecer imprevistos, como, por exemplo: a professora que vai dar a aula, que se objetiva tomar como dado, não consegue dar a matéria no tempo programado, e, caso o pesquisador tenha levado uma bateria carregada exatamente para durar o tempo previsto, vai acabar perdendo parte dos dados que podem ser importantes. Assim, para o sucesso da coleta, é importante que se prepare com antecedência, prevendo possíveis contingências. Duas etapas devem ser pensadas para a coleta: i) preparação e ii) gravação.

i) preparação

Consiste principalmente na preocupação com as condições físicas e material humano, a saber:

- o tempo disponível (ele pode influenciar a ansiedade dos participantes e, portanto, a performance dos mesmos; tecnicamente, a bateria ou a fita podem terminar se a gravação for muito longa, o que exige uma providência anterior destes materiais)
- o local da filmagem (escola, exposição, museus, etc.). Se a gravação for feita na escola, devemos pensar se será feita em sala de aula, no pátio, na biblioteca, etc. Ao fazer essa escolha, devemos ter em mente as condições locais; se existe barulho, alguma autoridade que possa inibir a performance de alunos, etc.
- as pessoas envolvidas: antes de fazer qualquer gravação ou requerer alguns alunos de uma escola para entrevista, devemos, antes de tudo, pedir permissão para as autoridades envolvidas (um diretor, por exemplo). O número de pessoas envolvidas também é

importante (qual o número ideal de pessoas para uma entrevista conjunta). Que tipo de amostra teremos? Serão bons alunos, escolhidos a dedo ou indicados pelo professor (dependendo da configuração dos entrevistados pode-se gerar competição)? A idade, o grau, a escola, também são algumas das várias questões que surgem ao tentarmos definir as pessoas envolvidas de acordo com os nossos propósitos.

- o contexto: se é necessário absorver para nos adequarmos, como, por exemplo, nos vestirmos adequadamente para sermos aceitos pela instituição que vamos visitar. Devemos tomar cuidado para estabelecer relações amigáveis, de modo que as sessões experimentais pareçam naturais e não ameaçadoras. Talvez tenhamos que levar um pedido de permissão, assinado pela nossa instituição de pesquisa, para que a diretora da escola permita as nossas investigações. É interessante, também, combinar um horário com o professor da escola que queremos visitar, pois podemos chegar lá num dia de prova escrita, por exemplo.

- atividades: temos que ter em mente também qual a atividade dos alunos ou professores que iremos estudar, para ver a aprendizagem e o ensino se dando em termos de desenvolvimento. Um ou mais alunos podem estar desenhando, visitando uma exposição de ciências ou de arte, escrevendo (individualmente ou preparando um jornal em conjunto, por exemplo), numa biblioteca ou mesmo concentrados especialmente para uma entrevista, participando de uma oficina de ciências ou mesmo debatendo ou jogando com colegas ou professores. A escolha deve depender dos objetivos propostos. Se vamos apresentar materiais de teste, devemos ser especialmente cuidadosos para não conduzir apresentações despreparadas ou apressadas.

- O material a ser utilizado (câmera de filmar, fitas, baterias carregadas, iluminação, monitor de vídeo, tripé e microfones, como transportar esse material, etc) deve ser adequado aos itens acima. O número de fitas e baterias dependerá do tempo que durará o evento a ser registrado, assim como o uso ou não de tripé e microfones será decidido pelas atividades e o número de pessoas que serão focadas. Se houver muita ação, a câmera será mais eficiente se solta, permitindo que o operador se locomova-se mais livremente. Se o objetivo for gravar uma aula do tipo de palestra em auditório, onde o palestrante e os ouvintes não saem do lugar, um tripé poderá ajudar para que a imagem saia menos

tremida. Se o que se pretende é gravar uma entrevista com várias pessoas, um microfone será apropriado para que as diversas tonalidades de vozes saiam nítidas.

ii) durante a gravação

A principal preocupação durante a gravação é pegar o maior número de dados possível, o que envolve principalmente o manejo técnico da câmara. Você pode estar enquadrando uma pessoa e, de repente, uma outra que está mais longe também começa a falar, e aí não é possível virar a câmera rapidamente para o outro lado, com o risco da imagem sair ruim. Para isso, o posicionamento daquele que está com a câmera na mão é muito importante. Recomenda-se que o operador fique mais ou menos no meio do evento, para que ele possa alcançar todos os lados possíveis. Às vezes, o mais importante não é mostrar o maior número de pessoas, mas sim escolher as pessoas certas (o que envolve o enquadramento), ou mesmo pegar a pessoa ou o objeto bem escolhido, o que implica no bom uso do zoom. A posição e o zoom estão relacionados, pois, quando se quer pegar algo à distância, é preciso ajustar o zoom para obter um bom enquadramento. Portanto, a questão principal que está por trás dos dados em si, que vai além das questões técnicas acima, é a escolha do enquadramento.

