



Universidade Estadual de Campinas  
Faculdade de Educação

**O FUNCIONAMENTO DE TEXTOS DIVERGENTES  
SOBRE ENERGIA COM ALUNOS DE FÍSICA.  
A LEITURA NO ENSINO SUPERIOR**

**JOSÉ LUIS MICHINEL MACHADO**

Campinas  
2001



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE EDUCAÇÃO**

**TESE DE DOUTORADO**

**O funcionamento de textos divergentes sobre energia com  
alunos de física. A leitura no ensino superior**

**José Luis Michinel Machado**

**Orientadora: Profa. Dra. Maria José Pereira Monteiro de  
Almeida**

**Este exemplar corresponde à redação  
final da tese defendida por José Luis  
Michinel Machado e aprovada pela  
Comissão Julgadora.**

**Data:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Assinatura:** \_\_\_\_\_

**Comissão Julgadora:**

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

CATALOGAÇÃO NA FONTE ELABORADA PELA BIBLIOTECA  
DA FACULDADE DE EDUCAÇÃO/UNICAMP  
Bibliotecário Rosemary Passos - CRB-8ª/5751

M582f	<p>Michinel Machado, José Luis. O funcionamento de textos divergentes sobre energia com alunos de Física : a leitura no ensino superior / José Luis Michinel Machado. -- Campinas, SP : [s.n.], 2001.</p> <p>Orientador : Maria José Pereira Monteiro de Almeida. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Educação.</p> <p>1. Leitura. 2. Textos divergentes. 3. Energia. 4. Física - Estudo e ensino. 5. Educação superior. I. Almeida, Maria José</p>
José	<p>Pereira Monteiro de. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Educação. III. Título.</p>

À memória de:  
Encarnación, minha mãe;  
Lorenzo, meu pai;  
Pablo Emilio, um tio.  
...Três referências na minha vida.

A Juan Carlos, com quem tenho  
uma dívida impagável.  
...Uma esperança



## AGRADECIMENTOS

Redigir este trabalho em primeira pessoa do singular ou do plural tem sido para mim um dilema do qual não tenho podido me liberar. São testemunhas disto as pessoas que fizeram sua leitura preliminar. O momento de escrever estes agradecimentos foi uma ocasião prática de tomar consciência das razões desse dilema. A elaboração desta tese nunca foi um processo inteiramente individual; ainda nos meus momentos de “sonhos” de seus aspectos teóricos ou empíricos, foram muitos os interlocutores que me ajudaram na produção de “fechamentos” nas idéias implicadas neste texto. É impossível reconhecê-los todos. Por essa razão, e para não esquecer a nenhum, quero começar expressando minha gratidão a *todos vocês* que fizeram possível que *o nós* apareça nesta tese.

Especial agradecimento:

A Maria José Pereira de Almeida, minha orientadora de doutorado, a qual me ensinou inúmeras coisas em relação à amizade, à solidariedade, ao espírito crítico e ao trabalho permanente de produção de conhecimentos.

Aos colegas do gepCE, especialmente a Henrique, Pedro, Luis Eduardo, Odissea, Paulo, Cezar, Benigno, interlocutores inestimáveis para a produção deste trabalho.

A Eni Orlandi e Ennio Peres, membros da banca de qualificação, por suas valiosas sugestões.

A Eliane, pelos muitos, aquilatados e agradáveis papos que me permitiram alcançar sínteses em momentos de devaneios; e pelo seu carinho.

A Deisi, José Carlos e Dirceu, pelas leituras deste e outros trabalhos que o subsidiaram; e pela sua grande amizade.

A Giovanna por sua solidariedade a toda prova.

Aos alunos da Licenciatura em Física das turmas EL873 (1999), EL643 (1999 e 2000), EL631 (1999) e da Licenciatura em Química da turma EL878 (1999).

Aos colegas da pós-graduação.

A Ana Maria pela revisão do português.

À “Facultad de Ciencias” da UCV e à FE da UNICAMP pelo seu apoio institucional.

Ao “Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico” (CDCH) da UCV pela bolsa de doutorado e outros apoios financeiros que me foram concedidos.



## RESUMO

Na origem deste estudo está meu desacordo com a maneira como a noção de energia e outras que são constitutivas de sua estrutura conceitual são trabalhadas nos livros didáticos de física para a educação superior. Está também a compreensão de que o texto escrito é apenas um dos fatores de desenvolvimento de conhecimento pelo aluno, em uma relação que implica as condições de produção da leitura.

Neste trabalho me questiono se a divergência é um mediador didático que, exposto através da leitura, pode ativar deslocamentos conceituais, que permitam reconstrução conceitual da noção de energia pelos alunos. Busca-se compreender o funcionamento da leitura de textos divergentes sobre a energia por estudantes de física e promover deslocamentos nas suas significações dessa noção.

O critério para a seleção dos textos, pensados como mediadores neste trabalho, foi que promovessem a divergência própria da atitude crítica. A diversidade de textos está relacionada à física clássica e aos trabalhos de Prigogine, os quais apontam para uma racionalidade que repensa o papel do tempo na física. A perspectiva de Bachelard auxiliou-nos a compreender o desenvolvimento do conhecimento científico, com a proposta do conceito-estrutura de perfil epistemológico, ampliado por Mortimer no seu conceito de perfil conceitual, que engloba aspectos ontológicos. As formulações teóricas de Vygotski, relacionadas com o desenvolvimento conceitual no indivíduo, ajudaram-me no entendimento dos processos de mediação simbólica e social que ocorrem na sala de aula. A análise de discurso, como explanada por Pêcheux e Orlandi, foi básica para compreender a dinâmica e o funcionamento social da linguagem, em particular as interlocuções produzidas em uma relação polêmica, no espaço da aula universitária.

Introduzir a divergência, via leitura e discussão de textos, catalisadas por processos de mediação social e simbólica, possibilitou a ação de um discurso polêmico que confrontou a tendência parafrástica do discurso pedagógico e que gerou deslocamento de significações, o que permitiu aos alunos a re-significação dos conceitos. Também foram identificadas condições de produção da leitura, próprias desse espaço educativo

universitário.

## ABSTRACT

In the origin of this study is my disagreement to the way some notions like energy and others comprised in its conceptual framework are held in Physics textbooks used by college students. Also it has been influenced by the believe that written text is only one among all factors related to student's knowledge development, in a complex process where conditions of reading production are implied.

Here, I inquire if divergence may function as a mediator of learning related to energy conceptual reconstruction by students i.e. once brought by the reading of divergent text, it may produce conceptual displacement. So, this study aims to understand the functioning of reading of divergent texts on energy in Physics classes and to promote displacement of meanings ascribed by students to this notion.

The texts, thought as mediators, should promote the characteristic divergence of critical attitude. Both, Classic Physics and Prigogine's works are related to the texts' sample. Prigogine's works imply a rationality that rethinks the role of time in Physics. Bachelard's frameworks has made possible the understanding of the development of scientific knowledge, through the concept-structure of epistemological profile. It has been amplified by Mortimer's notion of conceptual profile, which comprehend ontological aspects. Vygotski's theoretical formulations on conceptual development has helped me to understand both symbolic and social mediation processes that happen in classroom. The discourse analysis, as exposed by Pêcheux and Orlandi, has played a significant part in the comprehension of language's dynamics and its social functioning, particularly the locutions produced in polemic discourses in college learning situations.

Divergence brought into classroom activities, through texts reading and discussion, catalyzed by social and symbolic mediation processes, has made possible the action of a polemic discourse. It has been confronted to paraphrase characteristic of pedagogic discourse and has generated meaning displacements. It has allowed a conceptual re-significance by students. Also conditions of reading production pertinent to college

learning were identified.

## ÍNDICE

<b>RESUMO.....</b>	<b>ix</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>x</b>
<b>1. O ETERNO RECOMEÇO DAS COISAS ... ..</b>	<b>1</b>
<b>2. O PROBLEMA.....</b>	<b>13</b>
<b>3. O IDEAL DA REALIZAÇÃO É EXIGENTE: A TEORIA QUE REALIZA PARCIALMENTE DEVE REALIZAR TOTALMENTE .....</b>	<b>17</b>
3.1. Divergência, diferença ou paradigma? Uma escolha fundamentada na significação.....	17
3.2. Fundamentos Teóricos.....	22
3.3. Aspectos Metodológicos .....	79
<b>4. RESULTADOS: UM FÍSICO SÓ CONHECE VERDADEIRAMENTE UMA REALIDADE QUANDO A REALIZOU ... ..</b>	<b>101</b>
4.1. Aspectos gerais do funcionamento da leitura dos textos divergentes: algumas condições de produção que emergem da práxis de leitura concreta.....	102
4.2. Qual a dinâmica de significação da energia que se produz durante o processo de leitura e discussão dos textos divergentes?.....	131
<b>5. UM RETORNO ETERNO DA RAZÃO.....</b>	<b>163</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>173</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>183</b>



**aqui vai imagem**  
**Pedro León Zapata**  
**Zapatazo. Caricatura no Jornal “El Nacional”**  
**Venezuela 25/08/2000**



*“Um físico só conhece verdadeiramente uma realidade quando a realizou, quando deste modo é senhor do eterno recomeço das coisas e quando constituiu nele um retorno eterno da razão. Aliás, o ideal da realização é exigente: a teoria que realiza parcialmente deve realizar totalmente.”*

*Gaston Bachelard*

*“... toda ciência seria supérflua, se a forma de manifestação e a essência das coisas coincidissem imediatamente.”*

*Karl Marx*

## 1. O ETERNO RECOMEÇO DAS COISAS ...

Desde as últimas décadas da segunda metade do século XX, boa parte da pesquisa em ensino de ciências tem estado centrada no estudo das representações ou concepções alternativas dos alunos acerca dos fenômenos, e na mudança conceitual (Gil-Pérez, 1996). Reconhece-se, de maneira geral, a emergência, nesse período, das pesquisas de tendência construtivista, sustentadas primariamente nos estudos seminais de Jean Piaget (Linn, 1987) e também em múltiplas perspectivas construtivistas como ressalta Matthews (2000).

Orientados por essas tendências, trabalhamos (Michinel e D’Alessandro, 1994, 1996) na identificação de concepções em relação à energia e outros conceitos relacionados a ela, nos livros didáticos mais frequentemente utilizados em diferentes níveis educativos. Nesses trabalhos, além de se verificarem concepções alternativas como as encontradas nos estudantes por outros pesquisadores (entre outros, Erickson, 1979; Driver, 1985), foram levantadas conceituações que consideramos, naquele momento, como de “insuficiências” na própria ciência Física. Sob o paradigma de mudança conceitual, que dá ênfase à modificação das idéias alternativas, isto é, à substituição de seu conteúdo, propusemos “traduções” dos conceitos mais coerentes, tanto na metalinguagem da física como em aspectos relacionados com a matemática. A intenção foi identificar caminhos que possibilitassem um melhor ensino dos conceitos acima mencionados.



Por outro lado, alguns pesquisadores têm afirmado (Chi, 1992; Mortimer, 1995) que, para os alunos, um conceito pode ter, coexistindo, diferentes significados e que estes se fazem explícitos em contextos específicos apropriados.

Concordando com a afirmação anterior e com base em Bachelard (1974a), o qual diz que “um conhecimento particular pode ser exposto em uma filosofia particular; mas não pode fundar-se em uma filosofia única; o seu progresso implica aspectos filosóficos variados”(p. 187), considero que o comportamento detectado por Chi e Mortimer nos alunos pode ser estendido a qualquer pessoa, seja estudante ou professor, cientista ou não, e que os contextos específicos, aos quais se referem, podem ser da vida cotidiana ou relacionados à escolaridade, particularmente em atividades como a leitura.

Isto me leva a supor que o que é observado nos estudos de identificação de concepções nos livros didáticos, realizados por Michinel e D’Alessandro (op. cit.), podem ser somente frações de possíveis perfis conceituais – que assumo a partir de Mortimer (1995) – da noção de energia e dos outros conceitos que possuem os autores dos livros objetos dessas pesquisas. No entanto, isto não é explicitado nesses livros, o que me conduz a questionar a maneira como a noção de energia e outras que integram sua estrutura conceitual são trabalhadas neles. Mas esta característica do livro didático é só um dos fatores com os quais temos que lidar durante o processo educativo quando buscamos, como professores, mediar a apropriação, pelo aluno, dos conhecimentos científicos socialmente produzidos e dos processos envolvidos na sua produção.

Contudo, ainda que os textos sejam redigidos de forma aprimorada, para que os diversos perfis conceituais se façam neles explícitos, com o propósito de contribuir para a mediação indicada, o livro será apenas um dos componentes do processo de leitura e não uma garantia de sucesso no propósito educativo que nos temos colocado, isto é, o desenvolvimento dos próprios conceitos que o aluno já possui. A respeito disto, Rincon e Almeida (1991), entre outros, dão conta desta limitação do livro didático. Com relação a esse trabalho, Silva e Almeida (1997) afirmam que

(...) a relação do aluno com os textos não se modifica apenas pela modificação do tipo de texto trabalhado em aula, usado pelo

professor, principalmente porque parecem permanecer as mesmas expectativas habituais que se encontram no uso de textos de livros didáticos. (p. 348)

Assim também, é necessário incorporar a idéia de prática e funcionamento da leitura em relação com o texto, afastando toda ilusão que implique uma leitura ingênua do mesmo, leitura que esquece que todo olhar sobre um texto é um olhar informado, estruturado, sem o qual as idéias nele seriam imperceptíveis (Vigner, 1997). Olhar informado que advém da relação do texto com outros textos já produzidos e lidos – neste sentido, como afirma Vigner, “só é legível o já lido, o que pode inscrever-se numa estrutura de entendimento elaborada a partir de uma prática e de um reconhecimento de funcionamentos textuais adquiridos pelo contato com longa série de textos” – e com os efeitos de memória pela interdiscursividade, que possibilita relações com sentidos que já se instalaram e que vêm de outros discursos (da ciência, da escola etc.). O que nos leva a colocar o problema do texto e da leitura nas suas relações com o aluno, e não mais somente com o texto.

Daí que a maneira como olhamos para o texto não pode ser passiva tal como a educação científica elementar costumava (ou costuma?) fazer. Segundo Bachelard,

(...) a educação científica elementar costuma, em nossa época, interpor entre a Natureza e o observador livros muito corretos, muito bem apresentados. Os livros de física, que há meio século são cuidadosamente copiados uns dos outros, fornecem aos alunos uma ciência socializada, imóvel, que, graças à estranha persistência do programa dos exames universitários, chega a passar como natural; mas não é; já não é natural. Já não é a ciência da rua e do campo. É uma ciência elaborada num mau laboratório mas que traz assim mesmo a feliz marca desse laboratório. (Bachelard, 1996, p. 30).

Buscamos com o texto e sua leitura um mediador que procura colocar no centro da aula de física a atitude crítica característica da ciência – que se desenvolve nesta, ainda nos chamados períodos de normalidade científica (Kuhn, 1970). Atitude crítica que é própria do pensamento divergente que, em grande medida, tem contribuído com o desenvolvimento do conhecimento científico (Bachelard, 1977, pp. 19-40; Gil-Perez, 1996, p. 202; Prigogine & Stengers, 1997, pp. 218-221).

Faz-se, então, necessário assumir o texto em uma perspectiva discursiva, em movimento, funcionando, isto é, produzindo sentido sob sua inscrição na história (Orlandi, 1997, p. 9). Daí a preocupação em olhar para a leitura do texto sem pressupor desde já uma perspectiva comunicacional, que considera que o conhecimento a ser apreendido pelo aluno já está pronto no texto e que o estudante só tem que tomá-lo, daí, mediante a leitura. Quer dizer, queremos tomar o texto e a sua leitura sem assumir uma visão utilitária dos mesmos no processo de educação da ciência, mas viabilizando uma ação mais cultural que não os limite – texto e leitura – a meios para a simples transmissão de *um* conhecimento em ciência ou em física em particular, mas que ajude a entender a linguagem, que pela leitura é veiculada, como constitutiva da própria física, e que ambas, linguagem e ciência, são produções culturais, isto é, produção do homem.