Qual o enquadramento que irá compor os nossos dados? Serão objetos, professores ou monitores? Podemos filmar os objetos ou as pessoas isoladamente, ou os dois juntos. Quanto às pessoas, elas podem estar em grupos (no caso de alunos), ou podem ser monitores ou professores. Se enquadrarmos a pessoa (aluno / professor / monitor /ou grupo dos mesmos), ainda temos que escolher o enquadramento entre o rosto, a mão ou corpo, movimento etc., dependendo da característica que estamos estudando. Se quisermos investigar a interação, nunca poderemos nos basear num só objeto isolado, ou só no rosto de um aluno ou professor, pois a interação pressupõe pelo menos duas componentes, ou seja, ela se dá via objeto(s)-aluno(s), aluno(s)-aluno(s), aluno(s)-professor(s), ou ainda professor-aluno(s)-objeto. Para que possamos estudar a interação, caso enfoquemos o rosto de um aluno que parece entender do assunto discutido, precisamos saber com o que ele está interagindo: o que está sendo dito, qual o objeto (ou aparelho) em questão. Não existe interação com um objeto só ou uma pessoa

isolada do contexto e só. Voltaremos a discutir sobre isso logo mais abaixo.

Em seguida vem o contexto: se queremos mostrar uma parte, ela será entendida sem o todo? E o todo será entendido sem explicar suas partes? Na câmera de vídeo, o recurso técnico que temos para mostrar o conjunto e suas partes chama-se zoom.

## OS NOSSOS DADOS EM VÍDEO

A gravação em vídeo dos diálogos, da interação do aluno com os aparelhos da exposição e com os fenômenos, bem como da atuação dos monitores, foi essencial para a análise de dados na nossa pesquisa. Os diálogos também incluem entrevistas com pesquisadores-educadores. Como não foi trivial tirar dados com esse caráter, tentamos elaborar, para a análise, uma metodologia própria que servisse a nossos propósitos.

### 1- DADOS DE INTERAÇÃO EM VÍDEO (Por que filmar a interação?)

Há pesquisadores que insistem em só apontar a câmara para os alunos a fim de estudar o processo de aprendizagem ao analisar a reação desses alunos em relação ao conteúdo a ser ensinado, ou em relação à ação ou fala do educador. Achamos importante captar a imagem dos alunos, sim, mas, para avaliar a interação, é igualmente importante compreender a qual ação corresponde esta reação na forma de comportamento gestual ou oral. Isto é, não se pode avaliar que o aluno aprendeu só porque ele sorriu. É preciso focalizar a interação o mais completamente possível: se a interação for mediatizada por uma experiência, a análise do processo de ensino-aprendizagem requer que tenhamos dados de como o professor fez a demonstração (se ele integrou gestos e ações na fala, por exemplo); se não pudermos ver o objeto, seja o aparelho da experiência ou outros recursos da sua aula, deixamos de ter informação se o estilo de ensino ou aprendizagem tinha componente visual, por exemplo.

Todos esses elementos são essenciais. É preciso captar o objeto de que os alunos estão falando para que se tenha uma ideia de como eles estão interagindo com o objeto, é preciso captar o aluno e também o professor. Mas como fazer isso? Ao mesmo tempo? Se o local for muito amplo e isso não for possível, pode-se fazê-lo tendo uma ideia de movimento, o aluno, o objeto, o professor. Para que o movimento tenha esse alcance, sem

prejudicar a imagem, a posição que o cameraman do evento adotar dentro da situação será importante.

Quer a interação seja direta do aluno com o objeto, mais simétrica dos próprios alunos entre si, ou entre educador e aprendiz mediatizado por um conteúdo, não podemos esquecer o objetivo de nossa pesquisa ao decidirmos sobre o enquadramento, na hora de fazer o registro pela câmera de vídeo. Isso porque, se o objetivo é só estudar o comportamento do aluno, isolando-o do ambiente, focalizar apenas ele basta. No nosso caso, isto não é suficiente, pois trabalhamos na perspectiva de que o comportamento não é apenas intrínseco, mas também uma resposta do ambiente externo, uma interação do extrínseco com os processos internos.

Embora os dados da apresentação da exposição pelos monitores aos visitantes tenham seguido esses preceitos, o mesmo não ocorreu com os dados da entrevista com os alunos analisada em Ser Sendo I, pois a filmagem não foi feita por nós. Contudo, a questão do enquadramento se aplica mais à visita à exposição do que às entrevistas, pois naquela os alunos interagem não somente com o monitor, mas também com os aparelhos e fenômenos envolvidos.

### 1a. Tipos de dados em vídeo

Para nossa pesquisa, dispomos principalmente de dois tipos de dados: i)aulas na exposição de ciências, e ii)entrevistas. Para o primeiro tipo, basta seguir os procedimentos discutidos acima para a coleta de dados; os problemas metodológicos surgirão somente durante a manipulação (transcrição) e análise de dados. Já o segundo tipo envolve mais metodologia também na hora de registrar os dados, pois a entrevista requer outro papel para o pesquisador, que é a de entrevistador, e requer outra ação, a da comunicação. Ele pode até pedir para uma outra pessoa filmar enquanto ele faz a entrevista, mas, em todo caso, será necessário fazer perguntas, o que implica a necessidade de um método. Qual será o objetivo e o conteúdo das perguntas? Como elaborá-las? São perguntas que fizemos sobre a metodologia de entrevista, incluída no capítulo 1 (pg. 26-61).

COLHENDO DADOS ATRAVES DE ENTREVISTAS

- Características da Organização da Coleta de Dados
  - registro
    - gravadas em áudio
    - gravadas em vídeo
    - questionários escritos
  - perguntas
    - preparadas
    - não preparadas
    - modo de fazê-las
      - ordem
      - direção
  - entrevistados
    - escolha aleatória
    - escolha requerida
    - número
    - amostra
      - grau, nível
      - idade
      - número
  - realizadores
    - monitores
    - professores
    - pesquisadores
    - alunos
  - período
    - pré-visita
    - durante visita à exposição
    - pós visita
  - ambiente
    - lugar fechado
      - escolas
        - salas
        - pátios
      - museus
        - ciência
        - arte
      - oficinas
    - ar livre
    - posição
      - em pé
      - sentados
      - de lado
      - de frente
  - Fatores psicológicos
    - entrevistas com comentários
    - confiança no entrevistador
    - clima geral
    - ações e reações com problemas do dia
    - ficar confortável/ à vontade
    - objetivo da entrevista é/não comunicado
    - modo de fazer perguntas entonação ansiedade expectativa impaciente velocidade
    - atitude calmo (c/s/ pausas)
    - gestos maneira de olhar

Quadro I.1.a

## COLETA DE DADOS POR ENTREVISTA

As entrevistas podem ser gravadas em áudio, embora existam várias vantagens em realizar o mesmo trabalho em vídeo.

No registro da entrevista em vídeo, pode-se incluir também a comunicação não verbal como os gestos, expressões, entonações, sinais não verbais, hesitações, alterações de ritmo; enfim, toda uma comunicação não verbal é muito importante para a compreensão e a validação do que foi efetivamente dito. O entrevistador pode se sentir livre para se concentrar nos detalhes que quiser para a entrevista enquanto o vídeo estiver registrando quase todos os detalhes possíveis. Essa é uma outra vantagem da gravação em vídeo: ela permite ao entrevistador recuperar outros detalhes da entrevista para a qual ele não pôde dar atenção exclusiva na hora.

Quadro I.B

- análise de desenho,
- tabulação,
- transcrição
  - material
    - total,
    - recortes,
  - modo
    - direto,
    - passado em áudio,
    - ao vivo,
  - conteúdo
    - ações-professor,
      - aluno,
    - fala -individual,
      - interativa,
    - gestos -monitores,
      - -professores
      - -alunos,
  - layout
    - número de colunas,
- análise e descrição de monitores ou professor
- minutagem de fitas,
- montagem de filmes,

## III. A QUESTÃO DA LINGUAGEM

O cuidado na escolha da linguagem é importante para haver ensino numa entrevista ou em qualquer situação de ensino-aprendizagem. O conteúdo da linguagem do entrevistador envolve também gestos, atitudes de comportamento e estilo. Estudamos os seguintes aspectos dela: visão histórico-epistemológica, visão lógica, visão cognitiva e visão psico-pedagógica (interação dialógica) para articular com a atividade de ensino e aprendizagem. Tratamos a separação entre linguagem do pensamento cotidiano e científico sob o ponto de vista da Linguística, da Psicologia e da teoria do conhecimento.

## ANÁLISE DE DADOS

## MÉTODO DE ANÁLISE

Começamos com observações qualitativas das ações e linguagem dos monitores, e também de alunos entrevistados. Conforme encontrávamos alguma ação significativa, relacionada aos objetos de nossa pesquisa, a saber, com o aprendizado do conceito de energia e com a ZDP, tentávamos uma codificação. Verificávamos inicialmente se este código coincidia com algum conceito já existente; caso contrário, nomeávamos essa característica (ver cap.I).