A partir das considerações anteriores, preocupo-me neste trabalho em estudar o valor pedagógico da divergência. Assumindo a divergência em uma dupla perspectiva: a que advém do desenvolvimento histórico da ciência e que diz respeito a que o progredir, revolucionário, conceitual na ciência é, essencialmente, produto das divergências, do dissenso, do desacordo e não do acordo, do consenso; e outra, atrelada ao referencial de análise de discurso e na qual se assume que as formações discursivas – o que pode e deve ser dito, a partir de uma posição dada, determinada pelo estado da luta de classes (Pêcheux, 1995) – caracterizam-se por uma dialética de contínuo movimento com momentos de determinação ou formação de sentidos, formações que não são únicas mas *sempre* plurais, diferentes. No dizer de Orlandi,

Desde o início, em meu trabalho, propus que se considerasse, na constituição do sujeito e do sentido, como propriedade fundamental, a que liga paráfrase (o mesmo) e polissemia (o diferente) como forças que sustentam igualmente a relação com o simbólico. (1997, p. 11)

Inúmeros casos podem ser relatados em relação à primeira perspectiva, isto é, da evolução histórica da ciência. Como exemplo podemos citar a polêmica em relação ao significado dos três eventos principais que marcaram a superação da Física Clássica e a emergência da Física Moderna: a quantização da energia proposta por Planck em 1900, evento que marca a origem da física quântica e contra a qual ele mesmo relutava; a

relatividade especial proposta por Einstein em 1905 e o princípio de incerteza de Heisenberg em 1927. Tais eventos foram dominando o pensamento científico de nosso tempo com uma postura contra-intuitiva, divergindo de uma racionalidade marcada pela certeza, a continuidade, o ponto de vista causal determinista, a “relatividade” na medida. Mesmo assim, logo em seguida, em relação ao significado destes eventos e sua integração na mecânica quântica, gerou-se, desde os primeiros anos da década de 1930, uma interessante e famosa polêmica iniciada por Albert Einstein e Niels Bohr, polêmica na qual o primeiro afirmava que a mecânica quântica era uma teoria incompleta, não definitiva e filosoficamente inadequada, enquanto Bohr comandava a interpretação ortodoxa, conhecida como da Escola de Copenhague, que considera que o indeterminismo não é uma fraqueza da teoria, mas uma propriedade intrínseca do mundo do muito pequeno. Esta polêmica, não esgotada, tem continuado com posições divergentes expressas por Murray Gell-Mann e Richard Feynman ou Roger Penrose e Stephen Hawking, entre outros, sobre aspectos que dizem respeito àquela discussão inicial.

A divergência se assume aqui na possibilidade de discordar, discrepar, dissentir nos espaços conceitual ou cognitivo, epistemológico ou filosófico, didático ou educativo, no desenvolvimento conceitual na ciência ou em sua difusão.

O uso da divergência, que tem um importante valor heurístico na ciência, pressupõe no trabalho pedagógico uma ação de socialização, através do desacordo com o outro. Mas também implica uma construção cultural; é a pessoa quem a cria pela sua leitura da realidade, tendo como espelho o dito ou não dito, dela, pelo outro. A divergência é criada ao longo do desenvolvimento conceitual, dessa maneira é histórica. No capítulo dedicado à perspectiva teórica do trabalho aprofundo os aspectos teóricos relacionados com esta categoria de divergência.

Assim pois, com estas idéias em mente gero um processo de mediação em que a categoria divergência se constitui em instrumento e signo de mediação social como definido na lei para o desenvolvimento cultural dos três estágios de Vygotski: *em si*, *para outros* e *para si* (Vygotski, 2000). Funcionar com esta lei no espaço de ensino

universitário é uma boa oportunidade de estudo, com indivíduos que nem são crianças, nem adultos pouco ou não escolarizados, para compreender em um espaço cultural diferente os alcances deste aporte que nos apresenta a perspectiva histórico-cultural.

Enfim, o conceito de divergência é colocado em referência à real possibilidade de polissemia no desenvolvimento conceitual. Isto é, na possibilidade e na necessidade da ruptura conceitual ante as paráfrases ditas pelos alunos, em situações de discurso, por exemplo quando eles dizem:

- 1) “Não sei claramente o que é energia. Não tenho condições de defini-la” (aluno **I**);

ou no uso da *definição* como expressão da significação fechada, limitada, quando respondem que energia

- 2) “é a capacidade para produzir trabalho”(alunos **A, F, G e H**)

Em vários momentos escutamos interlocuções como as anteriores que exprimem duas caras da mesma moeda do silêncio. O que se apaga? O que não se diz que poderia ser dito? Por que o aluno **I**, que tem vários anos de trabalho escolar, e não-escolar, brincando e brigando com esse termo, nega-se a falar, porém denuncia, com essa marca negativa em seu discurso (Maingueneau, 1997), a existência de heterogeneidade, de múltiplas significações, de polissemia? Por que esses outros alunos se ocultam e ocultam seu dizer atrás da paráfrase imbricada no dizer metalingüístico “A é ...” do discurso pedagógico (DP)? (Orlandi, 1996). Este “incômodo” silêncio também me move no sentido da proposta – ou desafio? – de Orlandi (op. cit., p. 31), relacionada com a necessidade de uma posição crítica diante do DP.

O estímulo para transitar, diretamente, pela paráfrase conceitual – sem passar por uma tensão com a polissemia conceitual – que é desenvolvida de maneira geral em livros e aulas, quando se trabalha com uma única perspectiva, não contribui com o desenvolvimento, mas com a “simulação” da significação no processo de elaboração de conceitos. Quer dizer, a repetição do que o livro e o professor significam da noção, sem uma promoção da consciência no processo de significação pelo aluno, limita a sua

possibilidade de re-conceituação, ao passo que colocar a divergência em funcionamento estimula a tensão polissemia/paráfrase e a ampliação da significação do conceito, possibilitando re-conceituações pelo aluno.

Após a exposição do cenário geral da pesquisa, mais uma questão merece consideração:

**E por que assumi a noção de energia como centro de preocupação desta pesquisa?**

O desenvolvimento de conceitos científicos no espaço das próprias ciências é antes de tudo um processo social e histórico, com a característica de ser um saber altamente estruturado (Robilota e Babichak, 1997; Oliveira, 1988); no entanto, nos indivíduos, é um processo de apropriação e elaboração cultural que primariamente se produz na esfera das relações sociais, depois se internaliza no indivíduo e, assim como na ciência, consiste em uma estrutura de generalização que se desenvolve conformando-se em uma rede de conceitos (Vygotski, 1993).

No caso da noção de energia e de outras noções que constituem sua estrutura conceitual, a história da ciência tem mostrado um prolongado e inacabável processo de desenvolvimento no qual distintas perspectivas filosóficas têm tido posições determinantes (Bachelard, 1927, 1974a, 1975; Kuhn, 1981). No dizer de Bachelard,

A noção da energia, quando se a segue em sua história e sobretudo nas aplicações finas e precisas da física e da química contemporâneas, proporciona um bom exemplo da evolução do racionalismo, um bom exemplo de um racionalismo que se inclui na experiência. (1975, p. 157)

Dessa maneira a energia, ainda em seus primeiros gestos de desenvolvimento, era vista como uma construção humana, e não se entrega simplesmente aos sentidos. Além disso, a história da ciência também dá conta das constantes polêmicas, no mundo da ciência, em relação a esse conceito. O percurso de seu desenvolvimento coloca-nos diante de mutações bruscas sofridas na significação de energia; o passo da mecânica de Descartes à mecânica de Leibniz é um claro exemplo (idem, p. 158). Também, a história

da ciência coloca-nos diante de coincidências, que poderiam ser tomadas como dados da sua construção social, na significação que dela têm tido alguns setores da comunidade científica, veja-se como exemplo o descobrimento simultâneo da conservação da energia (Kuhn, 1981). Mas nem por essas coincidências a divergência na sua conceituação (da energia) deixou de se manifestar; ela de fato é fruto do dissenso constante na física e também em outras ciências.

Quanto ao desenvolvimento desse conceito nas esferas social e individual relacionadas com a escola, são inúmeros os trabalhos que, de diferentes perspectivas, têm tido na energia seu objeto de estudo; um exemplo é a ampla bibliografia que em relação a isto é citada por Souza (1987).

Além do mais, o caráter multidisciplinar e ubíquo da energia, que a leva a fazer parte da estrutura conceitual de inúmeras áreas de conhecimento humano e a estar presente no léxico de grande parte das atividades cotidianas, torna-a uma preciosa noção de estudo, suscetível de uma semântica muito complexa.

Enfim, a noção de energia é um desses temas ou conceitos divinos, criadores do céu e da terra, e diante disso quem pode negar-se a ela?

O conjunto das considerações anteriores leva-me a propor como objetivo central deste trabalho:

Entender aspectos gerais do funcionamento da leitura de *textos divergentes* sobre energia por alunos do curso de física na educação superior, compreendendo os deslocamentos que podem ser provocados nas suas significações, em particular na estrutura de seu perfil conceitual, com o intuito de buscar indícios de que a divergência nas significações conceituais é um mediador didático que, exposto através da leitura, complementada com outras mediações sociais e semióticas, em aula, pode ativar deslocamentos conceituais, os quais permitem re-construção conceitual, dessa noção, pelos alunos.

Aqui entendemos que a análise dessas significações pode ser realizada, mais

integralmente, através de uma “escala polêmica” como a de perfil conceitual – similar ao perfil epistemológico proposto por Bachelard para trabalhar o debate entre filósofos e cientistas de sua época – suficiente para localizar as diversas controvérsias relacionadas com a construção dos conhecimentos pelos alunos e impedir a confusão dos argumentos que dessas controvérsias emergem.

Finalmente, no âmbito do trabalho que aqui relato, estão os resultados fornecidos por nosso estudo de campo realizado durante o 2º semestre de 1999 e o 2º semestre de 2000, e que nos permitiu acumular uma quantidade de dados e resultados suficientes para estruturá-lo, com grau de aprofundamento empírico adequado, para gerar indícios que apóiem a tese anteriormente exposta: a divergência nas significações conceituais é um mediador didático que, exposto através da leitura, complementada com outras mediações sociais e semióticas, em aula, pode ativar deslocamentos conceituais, os quais permitem re-construção conceitual, dessa noção, pelos alunos. Limitamo-nos a quatro turmas da licenciatura em física com as quais trabalhei a proposta de intervenção educativa formulada, que é descrita com mais detalhe no capítulo que se refere aos aspectos metodológicos.





**aqui vai imagem**  
**La Lecture (Woman Reading)**  
**Pablo Picasso**



## 2. O PROBLEMA

Buscamos destacar agora, de maneira resumida, o problema central desta tese, isto é, a questão que orienta o estudo, os objetivos do trabalho e suas expectativas e limites .

Na introdução mostramos as seguintes considerações: constatação de diferentes significações de energia nos livros didáticos; que essas significações possivelmente podem ser entendidas como conformando perfis conceituais dessa noção, tal como se representam nos alunos; desconformidade com a maneira como os conceitos de energia e outros a ela relacionados são trabalhados nesses livros; que o livro, ainda que importante, só é um dos fatores em uma relação que implica, também, as condições de produção da leitura; que ao se considerar esses fatores, eles devem compreender a leitura como um trabalho da língua, a qual deve ser entendida como constitutiva de, e constituindo o conhecimento do qual desejamos que o aluno se aproprie para desenvolver aquele que já possui, o que nos leva a considerar a leitura em funcionamento; que o trabalho pedagógico em aula compreende complexos processos de mediação social e semiótica; que a divergência nas idéias dos cientistas tem sido reconhecida como uma alavanca no desenvolvimento do conhecimento científico e que poderia ser utilizada, na ação pedagógica, como um dinamizador desses processos de mediação.

Essas considerações levam-nos a propor como problema de pesquisa: entender aspectos gerais do funcionamento da leitura de *textos divergentes* sobre energia por alunos de cursos de física na educação superior, compreendendo os deslocamentos que podem ser provocados nas suas significações, em particular na estrutura de seu perfil conceitual, com o intuito de buscar indícios de que a divergência nas significações conceituais é um mediador didático que exposto através da leitura, complementada com outras mediações sociais e semióticas, em aula, pode ativar deslocamentos conceituais, os quais podem contribuir para re-construção conceitual, dessa noção, pelos alunos, isto é, possível ampliação do conceito e compreensão de seus componentes pelos estudantes.

Na especificidade do problema de pesquisa, este pode ser explicitado através de uma pergunta, à qual procuraremos responder ao longo da pesquisa:

*É a divergência um mediador didático que, exposto em aula através da leitura de diferentes textos complementada com outras mediações sociais e semióticas, pode promover a re-construção conceitual da energia pelos alunos?.*

Questão essa que nos leva a esta outra:

*Qual o modo de funcionamento da leitura de textos divergentes relativos à energia por alunos da licenciatura de física, tendo em vista a (re)construção desse conceito?*

Esta questão orientou a definição de dois objetivos para o estudo:

1. Compreender aspectos gerais do funcionamento da leitura de textos divergentes sobre energia por estudantes de um curso de licenciatura de física.
2. Promover possíveis deslocamentos nas significações que têm esses estudantes da noção de energia.

**aqui vai imagem**  
**Reading from all sides**  
**Joysmith Brenda**



### **3. O IDEAL DA REALIZAÇÃO É EXIGENTE: A TEORIA QUE REALIZA PARCIALMENTE DEVE REALIZAR TOTALMENTE**

#### **3.1. Divergência, diferença ou paradigma? Uma escolha fundamentada na significação**

Ainda que aspectos culturais possam estar sendo considerados, poder-se-ia dizer que a motivação, propósito e objetivos deste trabalho se orientam para o desenvolvimento conceitual do aluno e que, guiado pelo quadro teórico que emerge da análise de discurso e do referencial histórico-cultural, o conceito de significação – a partir da necessidade de interpretação na relação pensamento/homem/mundo – é uma questão chave neste estudo.

A idéia de significação emerge como uma consequência da não-coincidência entre o signo e a “coisa”, como produto de uma outra não-coincidência (ontológica) destes – signo e coisa – envolvido no princípio de nomeação, isto é, o geral, finito e discreto dos signos e o singular, infinito e contínuo das coisas (Authier-Revuz, 1997). Ou como o diz a própria autora:

Relativamente a estas não-coincidências fundamentais nas quais se produz o dizer – (a) não-coincidência interlocutiva entre dois sujeitos não-simetrizáveis; (b) não-coincidência do discurso consigo mesmo, constitutivamente afetado pelo jogo em si mesmo de outros discursos; (c) não-coincidência das palavras consigo mesmas, constantemente afetadas de outros sentidos, de outras palavras, pela polissemia, pela homonímia etc...; e, enfim a que nos ocupa aqui, (d) não-coincidência entre as palavras e as coisas – os “acidentes” que constituem, no desenvolvimento contínuo do fio do discurso, as formas de desdobramento opacificante da enunciação de um elemento (...) aparecem, contraditoriamente, como traços, como emergências, reconhecidas pelo enunciador, e, ao mesmo tempo como máscaras (...).

A respeito, Orlandi afirma, ao tratar a leitura na perspectiva discursiva como “atribuição de sentidos”, que os sentidos, os significados, estão limitados pelas idéias de



interpretação e de compreensão (1996b, p. 8). Esta característica pode ser generalizada a todo discurso – oral ou escrito. Ela diz também, em relação à impossibilidade de que autor, texto e leitor possam funcionar de maneira não-relacionada para produzir a máxima significação atribuível a um dado texto. O que conduz a negar a esperança da onipotência do autor – na intenção de controlar o percurso da significação –, da transparência do texto – no dizer por si só todo o significado – e da onisciência do leitor – na capacidade de dominação das múltiplas determinações de sentidos – (idem, p. 11). Quer dizer, é na relação discursiva que se possibilita alcançar a máxima significação como produto de uma tensão entre polissemia – diversos sentidos – e paráfrase – um mesmo sentido. E ainda, as significações que podem ser atribuídas a um texto – ou em um discurso – não estão necessariamente no texto – ou no discurso –, mas os significados de um texto passam pela sua relação com outros textos – ou discursos. Daí que a significação se constrói, também, na intertextualidade – ou na interdiscursividade. Orlandi também afirma que as relações de força que se estabelecem entre os indivíduos falantes, e que dizem do lugar social dos interlocutores, são constitutivas dos processos de significação (idem, p. 12), de modo que os sentidos, em uma relação discursiva, estão determinados pela posição dos sujeitos do discurso, isto é, por suas formações ideológicas. Assim pois, é esta gama complexa de fatores que condiciona a produção – em determinadas condições de produção – de significados no discurso.

Por outro lado, alguns autores da perspectiva histórico-cultural (p. ex. Smolka, 2000) destacam a importância da significação no processo de apropriação das práticas sociais, indicando-a, porém, como ancorada na própria tese de mediação simbólica proposta por Vygotski quando se assume por base que “todas as ações humanas são, por sua natureza, inescapavelmente mediadas” e que “todas as ações adquirem múltiplos significados, múltiplos sentidos, e tornam-se práticas significativas, dependendo das posições e dos modos de participação dos sujeitos nas relações”.

Ou como assevera Luria (1990), estabelecendo diferenças entre criança e adolescente:

Os processos mentais usados por uma criança são diferentes

daqueles empregados por um adolescente que já dominou a linguagem e analisa as informações através de significados verbais. A criança que desenvolve hábitos tirando conclusões de sua experiência pessoal imediata usa esquemas mentais diferentes daqueles empregados pelo adolescente, cujo comportamento é mediado por normas estabelecidas através da experiência social (p. 26).

O que afirma, apesar de referido a crianças e adolescentes, que a significação exprime a “não-naturalidade” quanto ao que ela representa do mundo. Isto é, que a relação que se estabelece entre significante e significado, e entre o significante e a “coisa” a representar, sempre resulta de uma construção social. Assim também não é permanente, mas ela (a significação) se reconstrói na história pela ação cultural.