Numa etapa posterior, fazíamos mais observações, por vídeo ou já via transcrições, com essa lista de códigos na mão para uma comparação. Às vezes, acrescentávamos mais códigos na lista, mas muitas vezes também subtraíamos outros. Os novos códigos nomeados eram então testados através de observações de material diferente, isto é,

tentávamos observar em outros monitores, por exemplo, se determinada característica observada no nosso primeiro monitor em foco estava também presente no novo dado. Para cada monitor observado, obtínhamos, então, uma lista de configurações que queríamos avaliar. E, através da comparação constante entre as listas e com os códigos entre si, fomos tentando chegar a uma síntese. Agimos de modo livre, tentativamente, e, na medida em que os dados mostravam sentido, fomos anotando as nossas observações e percepções sobre as formas de ensinar dos monitores. Após ter feito isso, tentamos explicar os passos que tomamos, procurando alguma espécie de lógica. Percebemos que a parte comparativa foi muito semelhante ao "método de constante comparação", utilizado na pesquisa em Sociologia, principalmente por Glaser, seu ideador.

A seguir descrevemos um pouco do que fizemos:

Observávamos que um monitor falava depressa, e que isso era uma característica psicológica, e era significativo do ponto de vista de **disponibilidade**. Comparamos, então, com a ansiedade de outros monitores, para avaliar se isso poderia afetar a recepção dos alunos. Tentávamos, em seguida, outros fatores de disponibilidade, donde verificamos características de comunicação gestuais e de entonação da voz. Quando observamos, por exemplo, que a forma de ensinar era por contar, como se conta uma estória de fadas, também observamos que essa poderia ser uma forma descritiva dos fenômenos, ter caráter explicativo ou simplesmente conter fatos da ciência. Codificamos estas características como sendo relacionadas com o tipo de orientações dos monitores.

Eis aqui uma possível lista de códigos de orientações:

- orientação para ciência tipo descoberta (que enfatiza processo)
- fatual (orientados em fatos)
- fenomenológica
- causal
- matematizada

Através de suas orientações, pudemos inferir suas **idéias sobre a ciência** e de como elas afetavam a maneira como os monitores ensinavam os assuntos de física. Dentro dessas configurações, pudemos observar ainda categorizações importantes, ligadas ao conteúdo, que é um conceito fundamental, que não precisou ser nomeado por ter uma longa existência cotidiana anterior. Abaixo alguns códigos relacionados ao conteúdo:

- apropriado (em relação ou ligado ao desenvolvimento)
- conceitual (ênfase na explicação sobre os conceitos)
- científico (ênfase no método sintático)
- ligações (liga o conceito nas várias experiências)

A análise da linguagem, quanto à forma ou organização semântica, poderia fazer parte das características de conteúdo também, mas analisamos como um grupo separado, devido à multiplicidade de códigos. Eis alguns exemplos:

- uso de exemplos
- uso de analogias
- uso de metáforas
- gestos
- contextualização
- referências históricas

{-análise semântica da explicação conceitual}

Além disso, decodificamos vários outros aspectos qualitativos e quantitativos do conhecimento substantivo, sintático e práticas de ensino, tais como:

- referência ao visual
- referência às ações
- representação matemática

Essa análise levou à síntese apresentada no capítulo II. A nosso ver, o detalhamento de todas as categorizações realizadas não leva, por si só, a resultados significativos.

## REFERÊNCIAS E NOTAS BIBLIOGRÁFICAS


1-ARCHENHOLD, Fred. "An empirical study of the understanding by 16-19 years old students of the concepts of work and potential in Physics" in Cognitive Development Research in Science and Mathematics.1979

2-ARONS, A.B. "Developing the Energy Concepts in Introductory Physics"-*The Physics Teacher*- Seattle

3-AURANI, K.M. Ensino de Conceitos: Estudo das origens da 2a lei da Termodinâmica e do Conceito de Entropia a partir do século XVIII- Dissertação de mestrado 1986. Orientação: Amélia Império Hamburger.in: Caderno de Ensino de Conceitos II. org. Amélia Império Hamburger.São Paulo,Publicações IFUSP/P -713.1987.p.48-160.

4-BAKHTIN, M. Marxismo e Filosofia da Linguagem, Tradução das versões francesa e americana de Laud e Frateschi Vieira, Ed. Hucitec, São Paulo, 1981.

5-BALL .1991 in Brophy .1991.(ref. nº 18 )

6-BAMBROUGH, Renford. The Philosophy of Aristotle. New translations by J.L. Creed and A.E.Wardman-New American Library Inc.1963.

7-BEYNON, John. "Some Myths Surrounding Energy". *Physics Education* v.25, n.6, p.314.

8-BLACKMORE, J. D. Ernst Mach, his life, Work and Influence. Berkeley and Los Angeles, Univ California Press,1972.

9-BLISS, J; MONK, M. AND OGBORN, J. Qualitative Data Analysis for Educational Research . Croom Helm Ltd. 1983.

10-BLISS, JOAN; OGBORN, J. Curso "Métodos de pesquisa".São Paulo, set 1990.

11-BOBBS-MERRIEL COMPANY, INC. On Nature: Lucretius- Translated by Russel M. Geer.1965

12-BOHM, DAVID. Causality and Chance in Modern Physics. Harper, New York, 1961. (Routledge & K. Paul, London, 1957.)

13-_____. A Totalidade e a Ordem Implicada.Título do original: Wholeness and the Implicate Order,Trad. Mauro de Campos Silva, Editora Cultrix, São Paulo.Publicado originalmente por Routledge & Kegan Paul Ltd.1980.

14-BOLTZMANN, LUDWIG. Theoretical Physics and Philosophical Problems. *On Statistical Mechanics,* pg 169. *Development of Methods of Theoretical Physics,* 1899. *A word from Mathematics to Energism,* 1896

15-_____. Populäre Schriten, *On Energetics,* Essay 9, primeiramente publicado in Annalen der Physik und Chemie 58, 1896, 595.

16-BRODA, ENGELBERT. "Ludwig Boltzmann Man, Physicist, Philosofer", Ox Bow Press.

17-BROOK, ANGELA J. AND PETER WELLS. Conserving the Circus? An Alternative Approach to Teaching and Learning about Energy. *Physics Education* v.23, n.2, pg. 80, March 1988.

18-BROPHY, JERE. *Advances in Research on Teaching.* Vol. 2, 1991.

19-BRUNER, JEROME.Acts of meaning.Harvard University Press.1990. (As citação de Bruner sobre Vygotsky foi tirada do "Pensamento e Linguagem" de Vygotsky 1989).

20-BRUSQUE, LAURIE. "Potential Interaction and Potential Investigation of Science Center Exhibits and Visitor's Interest". *Journal of Research in Science Teaching,* Vol. 28, Issue 5, May 1991, pg. 411.

21-BURNS, DAVID D. Feeling Good. Ed. Avon, 1980.

22-BUTLER SONGER, NANCY; LINN, MARCIA C. "Teaching Thermodynamics to Middle School Students: What are appropriate cognitive demands?". *Journal of Research in Science Teaching* Vol 28, Issue 5, May 1991, pg 885.

23-CANEVA, KENNETH L. Robert Mayer and the Conservation of Energy. Princeton University Press. Princeton (NJ),1993.

24-CARR, MALCOLN AND VALDA KIRKWOOD. "Teaching and Learning about Energy in New Zealand Secondary School Junior Science Classrooms". *Physics Education,* v.23, pg 86.

25-CLAUSIUS, R. "On the application of the theorem of the equivalence of transformations to the internal work of mass of matter", The Second Law of Thermodynamics, editado por J.Kestin, Benchmark Papers on Energy, vol 5 Dowden, Hutchinson & Ross, Inc, 1976.

26-COLL SALVADOR, CÉSAR. "Acción, Interacción y Construcción del Conocimiento en Situaciones Educativas". *Anuario de Psicología.* Núm.33, v.2., 1985.

27-DAVIS, CLÁUDIA; OLIVEIRA, ZILMA DE MORAES RAMOS. A psicologia na Educação. São Paulo, Cortez, 1990.

28-DE LA TAILLE (Piaget 1951); KOHL DE OLIVEIRA, MARTA; DANTAS, HELOYSA. Teorias Psicogenéticas em Discussão.(Piaget, Vygotsky e Wallon) Summus Editorial, 5a edição, 1992.

29-DUNIN-BRONOWSKI. "The Concept of Energy. Its Structure and Teaching Strategy" in Energy Resources in Science Education- Edited by D.F.Kirwan- University of Rhode Island.-USA. Pergamon Press. (Science and Technology and Future Human Needs vol. 7).1987.

30-ELKANA, YEHUDA. The discovery of the Conservation of Energy-Hutchinson Educational, first published 1974.

31-FEYNMAN (1963). A citação encontra-se na ref. n. 17 acima.

32-FLESHNER, E. A. The mastery in children of some concepts in Physics. In E. Stones (ed.) Reading in Education Psychology. London, 1970: Methuen & Co. Ltd pgs 248-262.