Quanto à relação entre significação e a formação de conceitos científicos, ao fazer referência ao desenvolvimento de conceitos científicos na criança, acrescenta Vygotski (1993) :

O resultado mais importante de toda a pesquisa neste campo constitui a tese, firmemente estabelecida, de que os conceitos, representados psicologicamente como significados das palavras, se desenvolvem. A essência de seu desenvolvimento consiste, em primeiro lugar, na transição de uma estrutura de generalização a outra. Qualquer significado da palavra em qualquer idade constitui uma generalização. Mas os significados das palavras evoluem... (p. 184)

Assim, o processo de significação que se produz no desenvolvimento de um determinado tema ou noção física é, em função dos quadros referenciais apontados – análise de discurso e perspectiva histórico-cultural –, produto de múltiplas tensões. Tensões entre: o dizer o mesmo – paráfrase – e os múltiplos dizeres – polissemia –; entre o homem cientista, que psicologicamente está propenso a uma permanente busca de fechamento que o defina como coeso e unidade, e sua relação, como homem, com o mundo que o puxa para a polissemia, a divergência e a se colocar no discurso através de *formações discursivas*<sup>1</sup> (FD<sup>as</sup>), p. ex. em relação à ciência, dispersas.

---

<sup>1</sup> Uma FD é aquilo que numa formação ideológica dada – ou seja, a partir de uma posição dada em uma conjuntura sócio-histórica dada – determina o que pode e deve ser dito (Orlandi, 1999).

Agora, como se configura essa dispersão de FD<sup>as</sup>? No caso concreto desta pesquisa, constitui-se como divergências das FD<sup>as</sup>. Elas partem de uma noção, significam constituindo um “perfil conceitual” que representa o conjunto das possibilidades de significação daquela noção por um sujeito determinado e, finalmente, dependendo das condições de produção, se “expressam” com uma particular significação, isto é, as distintas leituras que podem ser feitas de um conceito nessas condições. O processo de formação de imagens de um corpo (p. ex. um osso) mediante a dispersão – divergência – de uma determinada radiação (p. ex. raios X) que incide sobre ele, e interage com a matéria que o constitui, é uma interessante representação desse processo “disparado” pela divergência; nesta representação, as condições da radiação e do estado do corpo – ou seja as condições de produção – possibilitaram uma diversidade de imagens – heterogeneidade.

A divergência – a dispersão discursiva –, nessa metáfora, pressupõe um “ponto de encontro” e daí novos “caminhos”, novas idéias, novos dizeres. É por isso que o conceito de diferença não responde ao nosso propósito, a diferença implica caminhos paralelos, disjuntos, sempre outros; nós, pelo contrário, buscamos novas leituras ou significações de uma mesma “coisa” (polissemia), mas sem negar as possibilidades de encontros (paráfrase).

Também não é a postura que advém da idéia de paradigma a representação que buscamos, embora o resultado, o produto, do processo divergente possa ser, também, um paradigma.

Maingueneau (1997, pp. 75-126), quando estuda o funcionamento discursivo implicado na tensão heterogeneidade/identidade que se instaura nas relações entre FD<sup>as</sup>, caracteriza as chamadas *heterogeneidades constitutivas do discurso*, que não podem ser marcadas na superfície do discurso, mas podem ser desveladas pela análise do discurso por meio da formulação de hipóteses através do interdiscurso. Nesse estudo, o autor<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Trabalha com as categorias de: universo discursivo – conjunto de formações discursivas (FD<sup>as</sup>) de todos os tipos que interagem em uma conjuntura; campo discursivo – conjunto de FD<sup>as</sup> que se encontram em relação de concorrência, delimitando-se por uma posição enunciativa em uma dada região – e de espaço discursivo.

estabelece a noção de “*mecanismo polêmico*”, como um processo que busca explicar a relação do discurso com o interdiscurso, mediante o qual cada uma das FD<sup>as</sup> do *espaço discursivo* – conjunto de FD<sup>as</sup> ligadas por relações privilegiadas, cruciais para a compreensão dos discursos considerados – traduz como “negativas”, inaceitáveis, as unidades de sentidos construídas pelo *Outro* discurso, erguendo-se assim como “positivas” e definindo sua identidade. Ainda mais, segundo o autor, esses papéis são intercambiáveis nesse processo interdiscursivo. As noções e processos que Maingueneau descreve são suportes, na perspectiva da análise de discurso, da significação da noção de divergência que vimos tentando apresentar.

Extraímos das afirmações de Maingueneau um outro suporte que permite distinguir, na perspectiva da AD, a categoria de divergência que estamos propondo, e a de diferença. Já que a divergência opera restrita ao espaço discursivo; no entanto a diferença atuaria no campo ou no universo discursivo. A diferença se compreenderia em FD<sup>as</sup> que de modo algum mantêm relações privilegiadas para a compreensão dos discursos considerados. P. ex., nas esferas dos discursos da ciência e da arte, FD<sup>as</sup> que envolvam a significação de *cor*. Isto é, não é obrigatório que as significações de *cor* em cada um desses campos discursivo – ciência ou arte – se delimitem e constituam suas identidades reciprocamente

Além do mais, esse *mecanismo polêmico* nos dá informação para desembrulhar ou esclarecer teoricamente as possibilidades pedagógicas da divergência. A respeito do funcionamento do *mecanismo polêmico*, uma FD opõe dois conjuntos de categorias semânticas (“positivas” e “negativas”), projetando as unidades “positivas” do *Outro* sobre as categorias de seu próprio sistema, com o propósito de preservar sua identidade e, além disso, constrói uma interpretação ou tradução do *Outro*, onde evidencia as características “negativas”, mas relevantes, da FD que o define (o *Outro*); desta maneira cria-se um *discurso mediador* entre o *Discurso* e o *Outro*. A constituição desse discurso mediador supõe de fato um entendimento, uma apropriação dos fundamentos do *Outro*. Estes discursos se constituem como discursos divergentes em relação às categorias semânticas “negativas” no espaço discursivo que as inclui. Do ponto de vista educativo,

isto tem uma importância fundamental, já que mobiliza o aluno à apropriação das significações divergentes, nos textos divergentes, em relação a uma dada noção.

A colocação explícita de divergências conceituais nas significações assumidas pelos cientistas-autores de textos, que citamos neste trabalho, traz consigo a necessidade de tomar consciência da significação que o aluno atribui a um dado conceito; rompendo assim com a postura de simples “memorização”, repetição, paráfrase que subjaz na enunciação da definição simples, com significação restrita. Ocorre aí uma situação de não-adaptação que leva a uma tomada de consciência, isto é, uma transferência do plano da ação ao plano da linguagem que implica uma análise das informações através de significados verbais.

Configura-se, desse modo, um “encontro” entre significações e também se propicia que a colocação de diversidade de pensamento, em relação a uma mesma noção, estimule mediações que poderiam levar a um desenvolvimento conceitual no aluno. Já que, como o indica Vygotski (1993, pp. 213-217) em sua discussão sobre o papel da consciência na aprendizagem dos conceitos científicos, “perceber as coisas de outro modo significa ao mesmo tempo adquirir novas possibilidades de atuação com respeito a elas. Como no tabuleiro de xadrez: o olho de outra maneira e jogo de outra maneira”, que conduz a significar de outra maneira, levando a uma maior generalização e formação de um conceito “mais elaborado”, mais significativo, o que supõe a existência de conceitos “menos elaborados” relacionados a ele. Promovendo-se, assim, relações de comunidade entre conceitos e, também, a sua sistematização, isto é, a integração deles em um sistema.

### **3.2. Fundamentos Teóricos**

Parece-nos importante, para começar, descrever a estrutura da organização da discussão teórica que visamos realizar. Pretendemos fazer dois movimentos, um primeiro que permita a localização desta pesquisa no panorama atual da pesquisa em educação em ciências, e um segundo movimento que permita identificar os principais referenciais teóricos que suportam este trabalho. Ambos os movimentos, embora

relacionados, têm propósitos diferentes. O primeiro tenta indicar as possíveis relações com o conjunto das principais pesquisas no campo educativo, mais concretamente na perspectiva da linguagem; o segundo movimento tenta indicar os limites, via os suportes teóricos principais, deste trabalho. Deste modo, o conjunto de ambos os movimentos daria o recorte que pretendemos assumir na abordagem do problema definido no capítulo anterior.

### **3.2.1. Tendências da pesquisa na educação das ciências no ensino universitário: a perspectiva da linguagem.**

A necessidade de localizar este trabalho no campo da pesquisa da educação em ciência, área que nas últimas décadas vem tendo um importante, para não dizer explosivo, desenvolvimento (Gil-Perez, 1996, pp. 889-890), levou-nos a focalizar a exposição deste aspecto na perspectiva da linguagem, tentando visar à educação superior, embora sejam diversas as perspectivas que convergem para ajudar-nos a entender o problema colocado como objeto desta pesquisa, como será visto no capítulo seguinte. Porém nessas perspectivas existe, entre outros, um elo que nos permite um percurso coerente através delas e que, no processo, temos identificado na própria linguagem.

Localiza-se esta pesquisa no campo que, sob a perspectiva da análise de discurso, procura entender os processos relacionados com a educação da física, em sala de aula, visando uma implicação cultural mais ampla desta disciplina no nível universitário. Daí meu interesse em trabalhar não só com textos relacionados com livros didáticos, mas com textos de livros que normalmente não são utilizados nas aulas de física na universidade.

A seguir expomos uma revisão da literatura que busca, fundamentalmente, identificar, ainda que parcialmente, alguns movimentos da pesquisa realizada no Brasil e no exterior em relação à linguagem no ensino da ciência, e particularmente da física, no nível universitário. Mais concretamente, buscamos identificar quais têm sido as principais áreas de trabalho que têm relação com o problema que nos propomos abordar

nesta tese, isto é, o funcionamento de textos no ensino da física para universitários. Neste sentido, são objeto desta revisão os estudos que visam tanto o papel comunicacional, como o funcionamento incluindo os aspectos constitutivos e constituintes da linguagem ou simplesmente o uso ou funcionamento de textos em aulas de física no ensino superior. Especificamente, preocupam-nos nesta revisão os aspectos de pesquisa que apontam para: o estudo da leitura e da escrita; a análise (estrutura, função e funcionamento) da linguagem; os meios e formas da linguagem.

Poder-se-ia identificar duas características importantes quanto ao desenvolvimento da pesquisa nesta área específica. Primeiro, um significativo aumento, nas últimas décadas, dos trabalhos relacionados com a temática aqui descrita. A esse respeito, Almeida e Silva (1998, p. 7), na apresentação do livro por eles organizado, afirmam:

É notório o crescimento do número de professores e de pesquisadores da área do ensino das ciências preocupados com questões de linguagem; questões resultantes da reflexão sobre temas como: o funcionamento do discurso científico e seu papel cultural; as relações entre leitura, literatura e produção científica; novas tecnologias e suas linguagens; as representações de alunos e de professores e a leitura escolar nas áreas científicas; as linguagens na interação escolar, entre outras.

E, segundo, um inegável deslocamento, do interesse de pesquisadores e grupos de pesquisa preocupados com o ensino-aprendizagem da ciência, para aspectos explicitamente relacionados com a linguagem, reconhecendo a sua importância. A esse respeito, Mortimer (1998) diz:

A linguagem talvez seja o mais importante instrumento de trabalho que nós, professoras e professores, utilizamos na prática cotidiana da sala de aula. Lidamos com a interação entre a linguagem científica escolar e a linguagem cotidiana do aluno de forma tão automática e irrefletida que, às vezes, esquecemo-nos de que qualquer fato científico, por mais objetivo que seja, só adquire significado quando reconstruído no discurso científico escolar.” (p. 99)

Uma revisão de algumas publicações periódicas internacionais, assim como de alguns periódicos, teses de doutoramentos, dissertações de mestrado e de anais, publicados no Brasil, relacionados com o tema da linguagem em ensino da ciência,

restrita às últimas duas décadas, permite identificarmos pelo menos oito preocupações associadas a trabalhos nesta área. Preocupações estas que, embora nem sempre o façam de forma explícita, de algum modo remetem para questões propriamente de linguagem; Assim mesmo não se deve entender a categorização que realizei, nos diversos âmbitos de preocupação, de forma única ou excludente:

- a) Há trabalhos que centram sua atenção na linguagem na educação em ciência no nível superior, buscando compreender os processos de resolução de problemas (ex. Massa et al., 1997). Este tipo de pesquisa fundamenta-se em dois aspectos: 1) que a compreensão do texto e as representações vinculadas com códigos lingüísticos que o aluno efetua ao início da resolução de problemas de “lápiz e papel” é uma etapa de singular importância para conhecer como se identificam as idéias relacionadas com um enunciado, a relação entre elas, o reconhecimento de contradições e as relações entre pensamento e linguagem (p. 362) e 2) que a compreensão de um texto supõe a construção de uma representação mental (p. 364).
- b) Encontramos outros trabalhos onde a linguagem é tomada com relação às representações e modelos mentais; trabalhos nos quais se identificam três posturas: uma que busca relações entre representações mentais e a compreensão de textos (Garcia, 1995); outros (Greca et al., 1997; Greca e Moreira, 1996, 1998; Moreira e Lagreca, 1998) que procuram identificar modelos mentais elaborados pelos estudantes em relação a fenômenos e conceitos físicos, fundamentando-se em que “os modelos internos, elaborados pelos seres humanos para traduzirem os eventos externos que buscam entender, podem ser construídos como resultado da percepção, da interação com outras pessoas, do discurso e da experiência interna” (p. 314); e outros que buscam, através de técnicas específicas de leitura, estimular, no aluno, a criação de modelos mentais (Mayer et al., 1984; Cook e Mayer, 1988).
- c) Identificamos trabalhos nos quais a preocupação com a linguagem na educação da ciência no ensino superior visa a formação de professores (Stipcich, 1997; Baquero, 1996 apud Stipcich, 1997). Fundamentam-se estas pesquisas em que “O



professor se torna um interlocutor privilegiado tanto pela estrutura radial das comunicações, como, fundamentalmente, pela sua função produtora e legitimadora de significados” (Baquero apud Stipich, 1997, p. 152). Nesta mesma perspectiva, outro trabalho (Neves, 1991) busca, a partir de uma redução fenomenológica, a compreensão do discurso do professor em relação à ciência.

- d) Temos outros trabalhos que olham a linguagem veiculada pelos textos de física como uma fonte privilegiada de reflexão cultural de base científica no processo de ensino escolar (Zanetic, 1989). Reconhece-se nesta postura que a física “tem sua história vinculada ao desenvolvimento social, influenciada e influenciando a transformação social” e que “é preciso que a chamada ‘física escolar’ dê uma visão, a mais viva possível, da física enquanto parte integrante de uma cultura que precisa ser dominada para poder ser transformada em instrumento de compreensão e intervenção na realidade que está aí” ( p. 52).
- e) Há outros trabalhos que assumem a linguagem em ensino da ciência em relação às estratégias de percepção e superação de contradições entre esquemas conceituais (Mortimer, 1994, 1995; Mortimer & Machado 1997). A esse respeito afirmam estes trabalhos que “a percepção de conflitos e sua superação pelos estudantes não depende unicamente da seleção adequada de estratégias de ensino ou de eventos discrepantes, mas sim das interações discursivas que se estabelecem em sala de aula” e que “A superação de obstáculos passa necessariamente por um processo de interações discursivas, no qual o professor tem um papel fundamental (...) Nesse sentido, aprender ciências é visto como um processo de ‘enculturação’ (...), ou seja, a entrada numa nova cultura” (1997, p. 168). Estes trabalhos olham para o discurso a partir de uma perspectiva comunicacional, sócio-interacionista, que fundamenta a idéia de que no “espaço” de aula se constitui um sistema de *interação* entre falantes onde os sentidos do dizer parecem ser evidentes, assim como “a construção do conhecimento em sala de aula depende essencialmente de um processo no qual os significados e a linguagem do professor vão sendo apropriados pelos alunos, na construção de um conhecimento compartilhado”

(idem).