33-FREIRE, IVONE. Dissertação de Mestrado, orientação Amélia Império Hamburger, Instituto de Física e Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, 1989.

34-GARCIA RODRIGUES, IDELY; TERRAZAN, EDUARDO A.; AURANI, KATYA M.; HAMBURGER, ERNST WOLFGANG. Funcionamento de uma exposição de divulgação científica. IFUSP. Painel apresentado no X Simpósio Nacional de Ensino de Física, jan 1993.

35-GARCIA, ROLANDO."El Desarrollo del Sistema Cognitivo y la Enseñanza de las Ciencias", *Rev.Consejo Nac. Tec. de la Education,*42,Mexico,1991.

36-GASPAR, ALBERTO. Tese (doutorado). Orientação: Ernesto Wolfgang Hamburger. FEUSP/IFUSP. 1993.

37-GLASER, BARNEY G. Constant Comparative Method of Analysis. *Journal of Social Problems.* v.12, p. 436.

38-GRAVINA, M. H.; BUCHWEITZ. Mudanças nas Concepções Alternativas de Estudantes Relacionadas com Eletricidade. *Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 16, nos.(1-4), 1994.*

39- HAMBURGER, ERNST W.; HIGA, TEREZINHA T. Relevância de uma exposição de divulgação científica no ensino. Programa Ciência Educação.Departamento de Física Experimental. Instituto de Física, Universidade de São Paulo. Painel apresentado no IX Simpósio Nacional de Ensino de Física, IFQSC-USP, São Carlos(SP).Jan.1991.

40- HAMBURGER ET AL. Catálogo sobre as experiências da Exposição. Organizado pela equipe do Laboratório de Demonstrações do Instituto de Física da USP, março 1989. E.W.Hamburger (coord)

41-HECHTS, EUGENE. Optics - Addison Wesley, 2ª ed; ( ver também: F. Cajori, A history of physics*;* Magie, ref # 52 ; e M. H. Shamos, Great Experiments in Physics).

42-HELLER, AGNES. Do cotidiano à História (Alltag und Geschichte-Budapeste, 1970) tradução de C.N.Coutinho e L.Konder. Editora Paz e Terra, 1985.

43-HELM & NOVAK 1983, Novak 1987- in Smith & Neale, in Advances in Research on Teaching. Jai Press Inc.

44-HIGA, TEREZA T. Conservação de energia: Estudo Histórico e levantamento conceitual dos alunos. Dissertação de Mestrado; Orientação: A. Império Hamburger. IFUSP, 1988-não publicado-200 pgs.

45-HOLTON, GERALD. Thematic Origins of Scientific Thought (Kepler to Einstein)-Harvard-pg 220.

46-HOLLON, R.; ROTH, KATHLEEN J. AND ANDERSON, C.W. in Brophy ref. n.15.

47-HUMPHRIES, ROLFE. Lucretius - The ways things are - The Rerum Natura of Titus Lucretius Carus - Indiana University Press, 1969.

48-HURTADO URE, M.; MUELLER,G.;SEBASTIÁ, J.M.; DÁLESSANDRO MARTINEZ, A., "Concepções Intuitivas de los Estudiantes sobre el Principio de Acción y Reacción. *Revista Brasileira de Ensino de Física.1994.*Volume 16.nos.1-4 .

49-IMPÉRIO HAMBURGER, AMÉLIA(1989). Evolução dos Conceitos nas Teorias da Física como Alternativa do Ensino de História da Ciência- IFUSP/P-714 e in Revista da SBHC e in "Caderno sobre Ensino de Conceitos em Física II" (dez 1982).

50-_____Curso sobre as origens das duas leis da Termodinâmica. IFUSP, 26/1-2/2/1993. Convênio FDE (Fundação de Desenvolvimento da Educação) da Secretaria de Estado da Educação. Fundação VITAE e Universidade de São Paulo, pg. 29.

60-_____Porque História e Filosofia da Física no Ensino de Física. SNEF, 1985, pg 90.

61-_____. Atitude Crítica (positivista) e Atitude Construtivista (Realista), Os Exemplos da Relatividade e da Mecânica Quântica, segundo Paul Langevin - Publicações IFUSP/P-471, junho 1984.

62 -IMPÉRIO HAMBURGER, AMÉLIA; SOUZA LIMA, ELVIRA C. A. ”O Ato de Ensinar Ciências”. Publicações Universidade de São Paulo, IFUSP/P-776., Março 1989.

63-IMPÉRIO HAMBURGER, AMÉLIA. Epistemological and Historical Studies of Physics Concepts for Science Teaching. Submitted to the International Conference "The History and Philosophy of Science and School Science Teaching". Florida State University. Tallahasee, Florida, USA. November 1989. More History of Science in Science Teaching: in Herget, D.H.(ed.) University of Florida 1990-pg 79-83.

64-_____ 2o. Seminário Latino-Americano sobre Alternativas para o Ensino da História da Ciência e da Tecnologia, Fev 87 in Caderno sobre Ensino de Conceitos em Física II, pg 13.

65-_____. Epistemologia da Física para formação de professores. in Caderno sobre ensino de conceitos II. Publicações IFUSP-P749. pg 15-47, 1982.

66 -_____ Epistemologia e Física. Curso de Pós Graduação no IFUSP.1994.

67- _____ “In Physics and in Psychology: Recovering Non-Mechanistic Science?” (Na Física e na Psicologia: Recuperando a ciência da Mecânica Não Mecanicista?) Publicações/ P-849. São Paulo,1990. IFUSP.

68-_____ (in Prep.). Comprehension and Limits of a Theory in Natural Philosophy: Scientific Knowledge in Isaac Newton.

69-IMPÉRIO HAMBURGER, AMÉLIA et al. Conceito de Energia: O Invisível em Vídeo. Instituto de Física da USP, 1992. Preparado junto com alunos do Curso de Instrumentação para o Ensino de Física. Colaboração de José Ângelo Rodrigues.

70-JUNG, KARL. A Energia Psíquica. s/d

71-KAMII, C & DE VRIES, R. Physical Knowledge in the Pre-School. Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall. (O conhecimento Físico na Pré-Escola. Artes Médicas).1978.

72-KAMIOJI, MARLY IYO & RODRIGUES, JOSÉ ANGELO.Vídeo “Ser Sendo: A Energia que se Conserva ao se Transformar” editado para apresentação da defesa dessa dissertação de Mestrado. Orientação: AMÉLIA IMPÉRIO HAMBURGER, 1995. (6 Minutos). Ver Biblioteca (Videoteca) do IFUSP.

73-KESTIN, J. The second law of Thermodynamics - Benchmark Papers on Energy nº l5, Dowden Hutchingon & Ross Inc.Penna, 1976.

74-KIRWAN, DONALD F.(Ed). Energy Resources in Science Education.University of Rhode Island, USA - Pergamon Press, Oxford, New York, 1987. Bangalore Conference

on Science and Technology Education and Future Human Needs, held in Bangalore, India, Aug.7-14,1985. *Science Technology and Future Human Needs.* Vol.7.

75-KOENISGSBERGER, LEO. Herman von Helmholtz. Translated by Frances A. Welby. Dover Publications, Inc, New York.1965.

76-KUBLI, FRITZ. "Piaget's Cognitive Psychology and its Consequences for the Teaching of Science". *Eur. J. Educ*, 1979, vol 1, n. 1,5-20.

77-KUHN, THOMAS S. "Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery". in the Sociology of Science - Barber and Hirsch (ed.) The Free Press of Glencoe (2nd ed-1962) a division of the MacMillan Company. 60, First Ave NY.

78-LEINHARDT & SMITH 85, SCHULMAN 86, 87, PETERSON, FENNEMA, CARPENTER 91 in ref. Brophy

79-LEITE LOPES, J. A Estrutura Quântica da Matéria. Ed UFRJ.1993.

80-LEROY-GOURHAN,A.O gesto e a Palavra.2v.SP, Martins Fontes, s/d

81-LINDSAY, R.B. Benchmark Papers on Energy vol.1. Energy Historical Development of the Concept. Dowden Hutchingon & Ross, Inc. 1975 Penna. Textos originais de Lazare Carnot, Young, Bernoulli, Huygens, Leibniz.

82-LURIA, A.R.Mind in Society. (edição em português: Pensamento e Linguagem. Porto Alegre, Artes Médicas,1987).

83-MACH, ERNST. (1871) History and Root of the Principle of Conservation of Energy. Translated from the German and annotated by Philip E. B. Jourdain, M.A.-Chicago The Open Court Publishing CO. copyright 1910.

84 _____ Popular Scientific Lectures - 5a ed - The Open Court Publishing Company - traduzido para o inglês por Thomas McCormick.1943.

85-MAGIE, W.F. Source Book in Physics, Textos originais de Mayer, Joule, Rumford, Davy, Black. MsGraw Hill 1935, N.York

86-MAXWELl, J.C. Theory of Heat. AMS Press. New York,1872.

87-MIRANDA DE OLIVEIRA, MARGARETH. O "Átomo" Da Conceituação Indutiva Grega à Realização Quantitativa Européia. Dissertação de Mestrado.Orientação: Amélia Império Hamburger. Caderno sobre Ensino de Conceitos em Física. Publicações.Universidade de São Paulo. IFUSP/P-1105. São Paulo, 1993.