- f) Identificamos um amplo número de trabalhos nos quais se utiliza a linguagem na educação em ciências, relacionando-a com modelos de análise que visam fornecer uma linguagem para descrever o pensamento, a exemplo do senso comum e/ou do científico, fundamentado em algum tipo de ontologia (Gutierrez e Ogborn, 1992; Mortimer; 1995). Alguns destes trabalhos (Yassuko, 1986; Carvalho, 1986; Barolli, 1989) preocupados com o fato de que “poucos procuram inferir do discurso do aluno um modelo de conceituação ‘espontâneo’ ”, buscam identificar “as possíveis regularidades, as características comuns e os elementos fundamentais das diferentes respostas ‘intuitivas’ para construir um esquema de referência a partir do qual, em seguida, seja possível intervir educacionalmente” (Yassuko, 1986, pp. 8 e 6); outro (Oliveira, 1988), em que reconhecendo a existência de uma desvinculação entre formalismo e realidade, que decorre de um ensino centrado excessivamente na parte formal do conhecimento físico, procuram recuperar as ligações entre o mundo real e o mundo lógico-matemático da física (p. 12).
- g) Também existem trabalhos preocupados com os processos relacionados com a função da leitura, que, em particular, tratam de técnicas de leitura ou da estrutura da leitura e do texto, visando aumentar a compreensão e lembrança de conteúdo dos textos de física ou dos textos científicos em geral (Books e Dansereau, 1983; Scala, 1980). Ainda há outras pesquisas nas quais essa preocupação tem entre seus propósitos estimular a responsabilidade dos estudantes pela sua própria aprendizagem (Koch e Eckstein, 1991).
- h) Há outros trabalhos (a exemplo de Almeida, 1987) que, ainda que centrem sua preocupação na leitura, diferenciam-se dos anteriores por se deslocarem da função para o funcionamento da leitura, quando é utilizada pelos estudantes. Estes estudos criticam aquelas pesquisas nas quais o texto é visto simplesmente como detentor de conhecimentos a serem aprendidos pelo aluno e o consideram um instrumento sobre cujo funcionamento se fazem simplesmente suposições (p. 17). Sob uma perspectiva discursiva sinalizam que “Liberadas do seu papel de instrumento, tanto

a linguagem matemática como a linguagem cotidiana, em funcionamento no ensino de física, seriam **mediação** no sentido atribuído pela análise do discurso” gerando-se entre elas uma “relação constitutiva, ação que modifica, que transforma” (p. 115).

É nesta última perspectiva, que visa compreender a linguagem em relação com os processos de ensino de ciência em geral, e da física em particular, não de maneira instrumentalista e finalista, mas em seu funcionamento, que localizamos a nossa pesquisa, já que é daí que podem ser vislumbrados aspectos que têm a ver com a atribuição de significados diversos a um mesmo texto e a um mesmo fenômeno, compreendendo fatores que vão além do próprio texto e das primeiras experiências com um dado fenômeno. Esta postura nos permite, também, compreender o processo educativo da ciência, e dentro deste a atividade de leitura, em uma perspectiva cultural mais ampla.

### 3.2.2. Referenciais teóricos

A complexidade do problema em estudo levou-me à escolha de referenciais teórico-metodológicos, nas esferas da filosofia da ciência, da física, da linguagem, da psicologia e da educação, para me auxiliarem na definição do plano de ação da pesquisa e nos processos de tomada de dados, de formação e discussão de resultados. Referenciais que a seguir exponho brevemente.

As diferentes “compreensões” que historicamente foram se sucedendo para um determinado conceito científico supõem filiações filosóficas (racionalismos), que vão do realismo ao “ultra-racionalismo”. Bachelard (1974a) evidenciou que basta um conceito para dispersar as filosofias, para demonstrar que as filosofias parciais se debruçam apenas sobre um aspecto, esclarecem só uma face do conceito. Relacionado com esta idéia de dispersão filosófica, nos conceitos da ciência, Bachelard propõe o conceito-estrutura de perfil epistemológico. Neste trabalho, essa estrutura é considerada como uma lente para olhar nosso objeto de pesquisa, permitindo-nos visualizar a problemática aqui exposta.

Além disso, são considerados também os aspectos ontológicos (Sigrist, 1997) do

conhecimento. No caso do ensino, este fator, como diz Mortimer (1995), torna-se importante para que consideremos, também, o pensamento não-científico. Além disso, temos que admitir que o professor transmite, parcial ou totalmente, sua visão de mundo em sua docência.

Se levarmos em conta aspectos atuais do desenvolvimento científico, duas áreas de pesquisa como as Teorias do Caos e a Termodinâmica dos Sistemas Instáveis têm que ser consideradas no momento de construirmos um perfil atual do conceito de energia. Para tal, recorreremos aqui aos aportes de Prigogine (1996), que nos evidenciam uma outra racionalidade, diferente da que subjaz na ciência moderna, sistema esse – a racionalidade moderna – que se sustenta na reversibilidade dos processos e na certeza, no determinismo das teorias pelas quais procuram explicá-los. A racionalidade que propõe Prigogine aprofunda as características de incerteza, que advêm da mecânica quântica, já levantada no “racionalismo completo” proposto por Bachelard, mas também considera o problema da irreversibilidade temporal, com as conseqüências ontológicas e epistemológicas que isso acarreta para o conceito de energia, do qual falarei posteriormente.

A necessidade de identificar e entender os distintos movimentos discursivos que se produzem nos alunos na sala de aula, assim como a relação destes movimentos com as posições e deslocamentos dos sujeitos participantes diretos (alunos, professor, pesquisador) na atividade de aula e com o discurso dos outros sujeitos que participam de maneira indireta (cientistas/autores, a memória, o discurso da ciência), e, ainda, a relação destes discursos/sujeitos com o processo de elaboração do conhecimento que se produz nos alunos levam-nos a reconhecer na abordagem histórico-cultural uma perspectiva apropriada.

Assim pois, no momento de estudar o desenvolvimento do conceito de energia, recorreremos a um ponto de vista que leva em conta a historicidade e o caráter cultural do desenvolvimento conceitual no aluno. Encontramos em Vygotski (1993, 2000) algumas noções que nos permitiram compreender, na perspectiva citada, alguns dos dados achados na pesquisa de campo. São elas as idéias de mediação social no processo de

ensino e de mediação semiótica – em uma espécie de relação de circularidade – entre os conhecimentos “cotidianos”, ou menos elaborados, e os conhecimentos científicos mais complexos. Fundamentada esta noção, como foi dito, na lei dos três estágios de Vygotski. Embora a base experimental dos trabalhos de Vygotski e de outros pesquisadores da corrente histórico-cultural, esteja referida a crianças ou adultos pouco ou não escolarizados, a transposição das noções acima apresentadas permitiu-me um olhar coerente com a base empírica que é objeto desta pesquisa, isto é, alunos universitários da licenciatura de física.

A partir de diversas pesquisas no campo da formação de conceitos, aponta Vygotski (1993, p. 184), entre outras, as seguintes características desse processo: o conceito não é simplesmente um conjunto de associações que se assimilam com a ajuda da memória, mas um autêntico e complexo ato de pensamento, que necessita, para seu domínio, de um alto nível de pensamento que permita que o conceito possa se elaborar na consciência. Assim também, em qualquer grau de desenvolvimento, o conceito é, em uma perspectiva psicológica, um ato de generalização. Outra característica de base é que os conceitos, representados psicologicamente como significados das palavras, desenvolvem-se através da evolução de uma estrutura de generalização para outra. A partir desta perspectiva e com base em suas pesquisas (p. 199), ele chama a atenção em relação à necessidade de um sistema conceitual previamente elaborado que intermedeie o conceito científico mais complexo e o mundo dos objetos. Mas estes conceitos, previamente elaborados, são influenciados pelos conceitos científicos (p. 194), re-significando-os e ampliando o seu grau de generalização. Neste ponto de vista, o sistema dos conceitos científicos é apropriado, pelo indivíduo, através de um tipo de relação mediada, com o mundo, por conceitos, isto é uma mediação pela palavra, uma mediação pelo significado da palavra, enfim, uma mediação semiótica.

Há também outra perspectiva de mediação destacada por Vygotski, que se refere à necessidade do outro (professor, colega), em uma relação discursiva, para o desenvolvimento cognitivo. Para esse autor, o desenvolvimento do conceito científico é de caráter social e se produz nas condições do processo de instrução, que constitui uma

forma singular de cooperação sistemática. O centro da posição vygotskiana em relação ao desenvolvimento das funções mentais superiores no homem, incluindo o desenvolvimento dos conceitos científicos, é que estas aparecem primeiro como produto das relações intersubjetivas (intermentalmente) e depois no indivíduo (intramentalmente), segundo a lei que afirma que “todo desenvolvimento cultural passa por três estados: em si, para outros, para si”; isto é, antes de tudo, a palavra deve possuir sentido – relação com a coisa –, depois este significado se constitui na relação entre pessoas e, finalmente, a palavra significa para o indivíduo (Vygotski, 2000, pp. 23-44). Deste modo, para Vygotski todas as funções mentais superiores são relações sociais internalizadas “daí está claro, porque necessariamente tudo o que é interno nas funções superiores ter sido externo: isto é, ter sido para os outros, aquilo que agora é para si” (idem p. 24). Esse inicial e singular processo de cooperação intersubjetivo é, então, um aspecto crucial do processo de instrução; e junto com os conhecimentos sistematicamente construídos pelas diversas áreas do saber, são afetados pelas condições nas quais o processo se realiza.

Perpassa nos trabalhos de Vygotski (1993, p. 181; 1998, p. 75) e Luria (1990), em relação ao termo “relações sociais” e seu papel mediador no desenvolvimento das funções mentais – particularmente nas funções mentais superiores –, uma idéia que envolve processos sociais de grande porte, como poderiam ser a ação da escola como conjunto, ou um deslocamento profundo na organização social. Porém, o referencial de análise de discurso compreende que as posições ideológicas que se confrontam nesses processos sociais são, também, expressas nas relações discursivas que se produzem na sala de aula, sob as condições de produção próprias desses ambientes. Daí, ainda que se acredite que os processos conscientes de apropriação e desenvolvimento conceitual se dão a longo prazo, veremos que é factível achar indícios, nos processos implicados no trabalho pedagógico mostrados neste estudo, que sugerem a possibilidade de reconstrução conceitual pelos alunos.

Como é afirmado por Smolka (2000, p. 64), entre outros estudiosos que se orientam na perspectiva histórico-cultural, “Vygotski não chegou a explorar a dinâmica e

o funcionamento social da palavra” o que tem obrigado à busca em outros referenciais teóricos para auxiliar no entendimento das idéias de Vygotski. A maioria desses pesquisadores tem identificado em Bakhtin pistas e suportes para o entendimento buscado (Smolka, op. cit.). Posição que tem sua base na idéia de que a enunciação é social. A enunciação é um conceito chave na teoria de Bakhtin, a qual se sustenta em uma abordagem marxista da filosofia da linguagem como o viés de aplicação do método sociológico na lingüística (Bakhtin, 1997, pp. 110-127). Assim, Bakhtin se preocupa com as relações entre linguagem e sociedade, colocando a dialogia como constitutiva das relações das estruturas sociais:

Uma análise fecunda das formas do conjunto de enunciações como unidades reais na cadeia verbal só é possível de uma perspectiva que encare a enunciação individual como um fenômeno puramente sociológico. A filosofia marxista da linguagem deve colocar como base de sua doutrina a enunciação, como realidade da língua e como estrutura sócio-ideológica (p. 126).

Mas, diferentemente das perspectivas objetivo-abstratas da linguagem, considera que a linguagem como sistema estável é uma abstração científica que serve a fins particulares, considerando que, fora da fala, a língua é morta. Afirmando que

A verdadeira substância da língua não é constituída por um sistema abstrato de formas lingüísticas nem pela enunciação monológica isolada, nem pelo ato psicofisiológico de sua produção, mas pelo fenômeno social da *interação verbal*, realizada através da *enunciação* ou das *enunciações*. A interação verbal constitui assim a realidade fundamental da língua. (p. 123)

Bakhtin considera que, na comunicação verbal concreta, a enunciação é igualmente dotada de uma significação – estrutura – e de um tema – “propriedade de cada enunciação *como um todo*” que indica um “sentido definido e único, uma significação unitária” – que, diferentemente da significação, nem é reiterável nem idêntico (op. cit.). A análise de discurso (Pêcheux, 1997) também considera que a língua se mantém (como estrutura do sistema) junto com o acontecimento. Mas a AD, ao deslocar sua atenção para o discurso e compreender a língua fazendo sentidos enquanto trabalho simbólico – língua e trabalho como categorias constitutivas do homem e sua história –, centra sua preocupação não na função comunicacional da língua, mas em seu funcionamento.

A língua, meio de comunicação ou “instrumento”, permite ao mesmo tempo a comunicação e a “não comunicação”, isto é, autoriza a divisão sob a aparência da unidade, e isto em razão de que não se trata “antes de tudo” da “comunicação” de um sentido. (Pêcheux apud Haroche 1992, p. 46)

Desse modo a AD se distancia da intencionalidade colocada por Bakhtin, que concebe a expressão como essencialmente comunicativa (Yaguello, 1997, p. 14). Por outro lado, a importância que a AD dá à exterioridade, isto é, às condições de produção, na busca de sentidos na atividade discursiva e a maneira como entende a relação de tensão entre a paráfrase – o dizer o dizível – e a polissemia – a ruptura dos processos de significação, levam-me a optar pela AD como referencial adequado para buscar aprofundar a questão do funcionamento da linguagem em suas distintas materialidades – leitura, fala etc. – no trabalho pedagógico.

Os diferentes discursos, em interação, que são produzidos no processo de ensino e pesquisa (discursos dos estudantes, discursos dos professores, discursos dos autores, discursos do pesquisador) são objeto de nosso estudo. Nestes, expressa-se uma relação não-unívoca entre linguagem, pensamento e mundo; também não há transparência na história na qual estes discursos têm sua gênese e desenvolvimento (Orlandi, 1996). Recorremos à AD (Orlandi, 1999; Pêcheux, 1995), para fazer emergir as interpretações que no processo poderiam estar se produzindo. Caracterizamos assim esses discursos e identificamos as maneiras como se produzem os diálogos e as possíveis influências, dos discursos e dos fatores exteriores a eles, na promoção de mudanças entre os distintos sujeitos. As condições de produção nas quais se desenvolvem estes discursos não podem ser previamente definidas. Estas condições têm que ser compreendidas como um aspecto da própria práxis educativa. Sua compreensão visa uma intervenção na realidade, neste caso na sala de aula e no entorno educativo concreto.

Poderíamos destacar que o problema objeto de nosso estudo pretende entender o desenvolvimento de conceitos em física, particularmente de conceitos relacionados com o tema ou a noção de energia, no nível de educação superior, considerando como constitutivas do trabalho pedagógico as condições de produção relacionadas com a sala



de aula e, em particular, o funcionamento da leitura, sob essas condições de produção. É então necessário lançar mão de referenciais teóricos e suportes metodológicos que permitam entender o problema em uma perspectiva tão complexa como foi descrito anteriormente, isto é, que compreenda os aspectos filosóficos, históricos, educativos e subjetivos relacionados com a aprendizagem de conceitos científicos e as relações discursivas no espaço próprio da sala de aula. Iremos, então, apresentando as contribuições que em alguns destes aspectos são feitas pelos autores que configuram nosso referencial teórico. Queremos dizer que, embora estejamos explicitando apenas aspectos ou recortes da obra dos pensadores que compreendem esse referencial, procuramos fazer isso respeitando a coerência conceitual que os caracteriza, assim como buscando destacar os interessantes vínculos que entre eles se podem estabelecer.

### 3.2.2.1. Uma perspectiva bachelardiana da filosofia da ciência

The opposite of a correct statement is a false statement. But the opposite of a profound truth may well be another profound truth.

Niels Bohr

A verdade só ganha seu pleno sentido ao fim de uma polêmica. Não poderia haver assim verdade primeira. Não há senão erros primeiros.

Georges Canguilhem

Bachelard (1974, pp. 161-162) afirma, ao buscar entender a produção de conhecimento por filósofos e cientistas de seu tempo, que, em geral quando se busca esclarecer os problemas da ciência através da reflexão metafísica, surge imediatamente a necessidade de aplicar uma filosofia necessariamente finalista e fechada a um pensamento científico aberto, gerando-se assim uma filosofia da ciência que fica muitas vezes acantonada em duas extremidades do saber: no estudo dos princípios muito gerais, feito pelos filósofos, e no estudo dos resultados particulares, realizado pelos cientistas. Deste modo, levantam-se, desde o início, dois obstáculos epistemológicos contrários que limitam todo o pensamento: o geral e o imediato. Quer dizer, em cada momento se valoriza só o *a priori* ou só o *a posteriori*, esquecendo-se os permanentes movimentos nos valores epistemológicos que caracterizam o pensamento científico contemporâneo.

A nosso ver esta afirmação de Bachelard, referida à filosofia da ciência, parece funcionar de maneira semelhante quando se tenta entender os problemas de conhecimento das ciências na sala de aula sem considerar o conjunto das condições de produção implicadas na atividade escolar. Quer dizer, muitas vezes assistimos a tentativas de conhecer o que nossos alunos aprendem e como o aprendem, como decorrência da atividade escolar, fazendo recortes tão limitados dessa realidade, que se esquecem as múltiplas determinações que caracterizam as ações dos homens, e que têm na sala de aula um local típico da expressão concreta das variadas mediações que lá acontecem.

É a partir dessa primeira afirmação que Bachelard (op. cit., p. 166) convida a caracterizar a filosofia das ciências como uma filosofia plural, a única capaz de informar os elementos tão diversos da experiência e da teoria, elementos estes tão diferentes no seu grau de maturidade filosófica. Ele define essa filosofia como uma filosofia dispersa, como uma filosofia distribuída. Para Bachelard, o pensamento científico se conformará como um método de dispersão bem ordenado, como um método de análise aprofundada, para as diversas proposições filosóficas maciçamente agrupadas nos sistemas filosóficos. Como se pode intuir, há no pensamento de Bachelard uma profunda valoração da atividade da ciência, em particular o processo de racionalização que esta implica.

Assim, ele afirma que:

Se pudéssemos assim alargar a nossa pesquisa psicológica, parecer-nos quase evidente que o espírito científico surgiria também numa verdadeira dispersão psicológica e conseqüentemente numa verdadeira dispersão filosófica, dado que toda a raiz filosófica nasce num pensamento. Os diferentes problemas do pensamento científico deveriam pois receber diferentes coeficientes filosóficos. Em particular, o grau de realismo e racionalismo não seria o mesmo para todas as noções. É pois ao nível de cada noção que, em nossa opinião, se colocariam as tarefas precisas da filosofia das ciências. Cada hipótese, cada problema, cada experiência, cada equação reclamaria sua filosofia (...). Em linhas gerais, o devir de um pensamento científico corresponderia a uma normalização, à transformação da forma realista em forma racionalista. Esta transformação nunca é total. Nem todas as noções estão no mesmo estágio das suas transformações metafísicas.” (Bachelard, 1974,

166-167)

Bachelard torna explícita esta idéia, que é uma das principais na sua filosofia, ao trabalhar com noções como a massa e a energia. Este autor (op. cit., 167-188) conseguiu compreender a filiação de doutrinas filosóficas, que vão do realismo ao ultra-racionalismo, para tentar dar conta dessas noções. Entendendo-se aqui, claro está, que esse dar conta tem um sentido histórico, temporal, não definitivo. Ele propõe uma “escala polêmica”, suficiente para localizar os diversos debates da filosofia científica de seu tempo, e impedir a confusão dos argumentos, que entre filósofos e cientistas poderia acontecer. É esse conceito-estrutura que define como *perfil epistemológico*. É a partir desta noção, fundamentada em um estudo histórico do devir das diferentes epistemologias, que Bachelard constrói seu perfil epistemológico para ambos conceitos: Massa e Energia. Perfil que vai do realismo ingênuo ao racionalismo discursivo dialético, passando pelo empirismo claro e positivista, o racionalismo clássico da mecânica racional e o racionalismo completo (relativista).

Ele insiste que um conhecimento particular pode ser exposto em uma filosofia particular, mas não pode fundar-se em uma filosofia única; o seu progresso implica aspectos filosóficos variados.

É esta perspectiva teórica um ecletismo filosófico?

Se a perspectiva ficasse em um sincretismo, poderíamos pensar que sim. Mas ao propor uma síntese na qual cada uma das parcelas filosóficas é superada, quando é proposta uma racionalidade cada vez mais evoluída, responderíamos que não é ecletismo. Reconhece-se sim que há nesse percurso um progredir do conhecimento científico que vai do realismo ao racionalismo, passando pelo empirismo.

O sentido da evolução filosófica dos conceitos científicos é tão claro que se torna necessário concluir que o conhecimento científico ordena a própria filosofia. O pensamento científico fornece, pois, um princípio para a classificação das filosofias e para o estudo do progresso da razão. (Bachelard, 1974, p. 170)

Reconhece-se também uma continuidade sem acumulações, mas com rupturas nas

quais se gera uma dialética de interações complexas entre as diferentes dispersões das noções nas filosofias que integram o perfil conceitual. Neste perfil, cada filosofia está caracterizada por ter um poder explanatório maior que as filosofias antecedentes, de modo que as compreende e as supera (idem, p. 178; Mortimer, 1995, p. 273), sem que isto signifique um processo contínuo, linear; esta é uma perspectiva descontinuísta. Há na construção bachelardiana um movimento que visa recuperar o fato da construção histórica de cada noção científica. Visto assim, o que se propõe, neste movimento, é uma síntese histórica.

Então, esta *filosofia dispersa*, esta *filosofia diferencial*, esta *filosofia descontinuísta*, que pretende analisar a prodigiosa complexidade do pensamento científico contemporâneo, possui alguma característica de *complementaridade*?

Poderíamos dizer que não, se se entende o termo na maneira como Bohr exprimia o *princípio de complementaridade* na microfísica, isto é, o físico limitado pelo *princípio de incerteza* de Heisenberg – que estabelece a impossibilidade de fazer corresponder, simultaneamente, valores numéricos bem determinados a operadores quânticos (exemplo: coordenada  $q$ , e momento  $p$ ) que não comutam – deve se escolher uma linguagem, o conjunto de conceitos macroscópicos, em cujos termos será “solicitado” ao sistema que responda. Ou mais simplesmente, a impossibilidade de poder indicar simultaneamente, por exemplo, a posição e o momento de um sistema em estudo, leva o observador a representá-lo por uma função própria de um ou outro operador ( $q$  ou  $p$ ), sem esgotar a realidade do sistema. De modo que as diferentes perspectivas, nas quais o observador vê o sistema, são complementares (Prigogine & Stengers, 1997). Isto é, com uma linguagem, o observador é levado a indicar as características de partícula e, com a outra linguagem, as características ondulatórias, sendo uma complementária da outra em sua descrição completa.

É evidente na discussão assumida por Bachelard, em relação à noção dialetizada de massa, isto é, aquela de considerar a mecânica de Dirac, uma visão não de complementaridade, como é assumida como consequência do princípio de incerteza, mas como uma visão que implica a superação das noções anteriores, incluindo-as, ao dizer:

Mas eis a surpresa, eis a descoberta: no final do cálculo, a noção de massa é-nos fornecida estranhamente dialetizada. Nós tínhamos apenas necessidade de uma massa; o cálculo dá-nos duas, duas massas para um só objeto. Uma destas massas resume perfeitamente tudo o que se sabia da massa nas quatro filosofias precedentes: realismo ingênuo, empirismo claro, racionalismo newtoniano, racionalismo completo einsteiniano. Mas a outra massa, dialética da primeira, é uma massa negativa. Trata-se de um conceito inteiramente inadmissível nas quatro filosofias antecedentes. (1974a, p. 178)

Isto é, há para Bachelard uma continuidade/ruptura que sem apagar completamente o que a ciência, em seu devir, tem construído, produz momentos de superação que se manifestam em um progredir das ciências para uma racionalidade cada vez mais complexa e completa. Os conhecimentos anteriores são revalorizados, fazendo-se mais explícitos os seus limites de “verdade” e, deste modo, aparecem mais ricos, mais complexos, já não são os mesmos; e os novos conhecimentos compreendem coisas que não estão e não podem ser explicadas pelo conhecimento anterior. Também não há aqui, acreditamos, uma perspectiva determinista de entender o devir da ciência, mas uma perspectiva histórica; há uma visão não mecânica de compreender o movimento das ciências.

No caso educativo geram-se várias interrogações: Até onde uma perspectiva filosófica é luz que dissipa as obscuridades de conhecimentos incompletos? A partir de quando é necessária uma filosofia que seja superação de outra anterior para ampliar a luz que nos ilumine para um desenvolvimento do conhecimento? Até que grau uma determinada perspectiva filosófica compreende e supera outra anterior?

O próprio Bachelard afirma que

Insistimos no fato de um perfil epistemológico dever sempre se referir a um conceito designado, de ele apenas ser válido para um espírito particular que se examina num estádio particular da sua cultura. É esta dupla particularização que torna um perfil epistemológico interessante para uma psicologia do espírito científico. (1974a, p. 183)

Esta afirmação expressa uma relatividade da evolução do conhecimento científico,

com esperável influência em seu ensino.

Encontramos, também, em pesquisadores preocupados com o problema do ensino das ciências, levando em conta a realidade do espaço de aula, como Mortimer, posições que enriquecem as afirmações de Bachelard sobre esta questão, ao dizer:

O perfil conceitual é, portanto, dependente do contexto, já que está fortemente enraizado nas distintas experiências individuais, e dependente do conteúdo, já que está referido a um conceito particular. Mas ao mesmo tempo suas categorias são independentes do contexto, como numa cultura temos as mesmas categorias com as quais as zonas do perfil são determinadas. (Mortimer, 1995, p. 273)

Por outro lado, Bachelard afirma (1974, p. 187) que as condições tanto experimentais como matemáticas do conhecimento científico alteram-se com tanta rapidez que os problemas se colocam diferentemente para o filósofo de dia para dia. Daí que, para acompanhar o pensamento científico, é necessário reformar os quadros racionais e aceitar as novas realidades. É este o caso em relação ao perfil epistemológico que Bachelard propõe para a energia.

Centramo-nos neste último conceito por ser o objeto de nossa pesquisa. Bachelard aborda uma discussão mais detalhada da evolução racional do conceito de energia, para aquele momento – 1951 –, em outro de seus livros (1975, pp. 157-181), que nos permite identificar alguns detalhes do perfil desse conceito. A discussão por ele apresentada é uma alavanca maravilhosa para se tentar fazer uma atualização da evolução dessa noção.

A seguir, queremos chamar a atenção sobre três questões que têm relação com o que dissemos anteriormente:

A primeira, é a concordância que Bachelard manifesta ter com Poincaré, nessa obra, ao considerar a racionalidade decorrente do princípio da conservação da energia, em relação à impossibilidade de enunciar este princípio em toda sua generalidade e aplicação ao universo, sob pena de produzir seu desvanecimento, quando expressa que

Os problemas do conhecimento racional não adquirem sua verdadeira significação se este conhecimento não se aplica a um

objeto bem definido. Inclusive os princípios gerais podem perder seu sentido se não se aponta a uma aplicação precisa. O princípio da conservação da energia não deve entrar em jogo mais que a propósito de sistemas isolados, de modo que se tenha simultaneamente conservação da energia e conservação do sistema. Este ponto foi precisado com grande cuidado por Henri Poincaré. No prefácio a seu livro de termodinâmica, assim se expressa: “Se se quer enunciar o princípio em toda sua generalidade e aplicando-o ao Universo, o vemos por assim dizer desvanecer-se e só fica isto: há algo que permanece constante”. (Bachelard, 1975, pp. 161-162)

Sobre este aspecto voltaremos um pouco mais à frente.

A segunda questão tem relação com a escolha estrita da perspectiva epistemológica, para definir seu perfil. Quer dizer, levar só em conta as teorias de conhecimento, a maneira como uma ciência em particular conhece seu objeto de estudo, não levando em conta aspectos mais ontológicos. No caso do ensino, este fator, como o afirma Mortimer (1995), torna-se importante. Fundamentam esta postura, entre outras, as pesquisas sobre concepções dos alunos, realizadas por Chi (1992), Mortimer (1994) e Linder (1993), que identificam as incompatibilidades entre a fundamentação ontológica (ou categoria ontológica) do conceito e a que o estudante assume quando lida com aquele, como uma das causas dos “problemas” na conceituação pelos estudantes (Chi, 1992, p. 140; Mortimer, 1994, p. 2). A este respeito, Mortimer menciona que “Bachelard não está sozinho ao considerar que diferentes formas de ver o mundo podem ser encontradas numa mesma pessoa”<sup>3</sup> (1994, p. 33) e, passeando pelas perspectivas sociológica, epistemológica, psicológica e educativa expressas por Schutz, Berger e Luckmann, Popper, Marton e Linder em relação às *diferentes formas de ver o mundo*, propõe o uso de *perfil conceitual* como categoria “para descrever a evolução das idéias, tanto no espaço social da sala de aula como nos indivíduos, como consequência do processo de ensino” (idem, p. 40). Chi fundamenta sua proposta de mudança conceitual radical na noção de “categoria ontológica”. A esse respeito afirma que “A ontologia divide o nosso conhecimento em categorias que são conceitualmente diferentes de uma maneira que não é fácil de definir ainda que a diferença pode ser facilmente captada”

---

<sup>3</sup> Mais tarde voltarei à discussão teórica deste aspecto sob a perspectiva da análise de discurso (p. 75).

(1992, p. 130) e propõe que existem, no mundo, algumas categorias principais (exemplo: matéria ou substância material, eventos e abstração) que são fisicamente distintas em seu aspecto ontológico, que deveriam ser percebidas pelos adultos como distintas psicologicamente em seu aspecto ontológico (idem, p. 130).

Justificamos a importância do aspecto ontológico, também, porque fundamentalmente o que o docente transmite quando ensina é sua ontologia, como o afirma Sigrist (1997). Assumimos o ontológico segundo este autor:

Ontologia, no seu sentido primeiro, mais elementar e mais simples, que é o conceito etimológico, significa lógica do ser: “onthos”, do grego, significa ser e “logos”, lógica.(...)

Não podemos viver sem explicar o mundo que vivemos. Ainda que esta explicação seja mística, mítica ou mistificada. É justamente porque conseguimos, de algum modo, explicar este mundo, que a vida tem sentido, qualquer que seja esse sentido. Sem uma leitura da realidade, não saberíamos como agir e interagir dentro da sociedade (...)

Enfim, a leitura da realidade é a nossa ontologia. Se esta tiver um grau acentuado de racionalidade, um fundamento teórico sólido, muito melhor. Mas em todos os níveis – empírico, racional e teórico, há uma ontologia presente, diretriz básica de nosso comportamento.

No caso da educação escolar, sendo professores, é a ontologia que comunicamos aos nossos alunos, qualquer que seja a disciplina que lecionemos. Não há professor que consiga ser mascarado, e ainda que ele se mascare, está comunicando uma determinada visão de mundo. (...) Não há neutralidade, ainda que a ciência pretenda ser neutra.” (p. 174)

Desta forma, ao considerar os aspectos ontológicos, cada zona filosófica do perfil conceitual pode ser diferente tanto epistemológica como ontologicamente. Já não se restringe aos aspectos epistemológicos de cada escola filosófica. Mas considera as visões que se tem da realidade e os modos de produzir o conhecimento dessa realidade pelos indivíduos.

Em nosso trabalho de pesquisa, por estar intimamente relacionado com o desenvolvimento de conceitos científicos pelos alunos em aulas de física, levaremos em conta também o ontológico.



E como terceira questão, considerando o afirmado por Bachelard no sentido de que os experimentos e a matemática mudam, é necessário rever o perfil proposto por ele à luz dos desenvolvimentos acontecidos nas ciências até hoje. Duas áreas de pesquisa como as relacionadas com as Teorias do Caos e a Termodinâmica dos Sistemas Instáveis têm que ser consideradas no momento de construir um perfil atual do conceito de energia. Suas influências, ontológica e epistemológica, no entendimento de novos aspectos do conceito de energia são inegáveis. Já não dá para sustentar que a ordem inerte dos cristais é a única ordem física possível, assim como também não, a evolução para a desordem e a inércia como a única evolução dedutível das leis fundamentais da física.

Como afirmam Prigogine & Stengers, “A termodinâmica de equilíbrio constitui, na verdade, a primeira resposta dada pela física ao problema da complexidade da natureza. Essa resposta formula-se como dissipação da energia, esquecimento das condições iniciais e evolução para a desordem” (1997, p. 103). Nesse sentido, manter, por exemplo, a conservação da energia, como a máxima e quase única lei que regula os intercâmbios energéticos, como meio de inteligibilidade da natureza, torna-se limitante para a compreensão do problema da sua complexidade; como por exemplo, fenômenos biológicos, cosmológicos ou sociais. Quando se tenta dar o mesmo estatuto a todas as energias, sejam elas energias dissipativas ou energias mecânicas, e se considera por exemplo que “a queda de um corpo entre dois níveis de altitude constitui a aplicação de uma diferença produtora essencialmente da mesma natureza da passagem de calor entre dois corpos de temperaturas diferentes” (p. 240), elimina-se a distinção entre um processo idealmente reversível e outro intrinsecamente irreversível. Ainda mais, o enunciado original da segunda lei da termodinâmica “A entropia do universo cresce na direção de um máximo”, por Clausius, ou “sobre a tendência universal na natureza à dissipação da energia mecânica”, por Thomson, que é reproduzida nos livros didáticos, conduz à reafirmação da idéia de que a primeira lei da termodinâmica é de aplicação universal sem nenhum tipo de limitação, quando em realidade não é bem assim.

Em vista disso, recorreremos aqui às contribuições de Prigogine (1980, 1996) e

Prigogine & Stengers (1997), que nos evidenciam uma nova racionalidade de ordem superior, a qual aprofunda a característica de incerteza, que advém da mecânica quântica, já levantada no racionalismo discursivo proposto por Bachelard, mas também levanta o problema da irreversibilidade temporal.

### **3.2.2.2. Construindo um perfil conceitual em relação à energia: uma perspectiva a partir da física dos fenômenos complexos e da termodinâmica dos sistemas instáveis**

A idéia da complexidade é uma aventura. Eu diria mesmo que só podemos tentar entrar na problemática da complexidade se entrar na da simplicidade, porque a simplicidade não é assim tão simples quanto parece.

Edgar Morin.