88-NARDI, ROBERTO. Campo de Força: Subsídios históricos e psicogenéticos para a construção do ensino desse conceito - Rev. Textos - pesquisa para o ensino de ciências n.5- São Paulo, Faculdade de Educação, 1991.

89-NUTTIN, JOSEPH. Motivation, Planning and Action.Lawrence Erkaum Assoc.1909.

90-OLIVEIRA, ZILMA DE MORAES RAMOS. A Natureza do Ensino Segundo uma Perspectiva Sociointeracionista. Revista Ande (Para Simpósio na 42a. Reunião Anual da SBPC)

91-OSTWALD, WILHEM. Natural Philosophy.Translated by Thomas Seltzer. Revisão de Wilhelm Ostwald. New York, Henry Holt and Company. 1910.

92-O'LOUGHLIN, MICHAEL. "Rethinking Science Education: Beyond Piagetian Constructivism. Toward a Sociocultural Model of Teaching and Learning". *Journal of Research in Science Teaching.* Vol.29. n8. pp. 791-820 (1992).

93-PEARCE, GLENN AND MAYNARD, PATRICK (Editors). "Conceptual Change". The University of Western Ontário, London, Ontario, Canada. D.Reidel Publishing Company - Dordrecht-Holland/Boston-USA.

94-PEDROSA, MARIA ISABEL P.C. The Child-child Interaction as a Space for the Subjects' Construction. Em Portugues: Interação criança-criança: um lugar de construção do sujeito. PhD. thesis (289pp.) Instituto de Psicologia da USP.1989.

95-PEDROSA, MARIA ISABEL (Dep de Psicologia-Universidade de Pernambuco); CARVALHO, ANA MARIA ALMEIDA (Instituto de Psicologia-Universidade de São Paulo, Brasil); IMPÉRIO-HAMBURGER, AMÉLIA (Instituto de Física - USP). "From Disordered to Ordered movement: Attractor Configuration and Development".1995. (em publicação)

96-PETERSON, FENNEMA, CARPENTER-91 in Advances in Research on Teaching. vol 2.

97-PIAGET, J. A Linguagem e o Pensamento da Criança - São Paulo: Martins Fontes, 1989.

98-_____"Comentários sobre las observaciones críticas de Vygotsky". in Pensamiento y Lenguaje. Buenos Ayres, La Pleyade, 1981.

99-RODRIGUES MATTOS, CRISTIANO. Entrando na era do Ensino de Entropia. Dissertação de mestrado.1991 in Caderno sobre Ensino de Conceitos em Física IV-org. Amélia Império Hamburger .1992.

100-SCHEMBERG, MÁRIO. Debate Bohr-Einstein, 1986. Debate realizado no IEA (Instituto de Estudos Avançados) da USP ( Universidade de São Paulo), a ser publicado.

101-SCHROEDINGER, E. Statistical Thermodynamics - Cambridge at University Press.1964.

102-SLAVIN, ROBERT. Motivation Enhancing Environments. in Advances in Motivation and Achievement. Editors: Martin L. Maehr, Carole Ames. vol.6. 1989.

103-SMITH, DEBORA C.; NEALE, DANIEL C. ”The construction of subject matter knowledge in primary science teaching” in Advances in Research on Teaching - Vol. 2 - 1991 - by Jere Brophy.

104-TERTWILLIGER, ROBERT F. Meaning and Mind. Oxford University Press, 1968.

105-TRUMPER, RICARDO. “Energia é um jeito construtivista de ensinar”. *Physics Education* v25. n4.julho 90 pg 208.

106-VALLE FILHO, M.R.”Estudo Psicogenético da Noção de Centro de Massa: Uma Contribuição para o Ensino de Física”. Tese (Doutorado). FEUSP.242P.1989.

107-VIGHETTA, LUISA. 'Efficiency' in the Teaching of Energy. *Physics Education* v25, n.6, p.317.

108-VYGOTSKY, L.S. (1962) Thought and Language, Cambridge: The MIT Press (1a edição russa-1934). Pensamento e Linguagem.Editora Martins Fontes.1989 (2a.ed.).

109-VYGOTSKY, L.S. Formação Social da Mente. Martins Fontes.1989. (Mind in Society)

110-VYGOTSKY, L.S.; LURIA, A.R. E LEONTIEV, A.N. Linguagem, Desenvolvimento e Aprendizagem, São Paulo, 1988.

111-WALLON, H. De L'Acte à la Pensée. Paris: Flammarion.1942.

112-Ver refs. #1, 2, 3, 5, 11, 13, 18, 21, 32 e 33