Para Prigogine a questão do tempo está na encruzilhada do problema da existência e do conhecimento. O tempo, afirma ele, “é a dimensão fundamental de nossa existência, mas está também no coração da física, pois foi a incorporação do tempo no esquema conceitual da física galileana o ponto de partida da ciência ocidental” (1996, p. 9). Ele levanta a questão de que apesar do passado e do futuro desempenharem papéis diferentes na química, na geologia, na cosmologia, na biologia ou nas ciências humanas, as equações fundamentais da física (clássica ou quântica) atribuem ao mundo uma simetria temporal. Daí que os objetos com os quais trabalha a física não têm história, não têm idade. Em um átomo que absorve energia, alcança um estado excitado, emite energia e volta a seu estado original, a “memória” desse processo é completamente apagada; as leis físicas que representam isso não dão conta da flecha temporal, nesse átomo não pode se reconhecer a reversibilidade. No entanto, no mundo real, uma pessoa nasce, cresce, envelhece e morre; nesse mundo, ele mesmo, o universo, teve um início. Há nele, no mundo real, uma flecha do tempo.

Reconhece-se pela primeira vez, na física, a irreversibilidade do tempo com o enunciado da segunda lei da termodinâmica: “A entropia do universo cresce na direção de um máximo” ou “os sistemas fechados tendem para o estado de equilíbrio, o estado

com os valores mais prováveis para qualquer propriedade macroscópica do sistema”. Mas a interpretação de Boltzmann, o cientista que tentou pela primeira vez a formalização dessa lei, é dada em termos estatísticos, reconhecendo que o estado de equilíbrio corresponde a um dos que têm o maior número possível de distribuições termodinamicamente equivalentes das moléculas do sistema; algum outro estado será menos provável porque haverá muito menos combinações moleculares que correspondem a esse estado; assim que, em sistemas fechados, os processos termodinâmicos espontâneos movem os sistemas dos estados menos diferenciados ou mais organizados, com maior energia, com baixa entropia para um estado mais homogêneo, mas entrópico, com menor energia. Vejam-se dois exemplos já clássicos: um gás encerrado em uma garrafa tende a distribuir-se homogeneamente em todo o volume da garrafa, ainda que o gás seja uma mistura; ou nesse outro, onde um copo cai de uma mesa, bate contra o solo e se quebra; jamais veremos o processo contrário. Nestes tipos de processos, irreversíveis, a entropia tende a aumentar. No entanto, processos como o movimento do pêndulo sem fricção, são processos reversíveis, neles a entropia não muda. Estes últimos processos são descritos por equações de evolução invariantes em relação à inversão dos tempos, isto é, equações que permanecem imutáveis se trocarmos  $t$  por  $-t$ ; é o caso da equação de Newton ou da conservação da energia na dinâmica clássica e de Schrödinger na mecânica quântica. O caso dos processos irreversíveis, pelo contrário, implica uma quebra da simetria temporal. (Prigogine, 1996, p. 25).

Passemos agora a comentar as seguintes duas coisas: a primeira, em relação à ferramenta matemática usada para formalizar a segunda lei, e a outra, relacionada com o tipo de processo (reversível ou irreversível) mais comum no mundo real. Em relação à primeira questão, Boltzmann afirmou que, para compreender a segunda lei e o aumento espontâneo de entropia, é necessário afastarmo-nos de uma descrição das trajetórias dinâmicas individuais, já que é o conjunto das colisões no interior da população de partículas, os *ensembles*, o que produz a tendência global que se descreve com o aumento de entropia; mas, contraditoriamente, ao afirmar que o papel que ele dava às colisões era só aparente, pelo fato de que se trabalha com uma distribuição de

velocidades no *ensemble* e não com as trajetórias individuais, ele deu à estatística, aí, um papel eminentemente instrumental, e o resultado que se obtém com ela seria uma simples aproximação. Daí que a irreversibilidade não seria uma propriedade fundamental da natureza, mas seria uma conseqüência do caráter aproximado do cálculo, isto é um efeito subjetivo. No dizer de Prigogine,

(...) essa interpretação, que implica que nossa ignorância, o caráter grosseiro de nossas descrições, seja responsável pelo segundo princípio e, portanto, pela flecha do tempo, é insustentável. Ela nos força a concluir que o mundo pareceria perfeitamente simétrico no tempo para um observador bem informado, como o demônio imaginado por Maxwell, capaz de observar os microestados. Nós seríamos os pais do tempo, e não os filhos da evolução. (1996, p. 28)

Com respeito à segunda questão colocada no parágrafo anterior, em relação aos processos mais comuns no mundo real, sabe-se que os sistemas reais, em sua maioria, são sistemas abertos, são sistemas complexos, são sistemas que operam longe do equilíbrio e pelo qual o conceito de distribuição mais provável que subjaz na interpretação de Boltzmann perde toda validade. Os *ensembles* que existem fora do equilíbrio, como os organismos vivos, as organizações sociais, o nosso planeta etc., não apenas são sistemas abertos, mas existem porque são sistemas abertos, eles são sistemas complexos, eles conformam estruturas dissipativas (Mortimer, 1998, p. 111).

Neste sentido, baseado na teoria de caos, Prigogine propõe um novo instrumento matemático (1996, pp. 113-155) que possa representar a nova teoria física (para sistemas complexos de comportamento não-linear, sistemas dinâmicos instáveis) e estar de acordo com esse universo aberto, em evolução, onde vivemos, os humanos. A novidade essencial, na matemática proposta, é ir além dos elementos do espaço de Hilbert – espaço onde se trabalha só com funções normais, para representar sistemas integráveis – para poder abordar os sistemas dinâmicos instáveis, que são sistemas não integráveis. A matemática desenvolvida por Prigogine propõe-se a resolver problemas dinâmicos no nível estatístico. Isto é, é uma matemática que trata com problemas de população e não com partículas isoladas ou indivíduos, sem por isso ser uma descrição aproximada dos fenômenos. Passa-se, com esta matemática, de uma descrição através de trajetórias, no

caso clássico, ou de funções de onda, no caso quântico, a uma descrição estatística; esta descrição quebra a simetria temporal e não pode ser reduzida à descrição em termos de trajetória ou de funções de onda. Assim também, esta descrição estatística rompe o determinismo.

Mas de que maneira incide esta nova racionalidade na conceituação da energia? Qual é a face do conceito que esta epistemologia aborda? Uma primeira consideração geral é que as relações que envolvem a energia com outras grandezas, que conformam com ela redes de conceitos, impliquem uma descrição estatística da evolução dos fenômenos a descrever com essas grandezas; mas essa descrição deve também implicar a flecha do tempo e a irreversibilidade como constitutivos das leis que descrevem os processos. A esse respeito deve negar-se na primeira lei qualquer possibilidade de aplicação universal que não diferencie processos reversíveis de processos irreversíveis.

O anteriormente dito nos permite aprofundar agora naquela afirmação de Poincaré, citada por Bachelard, em relação ao princípio da conservação da energia: “Se se quer enunciar o princípio em toda sua generalidade e aplicando-o ao Universo, o vemos por assim dizer desvanecer-se e só fica isto: há algo que permanece constante”. Esse algo, no ponto de vista de Prigogine, nada mais é que a constância das diferenças qualitativas da energia (Prigogine & Stengers, 1997, pp. 87-90 e 240). Assim se destaca uma postura que visa trabalhar com sistemas reais e não com suas idealizações; igualmente se destaca a diferença qualitativa que existe entre energias de tipo conservativas, como as mecânicas, e aquelas dissipativas.

### **3.2.2.3. Construindo um perfil conceitual em relação a energia: movimentos em relação ao desenvolvimento da significação da energia**

A identificação de eventos relacionados com o desenvolvimento da conceituação da energia pela ciência permite-nos abstrair algumas características que definam as dispersões filosóficas, frente ao conceito de energia, proposto por Bachelard (1974a, p.

185). As leituras dos trabalhos de Bachelard (1975, pp. 157-181), de E. Mach<sup>4</sup>, B. Stewart<sup>5</sup>, T. Kuhn<sup>6</sup>, Y. Elkana<sup>7</sup>, editados por I. B. Cohen (1981), de G. Holton (1976), Bécu-Robinault e Tiberghien (1998) e de Souza (1987), subsidiaram-nos para identificar as significações que no espaço da ciência têm sido produzidas.

Estas objetivações genéricas, que a seguir descrevemos, são interpretações da noção de energia, que o homem tem realizado no processo histórico de criação do conhecimento; elas se instalam na sala de aula e funcionam na constituição dos textos que são colocados para operar aí, já que, pela interdiscursividade, pelos modos de leituras, e por outras condições de produção mais específicas do espaço onde acontece a pesquisa, constituem-se em significações possíveis para serem incorporadas nos processos de interpretação pelos alunos e serem expressas por eles durante as discussões, entrevistas e respostas aos questionários. Para prosseguir, apresentamos – a modo de uma constatação de eventos que dêem suporte para a constituição da base de um perfil epistemológico de referência, ou mais concretamente das doutrinas epistemológicas que o conformam – algumas das significações que a ciência, historicamente, tem feito da noção energia. Isto é, buscamos destacar as paráfrases que têm sido produzidas, sobre o tema energia, pela ciência nos momentos de fechamentos de significados:

#### – Os distintos tipos de energia

Antes de 1800, conhecem-se diferentes manifestações de “*forças físicas*” (energias). Isto é, a energia era essencialmente compreendida pelas diferentes formas como se manifestava;

#### – Relação das energias com os processos de transformação

De 1800 até 1842, os cientistas pesquisam em uma rede que conecta essas

---

<sup>4</sup> History and root of the principle of the conservation of energy.

<sup>5</sup> The conservation of energy: being an elementary treatise on energy and its laws.

<sup>6</sup> Energy conservation as an example of simultaneous discovery.

<sup>7</sup> The conservation of energy: a case of simultaneous discovery.

“forças” e os estudos dos processos de transformação. Destacam-se os trabalhos de Benjamin Thomson e Humphry Davy relacionados a calor e energia cinética; Michael Faraday, relacionando-as às atividades elétricas, magnéticas e da luz; Thomas Young, Augustin Fresnel, William Herschel, Macedonio Melloni, James Forbes nos fenômenos de calor e luz; Lavoisier, Dulong e Laplace em relação aos fenômenos químicos, de trabalho mecânico e calor. Deste modo, a energia só era compreendida pelas diferentes formas e sua relação com os processos de transformação.

#### – O princípio de conservação da energia

De 1842 até 1847, diferentes cientistas, simultaneamente, estabelecem o princípio de conservação (Kuhn, 1981). São trabalhos precursores os de Julius R. Mayer, James P. Joule, Hermann Von Helmholtz, Ludvig Colding, Karl F. Mohr, Karl Holtzmann, Justus Liebig, Sadi Carnot, Marc Séguin, Gustav A. Hirn, W. R. Grove, Michael Faraday. Todos eles relacionados com o equivalente mecânico do calor e efetuados em distintos lugares do mundo. A partir desse momento, o principal aspecto a valorizar foi o da conservação.

#### – Dissipação da energia, processos irreversíveis e a flecha do tempo

Cinco grupos de ações empíricas e/ou teóricas podem ser identificados, entre os séculos XVIII e XIX, e nos permitem estabelecer a característica dissipativa da energia:

##### 1) O estudo da máquina de vapor

O mecânico inglês Thomas Newcomen aperfeiçoou as primeiras máquinas a vapor (1712), tornando-as realmente utilizáveis, comportando caldeira, cilindro e pistão; a condensação era realizada pela injeção de água fria no interior do cilindro, o que tornava o funcionamento pouco econômico.

James Watt (1763), engenheiro e mecânico escocês, refaz o modelo reduzido da máquina de Newcomen. Este foi o ponto de partida das reflexões que o levaram a

imaginar o condensador e outros aperfeiçoamentos que foram objeto de uma patente obtida em 1769. No entanto, a produção industrial só foi iniciada em 1776 graças à associação com Boulton. Após 1780, Watt aplicou o efeito duplo que permite obter um movimento de rotação, bem como o regulador centrífugo, um dos primeiros exemplos de sistemas com retroação aplicados na indústria.

Sadi Carnot realiza estudos do rendimento das máquinas a vapor, “Reflexões sobre a força motriz do fogo”, em 1824, e, fazendo uso da teoria do calórico, concluiu que o rendimento (trabalho/quantidade de calor) da máquina térmica (ideal) tem um valor máximo e que as máquinas reais são incapazes de alcançar esse valor máximo.

William Thomson (Lorde Kelvin), com base em seus trabalhos dos últimos 20 anos, em 1874 enunciou um princípio de irreversibilidade geral dos processos dissipativos. A partir da análise de Carnot das máquinas a vapor, mostra que o processo de igualação de temperaturas pelo fluxo de calor dos corpos quentes aos corpos frios tem lugar constantemente na natureza. Assim, não só a quantidade de energia se conserva em um sistema fechado – isolado –, mas também tende a transformar-se em forma de energia cada vez menos utilizável. O que implica a impossibilidade de alcançar a quantidade máxima de trabalho de uma determinada quantidade de calor. Ainda mais, que os processos naturais observáveis são irreversíveis. Isto dava uma visão oposta à que tinham os geólogos “uniformistas” que consideravam as mudanças geológicas como cíclicas.

## 2) Estudos teóricos da propagação do calor em sólidos

Joseph Fourier apresentou três trabalhos teóricos (1807, 1811, 1822) nos quais desenvolve sua teoria da condução térmica em sólidos, “Teoria analítica do calor”, junto com um método construtivo poderoso para resolver as equações que surgem teoricamente, isto é, o desenvolvimento de uma função em série de funções trigonométricas para dar origem a uma equação diferencial fundamental, processo que completa com a passagem da diferencial à integral. Por esse desenvolvimento, chega-se de alguma maneira a associar a continuidade de uma solução geral à descontinuidade dos



dados. A equação térmica que se obtém é irreversível a respeito do tempo; o que explicita quando afirma que “sempre que existam diferenças de temperatura, estas tendem a desaparecer por causa de um fluxo térmico que flui das altas às baixas temperaturas”.

### 3) Estudos geológicos em relação ao esfriamento da terra

William Hopkins foi um geofísico inglês e professor de matemática da Universidade de Cambridge que, entre 1839 e 1852, elaborou uma teoria bastante completa em relação ao esfriamento da Terra, estabelecendo o princípio do fluxo térmico irreversível nos processos geológicos, que produz uma mudança progressiva nos fenômenos terrestres. Perspectiva que expressava ao dizer “Eu sou incapaz de reconhecer o selo e a mostra da eternidade estampada no universo físico. (...) “O universo deve estar governado por esta lei geral da igualação das temperaturas que as dirige irreversivelmente para um limite último, o frio do espaço exterior”.

### 4) A significação da entropia

Ludwig Boltzmann, 1878, expressou a lei de dissipação térmica por meio da entropia, relacionando-a com a probabilidade das distribuições moleculares. Distribuição que pode mudar ainda que não se tenha fluxo térmico, de modo que a entropia de um sistema isolado, num processo irreversível, sempre tende a crescer (Prigogine, 1980, p. 6; Bernardes, 1999, pp. 10-14; Mortimer, 1998, p. 110). Este segundo princípio admite que o tempo não é uma variável matemática neutra, no sentido das coordenadas espaciais, mas que possui uma direção definida apontando do passado ao futuro, isto é, nos processos físicos reais existe uma flecha do tempo.

### 5) Os estudos de decaimento radioativo

Os estudos de Marie e Pierre Curie (1896, 1904) sobre radioatividade e os posteriores estudos sobre desintegração radioativa confirmaram a irreversibilidade e progressividade dos processos naturais.

### – A quantização da energia

Como as características anteriores, a quantização da energia se configura como resultado de um conjunto de ações de pesquisa científica:

Wilhelm Wien propôs a “lei do deslocamento”, 1893, que estabelece que para um emissor perfeito de espectros contínuos – emissão de corpo negro ou emissão ideal – o produto do valor máximo do comprimento de onda,  $\lambda_{\text{MAX}}$  (em cm), por sua temperatura,  $T$  (em °K), é uma constante, isto é,

$$\lambda_{\text{MAX}} (\text{cm}) T(^{\circ}\text{K}) = 0,2897 \text{ cm } ^{\circ}\text{K}$$

Esta teoria, deduzida a partir da teoria clássica, não logrou explicar as curvas de emissão real.

Max Planck revelou, em 1900, a descoberta da lei que rege a emissão de energia dos radiadores ideais. Essa lei

$$E_{\gamma} = \frac{C^2}{e^{B/T} - 1}$$

é semelhante à que rege os espectros de emissão de raias de hidrogênio deduzida por Balmer.

Planck, com base no trabalho de Hertz, do qual falaremos mais adiante, propôs uma hipótese não clássica para a emissão e absorção da energia para osciladores elétricos submicroscópicos – chamados *ressonadores*, por Planck. A variação de energia nestes processos está quantizada, quer dizer,

$$E_{\gamma} = nh$$

sendo  $h$  a constante de Planck,  $\nu$  a frequência de oscilação e  $n$  um inteiro. Isto lhe permitiu demonstrar que a energia de radiação emitida por segundo, por unidade de área da superfície emissora e por unidade de intervalo de comprimento de onda é:

$$E_{\gamma} = \frac{8\pi^5 h^7}{15 c^3 e^{h\nu/KT}}$$

onde  $K$  é a constante de Boltzmann.

O descobrimento do efeito fotoelétrico tem determinado uma promoção da física do descontínuo. Destaca-se o trabalho seminal, experimental, de Heinrich Hertz (1887-1888) em que, de maneira incidental, gera-se uma corrente fotoelétrica pela incidência de luz ultravioleta sobre uma superfície limpa de um metal; este experimento, paradoxalmente, forneceu a prova mais convincente a favor da teoria electromagnética clássica de Maxwell, no sentido da equivalência da luz com a radiação electromagnética. O experimento de Philipp Lenard, em 1902, permitiu observar que a energia cinética máxima dos fotoelétrons dependia da frequência da luz incidente e que para cada metal existia uma frequência mínima para que a corrente se gerasse, independentemente do valor da intensidade da radiação incidente.

Einstein, 1905, publicou o trabalho “sobre um ponto de vista heurístico relativo à geração e transformação da luz”, que lhe valeu o Prêmio Nobel, e que explicava os fenômenos da interação luz-matéria, concluindo que “a energia da luz não está distribuída de um modo uniforme sobre o frente de onda, como na imagem clássica, mas que está concentrada ou localizada em pequenas regiões discretas”. A consideração desta idéia ofereceu uma explicação imediata ao efeito fotoelétrico, expressa mediante a equação:

$$h\nu = \frac{1}{2} m_e v_{MAX}^2 + W$$

que relaciona a velocidade máxima  $v_{MAX}$  dos fotoelétrons com a frequência  $\nu$  da radiação incidente e a função trabalho  $W$  do metal.

Robert Millikan, 1916, realizou o trabalho experimental relacionado com a teoria einsteiniana, calculando  $h$  e a função trabalho de alvos metálicos específicos.

Dentre outros fenômenos que corroboram o caráter corpuscular da radiação, estão

o efeito Compton (1923) e o efeito Raman (1928). No primeiro, o efeito do “choque” de um corpúsculo de radiação de raios X e um elétron é a diminuição da frequência do fóton incidente ao passar da energia  $h\nu$  a  $h\nu'$ . No caso do efeito Raman, os fótons são de luz visível, os quais batem contra as moléculas de um corpo; neste caso a energia cedida pelo fóton é assimilada pela molécula que adquire um estado dinâmico novo ao repartir essa energia em diferentes estados quânticos.

#### – Energia e o princípio de incerteza

Em 1927, Werner Heisenberg propôs, como postulado, que existem certos pares de propriedades físicas de uma partícula que não podem ser medidas simultaneamente, até um grau de exatidão arbitrariamente alto, isto é, o princípio de incerteza ou de indeterminação – segundo se assuma uma posição fenomenológica ou realística. Exemplo:

$$\Delta x \cdot \Delta p \geq \frac{h}{2\pi},$$

onde  $x$  é a posição e  $p$  a quantidade de movimento da partícula ou

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{2\pi},$$

onde  $E$  é a energia da partícula e  $t$  é o intervalo de tempo durante o qual possui essa energia. Sendo estas relações uma limitação significativa para partículas atômicas e subatômicas, onde  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  joules.seg.

Em torno deste princípio de incerteza, assim como do próprio caráter da mecânica quântica, tem-se produzido uma grande polêmica em relação a se este expressa a limitação do conhecimento do observador, o que é produto da interação objeto-sistema de medida, ou se, pelo contrário, se aplica à própria natureza. Sendo a primeira uma visão fenomenológica, relacionada com o idealismo subjetivo, e a segunda uma visão realística.

Este princípio permitiu a Niels Bohr, 1927, propor o princípio de complementaridade segundo o qual aparecem dois modos mutuamente excludentes para descrever um determinado sistema, mediante uma ou outra variável conjugadas ( $X$  e  $\bar{X}$ ), isto é, variáveis que se relacionam, em uma dada teoria, como  $\bar{X} \propto \frac{\partial S}{\partial X}$ , sendo  $S$  a ação nessa teoria.

Mas estes princípios parecem não ficar restritos ao domínio quântico; no caso da termodinâmica, Bernardes (1999) tem escrito a respeito dessa possibilidade. Para este autor, a relação entre o volume  $V$  e a pressão  $P$ , por um lado, e a energia interna  $E$  e a temperatura  $T$  de um fragmento, como um gás, por outro lado, são exemplos da aplicação desses princípios. A respeito desta última relação entre  $E$  e  $T$ , ele afirma:

Para se atribuir um número bem definido  $E$  à energia de um fragmento termodinâmico, esse fragmento deve estar isolado, quer dizer, deve estar isolado contra trocas de energia com outros fragmentos do universo termodinâmico, tais como o reservatório térmico. No entanto, sem essa troca de energia entre o fragmento e um reservatório, a temperatura  $T$  do fragmento não é definida (p. 35).

#### – Energia, relatividade e equivalência de massa e energia

Em 1902, Walter Kaufmann achou experimentalmente, desviando elétrons de alta velocidade – raios  $\gamma$  – com campos elétricos e magnéticos, um incremento na massa dos elétrons. Ele e outros tinham a idéia de que a massa de um elétron devia se incrementar com o aumento da velocidade, de modo que a aceleração criada por uma determinada força sobre o elétron em movimento devia ser menor que em repouso.

A partir da teoria especial da relatividade, Albert Einstein, em 1905, estabeleceu que a massa,  $m$ , ponderável de uma partícula, como um elétron, cresce com a velocidade segundo a relação

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

onde  $m_0$  é a massa em repouso da partícula,  $m$  é sua massa em movimento (massa relativista) medida quando se move à velocidade  $v$  relativa ao observador em repouso e  $c$  é a velocidade da luz. Isto permitiu propor o princípio de equivalência da massa e da energia, de modo que uma partícula em repouso tem uma energia que estaria dada pela relação

$$E = m_0 c^2$$

Isto leva a uma síntese dos princípios de conservação da massa e da energia em um único princípio segundo o qual, em um sistema fechado a quantidade total de energia ou de massa é,

$$m_0 c^2 + E_T = \text{constante ou}$$

$$m_0 + \frac{E_T}{c^2} = \text{constante}$$

onde  $E_T$  corresponde às restantes formas de energia.

#### – Energia , produção e aniquilação de pares (anti-partícula)

Paul Adrien Maurice Dirac, em 1928, com sua “Theory of the electron” deu um grande passo quando combina a teoria mecânica quântica e a relatividade especial. A equação resultante permitiu explicar propriedades magnéticas e o *spin* do elétron. Em 1931 , em “The theory of holes”, Dirac usa essa equação para prever a existência de uma partícula com a mesma massa que o elétron livre mas com carga positiva (pósitron). A formulação desta teoria quântica relativista do elétron livre, prevê que os valores permitidos para a energia total relativista do elétron livre são:

$$E = \pm \sqrt{c^2 p^2 + m_0^2 c^4} ,$$

dando origem a dois tipos de energia, uma positiva e outra negativa. Dirac identificou o elétron e o pósitron como os portadores, respectivamente, destas energias.

Diversos autores, motivados pelo incômodo que lhes produzia a idéia contra-intuitiva de energia negativa, buscaram mediante a quantização de campo a superação desse conceito. Todos eles, pelo contrário, confirmaram a idéia de Dirac.

Carl David Anderson, em 1932, durante uma pesquisa sobre raios cósmicos, achou o primeiro indício empírico destes processos e identificou o pósitron. Posteriormente, este tipo de partícula foi compreendido dentro da denominação genérica de antipartícula.

Os processos que envolvem a produção deste tipo de energia identificam-se hoje como de produção e aniquilação de pares, que são processos nos quais os fótons, de radiações de alta energia – raios x de alta energia ou raios  $\gamma$ , perdem sua energia na interação com a matéria, dando origem a pares de partículas com energia com signos opostos.

Assim, evidencia-se em cada um desses períodos a descrição de aspectos parciais do conceito, vistos estes do nível de desenvolvimento do conceito de energia de hoje para o passado, como o propõe Bachelard.

Temos destacado até aqui uma parte das significações que a ciência tem produzido sobre a energia. Temos apresentado só o que identificamos como as significações que se fizeram hegemônicas no devir da física e que constituem o núcleo do campo discursivo que se passa como a produção de significados da física em relação à noção de energia. Consideramos que esse conjunto de significações é suficiente para construir o perfil epistemológico dessa noção até hoje.

Ainda que venha apresentando, em uma perspectiva temporal, alguns eventos que caracterizam uma dinâmica de significação do conceito de energia realizada pelo homem, esse movimento não deve ser entendido de um ponto de vista “cronológico”, como um fio linear homogêneo, mas realmente em uma dialética histórica de concretização do abstrato, como advindo de confrontos sócio-históricos e culturais no espaço do conhecimento, entre outros. Um movimento que se produz não em um contínuo, mas que se dá através de rupturas. Destarte, a evolução não se produz de modo acumulativo, e, sendo assim, o conhecimento não se dá de modo complementar sobre o

“mesmo” mas sim sobre objetos diferentes segundo condições de produção específicas, sem alcançar jamais a totalização. Este ponto de vista obriga, também, a entender o sujeito de maneira diferente à que se demarca na perspectiva continuísta, onde o sujeito como síntese é coerente, marcado, uniforme.

Ao considerar os aspectos relacionados com os sistemas instáveis, anteriormente discutidos, os eventos históricos característicos da evolução do conceito de energia e a proposta de perfil epistemológico de Bachelard (1974a, p. 185), pode-se propor uma escala dinâmica ampliada que mostre a dispersão das filosofias em relação ao conceito de energia, com seis doutrinas filiadas, como indicadas na Figura 1, onde a frequência de uso é própria da pessoa e cada uma das dispersões filosóficas do conceito pode ser caracterizada como segue:

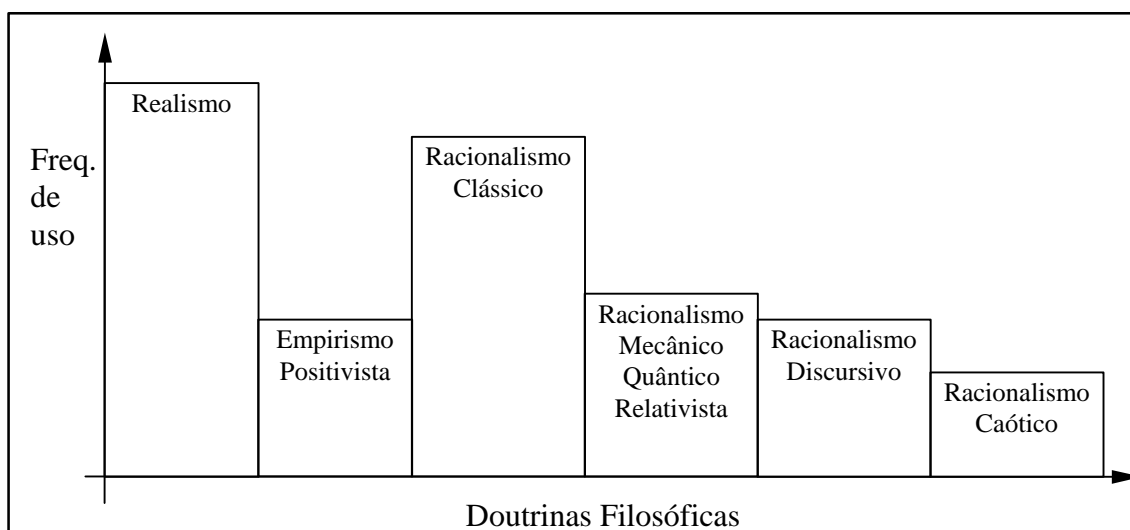


Figura 1. Perfil Epistemológico

– *Realismo Ingênuo*

Esta significação do conceito de energia é uma apreciação exclusivamente quantitativa, indissolúvelmente realista. A representação é de um combustível, que pode ser armazenado, transportado e gasto, impulsionador de objetos (vivos ou inanimados), regulador de todos os processos. Estas características da energia são baseadas em uma



ontologia de substância e de movimento, em alguns momentos até animista. Veja-se o caso dos doentes que são vistos “com pouco ânimo e energia reduzida”, ou no caso extremo de um morto onde há “uma perda completa da energia vital”. É um patamar que exprime, também, a visão cotidiana que se assume da noção de energia.

– *Empirismo Positivista*

Esta significação da energia pode ser localizada historicamente no período 1800-1842, relacionando-a estritamente aos processos de transformação e nela se constata uma visão estreitamente experiencial, não precedida por nenhuma racionalidade, ou em todo caso se dá uma cadeia de ações que desvaloriza o ato racional que neste processo pode ser necessário. É o caso das reiteradas experiências com o calorímetro na educação secundária ou universitária, em que, apesar do uso de relações que supostamente advêm de uma racionalidade, o ato mecânico no manejo do instrumento apaga toda ação racional anterior à medida.

– *Racionalismo Clássico*

Poderia ser localizada sua ocorrência histórica com o descobrimento da conservação da energia (1842-1847). Já não se vê a energia apenas como uma série de formas (mecânica, química, elétrica etc.) isoladas ou no máximo atreladas a um processo particular, mas sim relacionadas umas com outras segundo um axioma ou um princípio. Esse conceito de energia, através de sua conservação, leva concomitantemente à conservação do sistema, que é isolado. Assim sendo, não é possível estendê-lo ao Universo. Essa visão se dá no mundo dos absolutos e das certezas. É possível, a partir do conhecimento de um estado dado, definir a evolução de qualquer outro estado futuro ou passado. A representação desta evolução se exprime por meio de uma trajetória. O hamiltoniano clássico,  $H_{op}$ , que tem como valores próprios os valores de energia do sistema, é um invariante do movimento que exprime a energia total do sistema em termo das variáveis canônicas – posição  $q$  e momento  $p$  – e conserva um valor constante para toda a evolução dinâmica de um sistema isolado; mas por outro lado, por intermédio das equações canônicas, é a estrutura do hamiltoniano que determina a evolução de  $p$  e  $q$ ,

contendo ele mesmo a lei do movimento dinâmico. Lei que é invariante a mudanças de sentido do tempo, isto é, não diferencia futuro e passado. Os valores próprios de  $H_{op}$  são valores de energia contínuos. No caso particular de sistemas termodinâmicos, esta invariância de  $H_{op}$  se exprime por meio da primeira lei da termodinâmica:  $E = W + Q$ .

– *Racionalismo Relativista*

Como na dinâmica clássica, a energia transformada em um operador (que agindo sobre uma função de onda dá a equação de Schrödinger:  $H_{op} \psi = \frac{\hbar}{2\pi} \frac{d\psi}{dt}$ ), onde  $\psi$  é a

função própria do operador hamiltoniano,  $H_{op}$ , e seus valores próprios são os valores dos níveis de energia do sistema) desempenha um papel central na mecânica quântica.  $H_{op}$  dá por seus valores próprios os níveis de energia do sistema. Mas estes valores próprios são discretos. A equação de Schrödinger representa também a evolução temporal do sistema, mas tal qual no caso clássico é reversível em relação ao tempo, já que uma troca de  $t$  por  $-t$  só se traduz em uma mudança de  $\psi$  por sua conjugada  $\psi^*$ , de modo que o valor da probabilidade definida por ela,  $|\psi|^2$ , é essencialmente simétrico em relação ao tempo; assim também, devido a que os operadores correspondentes a  $q$  e  $p$  na mecânica quântica estão ligados pela relação de incerteza, são dependentes, de modo que a função de onda  $\psi$  só depende de um deles. A descrição estatística já não pode ser reduzida, e não podemos passar aos limites da trajetória clássica. A energia é uma função contínua quando se propaga, mas é discreta quando é emitida ou absorvida. Na fórmula de Planck, da Lei da irradiação térmica do corpo negro sob a forma

$$\rho = \frac{2\pi h^2}{c^2} \frac{1}{e^{\frac{h\nu}{kT}} - 1}$$

quantidade emitida ou absorvida é sempre um múltiplo inteiro de  $h\nu$ . A introdução do conceito de *quantum* amplia a visão dialetizada da natureza. Os *quanta* de energia permitem compreender a aritmética fundamental da matéria e da irradiação, e superar as visões estreitas dos modelos de onda e de partículas. Porém o conceito de energia recupera um sentido empírico; tem-se uma técnica que permite medir as transformações

moleculares, através da medida da frequência emitida, produzida por uma perturbação: a espectroscopia. Além disso, a energia se dialetiza, faz-se complexa, é Energia e é Massa. Eis a relação de Einstein ( $E= mc^2$ ).

– ***Racionalismo Discursivo***

Bachelard identifica nesta perspectiva uma conceituação que não podia ser explicada pela racionalidade clássica e que no momento de produzir a *Filosofia do Não* era estranha à mecânica relativística. Fundamentava-se na teoria quântica relativista do elétron livre formulada por Dirac. Teoria que prevê que os valores permitidos para a energia total relativista de um elétron livre podem ser negativos ou positivos. Identificando-se o elétron e o pósitron como os portadores, respectivamente, destas energias. Como já dito, os processos que envolvem a produção deste tipo de energia identificam-se como de produção e aniquilação de pares, que são processos onde os fótons, de radiações de alta energia, perdem sua energia na interação com a matéria, dando origem a pares de partículas com energias com signos opostos. Compreende-se esse tipo de partícula dentro da denominação genérica de antipartícula. O primeiro indício empírico destes processos foi obtido por Anderson ao pesquisar sobre raios cósmicos.

– ***Racionalismo Caótico***

A mecânica quântica e a mecânica clássica estão constituídas por leis deterministas e reversíveis em relação ao tempo. Sua formulação não admite nenhuma diferença entre passado e futuro. É o caso das leis de Newton e Schrödinger. Por exemplo, o salto quântico no modelo de Bohr, nos átomos excitados que vão de um estado excitado ao estado fundamental com a emissão de fótons, é um processo irreversível que não pode ser entendido por esse formalismo. Poderíamos interpretar, em resumo, a equação de Schrödinger, como uma representação onde os processos irreversíveis não têm lugar. Ainda mais quando sabemos que toda medida impõe sempre um elemento de irreversibilidade. Isto se torna mais complexo com o fato de que o processo de redução da função de onda ? a uma de suas componentes (**q** ou **p**) não é reversível. Em resumo,

esta irreversibilidade, física, no processo de interação, e formal, no processo de medida, leva à necessidade de substituir a restrição ao objeto ideal da teoria que gera equações que evoluem reversivelmente.

Propõem-se, então, novas equações para as mecânicas (Clássica e Quântica) que levem em conta a superação do paradoxo temporal. Prigogine afirma (1997, pp. 155-158) que, segundo a teoria dos conjuntos de Gibbs, um sistema está em equilíbrio quando a função de distribuição  $\rho$ , que lhe corresponde, expressa a mesma probabilidade de representá-lo em todos os pontos de uma dada superfície de energia. Segundo esta concepção, para que um sistema tenda para o equilíbrio, é preciso, portanto, que a conservação da energia constitua o único invariante de sua evolução: sejam quais forem as suas condições iniciais, sua evolução deve poder fazê-lo passar por qualquer dos pontos de igual energia. Ora, para um sistema integrável, a energia está longe de ser o único invariante. Quer dizer que o sistema, portanto, está restrito em seu movimento a uma fração muito pequena da superfície de energia constante. Daí que, para este tipo de sistemas, Prigogine propõe um requisito adicional, o da conservação das diferenças da energia, vistas em seus aspectos qualitativos. Isto é, não dá para considerar a aplicação universal do primeiro princípio sem levar em conta o tipo de processo (reversível ou irreversível) que está em jogo, dando o mesmo estatuto às energias dissipativas e não dissipativas.

Poderíamos sintetizar esta visão da energia afirmando que a conservação da energia é uma propriedade apenas de casos ideais, enquanto que a conservação das diferenças de energia é necessária a toda transformação, porque só uma diferença de energia pode produzir uma outra diferença. (Prigogine & Stengers, 1997, p. 240).

Assim, cada um destes componentes do perfil epistemológico compreende modos de leitura que configuram formas do dizer, em relação ao conceito de energia que o homem tem desenvolvido historicamente. Eles constituem, no dizer da ciência,

formações discursivas – FD<sup>as</sup> – diferenciadas quanto a formações imaginárias<sup>8</sup>, isto é, elas representam formações ideológicas diferentes no discurso da ciência, na discursividade da ciência. Estas FD<sup>as</sup> configuram uma interdiscursividade que se instala na aula pelo livro e pelo professor, via a metalinguagem da ciência e a apropriação do cientista, ou do conhecimento deste, pelo professor (Orlandi, 1996). Por meio do discurso pedagógico (DP) autoritário, que busca se dissimular em uma cientificidade neutra, dispõem-se estas FD<sup>as</sup> para funcionar na aula de maneira ahistórica; estas FD<sup>as</sup>, sob consenso, vão entrando no palco escolar – no currículo, mas sempre mantendo uma como “dominante”.

Além das categorias epistemológicas assinaladas, virão a integrar-se, ao perfil epistemológico, significações de nível mais ontológico para configurar o perfil conceitual,

próprio de cada sujeito, cuja consideração nas análises puderam nos permitir um estudo ordenado das significações expressas pelos alunos, das mediações dos textos divergentes em suas conceituações e das condições de produção envolvidas nas leituras em particular e no trabalho pedagógico realizado.

As perspectivas que conformam o perfil conceitual não só implicam um produto na significação de uma determinada noção, mas também implicam processos de pensamento próprios associados a cada uma dessas perspectivas; por exemplo, a racionalidade clássica não só dá a significação da energia através de um conjunto de idéias – ligada a processos, conservação, transformação etc. –, mas também implica uma determinada maneira, um processo, para apreender o mundo. Isto influenciou também na escolha da categoria de divergência em nosso trabalho, porque ela pressupõe compreender o processo de produção de conhecimento.

---

<sup>8</sup> As formações imaginárias designam representações dos lugares, em uma dada formação social, que cada sujeito atribui a si e aos outros. Estas formações não são “sujeitos” físicos nem lugares empíricos, como estão inscritos na sociedade, e que podem ser sociologicamente definíveis, mas suas imagens, que resultam da aplicação de regras de projeção do empírico social para o discurso. (Pêcheux, 1997).

#### **3.2.2.4. Construindo um perfil conceitual em relação a calor: uma perspectiva evolutiva bachelardiana**

Ainda que grande parte do desenvolvimento da noção de calor tenha estado, fatalmente, atrelado ao de energia, é possível identificar alguns eventos característicos da noção, pelo que, a seguir, daremos conta disso. A perspectiva em que se olha o desenvolvimento histórico do fenômeno da propagação do calor em sólidos, exposta na tese de doutorado de Bachelard (1927), auxilia-nos no desenvolvimento de uma estrutura de perfil epistemológico relacionada com o conceito de calor.

Até o século XVIII não se possuía um conceito do calor claramente diferenciado, não se havia distinguido, conceitualmente, a parte que designa os elementos materiais daquela que indica os elementos geométricos. Não se tinha claramente separados os papéis da radiação e da propagação. A temperatura e o termômetro não tinham uma relação conceitual clara, embora a ciência tivesse avançado com grande rapidez no desenvolvimento deste último. Acreditava-se que o calor era uma entidade que podia ser separada dos corpos onde ele “existia” e que um só parâmetro – a temperatura, ou mais concretamente a sua medida com o termômetro – bastava para caracterizá-lo. O “fenômeno térmico” aparecia como um problema do agente, não do meio. Tinha-se uma representação claramente sensorial desse fenômeno, apoiada na sensibilidade térmica do tato. Assim, essa significação do calor poderia ser situada num patamar realista-ingênuo ou, no máximo, no empirismo-positivista.

Do século XVIII até início do século XIX, os cientistas dedicaram-se, fundamentalmente no que diz respeito à significação dos fenômenos térmicos, a produzir conceitos claros e distintos neste campo, e também à produção de representações matemáticas que dessem luz a esses fenômenos. Nesse caminho destacam-se marcas de cientistas eminentes. É assim que Newton, em 1701, em seu trabalho “Scala graduum caloris et frigoris”, com base em um método cartesiano, apresentou suas duas leis – ou princípios hipotéticos – do esfriamento, nas quais expressava que a rapidez de esfriamento de um corpo é proporcional à diferença de temperatura entre o meio ambiente e o corpo, e à superfície do corpo, se este é esférico. Embora não se

distinguissem os conceitos de quantidade de calor e de calor específico; quer dizer, não se diferenciavam, ainda, nessa significação os elementos geométrico e material. Newton apresenta o problema do calor como um problema do agente e não do meio. Richmann em seu trabalho “De quantitate caloris, quæ post miscelam fluidorum certo gradu calidorum oriri debet, cogitationes”, em 1747, operando com substâncias isoladas, possibilitou a emergência do conceito de quantidade de calor, embora se mantivesse nele a confusão entre o elemento geométrico – volume – e o elemento material – massa –, quando insistia em que os recipientes e os termômetros têm uma influência nas trocas caloríficas; dessa maneira a massa é assumida unicamente como uma medida cômoda do volume do líquido. Lambert, no enunciado de uma terceira lei do esfriamento, compreendeu o papel exato da capacidade específica de diferentes corpos em relação ao calor. Ele desvelou o papel da massa nos efeitos caloríficos, isto é, intuiu-se que dois corpos da mesma massa, mas de natureza diferente reagem diferentemente à mesma quantidade de calor. Se bem que ele continuasse achando que a potência calorífica é mais um efeito do agente que do meio. Ainda assim, um aspecto primordial do fenômeno foi resgatado, a solidariedade do agente calorífico e do meio. Diversos trabalhos empíricos, na segunda metade do século XVIII, sobre a fusão do gelo e a transmissão do calor entre corpos de naturezas diferentes, realizados entre outros por Wilke, Fahrenheit, Irvine, Crawford, facilitaram que Joseph Black, a partir de 1760, tivesse compreendido o princípio da calorimetria; assim, pois, seu mérito é ter proposto os conceitos – calor específico, calor latente – em apoio às medidas, fazer uma clara distinção entre quantidade de calor e temperatura e apresentar a lei da conservação do calor (1804). É de destacar que Black acreditava em uma idéia substancialista do calor. Seja como for, com Black, chega-se a elucidar historicamente diversos conceitos que estão relacionados com o problema da condução térmica. Mas esse estudo da conceituação constitui unicamente uma morfologia, que só fixa um vocabulário. Era necessária, ainda, uma síntese para relacionar os conceitos e descrever a experiência.

Cavendish (1731-1810), ainda que um dos grandes químicos inventores de seu tempo, rejeitava a expressão calor latente. Preferia falar da produção de calor quando o vapor se condensa. Eis uma expressão que não tem concordância com a noção de que o

calor é uma matéria. Ele objetava ao termo usado por Black, argumentando que este termo se refere a uma hipótese que se apoia na afirmação de o calor dos corpos ser devido a uma quantidade mais ou menos grande de uma substância chamada a matéria do calor, neles contida; e, acrescentava Cavendish, que ele acreditava mais na opinião de Sir Isaac Newton, que o calor consiste no movimento interior de partículas dos corpos. No início do século XIX, Socquet, sob o pretexto de precisar a nomenclatura e, por consequência, classificar os efeitos, propôs distinguir quatro ou cinco espécies de calóricos. Designou esses calóricos de: atmosférico, radiante, de capacidade, de composição e de temperatura. Esta sistemática do calórico estabelece a relação dos fenômenos térmicos com outros fenômenos físicos, p. ex. os fenômenos mecânicos. Lavoisier, em 1793, serviu-se igualmente da analogia da porosidade de diferentes corpos a respeito da água, para explicar a capacidade dos corpos de conter a matéria do calor. Isto é, para ele o calor é uma substância, um fluido.

Apesar da precisão dos conceitos, relacionados com o calor, alcançada neste período, ainda que a linguagem fosse mais claramente definida e precisa, alcançou-se o século XIX sem ter-se tentado uma verdadeira relação matemática dos fenômenos térmicos (Bachelard, 1927). Assim também, para esse momento, tinha-se uma coexistência de hipóteses referentes à natureza do calor. Embora existisse uma preferência em favor de uma verdadeira teoria cinética, a idéia do fluido não era rejeitada.

Biot, em seu trabalho “Traité de Physique”, 1816, propôs-se a tarefa de estudar e medir o fenômeno do “calórico” como um fenômeno de conjunto claramente distinto de outros, como a luz da flama. Desse modo, a temperatura adquire uma clara diferenciação, como o tradutor da energia do calórico. Apoiando-se cuidadosamente nos fenômenos – em contato com a realidade experimental – estabeleceu a lei de transmissão calorífica,

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - bu,$$



onde  $u$  é a temperatura,  $x$  a distância à fonte e  $t$  o tempo de esfriamento,  $a$  e  $b$  são coeficientes relacionados com o esfriamento interno e externo. Considerando condições de contorno, Biot encontra a solução dessa equação como  $u = Ue^{-x\sqrt{\frac{b}{a}}}$ ; foi essa a equação que Biot estudou experimentalmente. Dessa maneira, para Biot, os princípios não eram idéias *a priori*, mas fatos gerais. Assim, para ele, o calórico era só um termo geral e não uma hipótese que determina uma reconstrução ideal do fenômeno, estando o cálculo intrinsecamente ligado à experiência. O experimento de Biot será profusamente utilizado no século XIX por diversos cientistas (Despretz, Langberg, Wiedemann e Franz, entre outros) no intuito de superar suas imperfeições.

Tem-se, assim, neste conjunto de trabalhos, marcas que dizem da racionalidade que orienta o pensamento destes cientistas em relação ao tema calor, ou seja, uma racionalidade que pode ser caracterizada como empírico-positivista.

No século XIX e primeira metade do século XX, destaca-se uma racionalidade positiva marcada em grande medida pela mecânica clássica, ainda que em alguns casos existam com ela claros distanciamentos em relação a considerar a termodinâmica como um campo até divergente da mecânica newtoniana. Enlace que termina se impondo, como foi dito alhures, com a síntese newtoniana e principalmente com o princípio de conservação da energia. Marcam este período os trabalhos de Fourier, Comte, Poisson, Duhamel, Sénarmont, Lamé, Voigt, Mitscherlich, Pfaff, Schulze, Regnault, Edouard e Jannettaz, entre outros.

Fourier, em vários trabalhos, realizados entre 1807 e 1822, destacava o calor como uma quantidade inteiramente geral que afeta as substâncias tal como o faz a gravidade. Em relação a isto, Bachelard (1927) afirma que:

A doutrina de Fourier é muito clara nesse respeito. “Seja qual for a extensão das teorias mecânicas, elas não se aplicam aos efeitos do calor, eles compõem um ordem especial de fenômenos que não se pode explicar pelos princípios do movimento e do equilíbrio”<sup>9</sup>. Razão profunda para só ver na doutrina de Fourier um cantão

---

<sup>9</sup> Fourier, *Œuvres complètes*, t. I, p. XVI, apud Bachelard, 1927.

científico cujo conhecimento, pode-se conjecturar, não se unia a uma doutrina geral. (p. 34)

Em relação à propagação térmica, Fourier na “Théorie analytique de la chaleur”<sup>10</sup> trata inúmeros casos particulares (anel, esfera, cubo, prisma etc) antes de abordar o caso geral. Ele representa a propagação do calor no interior dos corpos sólidos isotrópicos, pela equação:

$$CD \frac{\partial u}{\partial t} = -k \left\{ \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right\},$$

onde **C** e **D** são, respectivamente, o calor específico e a densidade do sólido. Essa expressão está, como se sabe, entre as equações mais importantes da física matemática. A solução do problema implicado nessa equação conduziu a uma das mais belas e mais fecundas descobertas da análise matemática moderna; trata-se do desenvolvimento em série das funções descontínuas. Segundo Bachelard (1927), a obra de Fourier conduz verdadeiramente à matemática do positivismo.

Nesta ordem de problemas, da propagação do calor em sólidos, destacam-se, também, em alguns casos com outros vieses, os seguintes trabalhos:

1) Comte encarou o problema da propagação térmica na “parede” e comparou a sua solução, particularmente simples, com a teoria do movimento uniforme em mecânica racional. Ele analisou as implicações dos estados variável (função do tempo) e de regime (permanente ou constante no tempo) que são consequência da equação geral de Fourier; para A. Comte o caráter da positividade é, precisamente, essa racionalidade pela qual a experiência se revela inteiramente adaptável às matemáticas; o principal, para ele, é não alcançar o ponto de partida sem razão. Dessa maneira ele deu grande importância à avaliação matemática, o que parece ter sido uma intuição particularmente profunda da funcionalidade física e matemática.

2) Poisson com sua “Teoria matemática do calor”, surgida em 1835 e que se apoia

---

<sup>10</sup> Bachelard, 1927

num sistema dedutivo, assegurado de uma verossimilitude preliminar, pela simplicidade da hipótese que assume, achou uma legitimação na conformidade de suas conclusões com a experiência. Ele descartou, sem discussão, a teoria que atribui os fenômenos caloríficos “às pequenas vibrações de um fluido inerte”, simplesmente porque os razoamentos que se puderam fazer para justificá-la são muitos vagos e muito pouco concludentes para servir de base à análise matemática; ele preferiu, portanto, a teoria mais antiga do calórico que conduz, por deduções rigorosas, a resultados conformes à observação. Poisson, seguiu um desenvolvimento complexo que nos livrou ao fim, com uma grande segurança, de todos os casos simples (Bachelard, op. cit.)

3) Duhamel, Sénarmont e Lamé realizaram trabalhos em relação à condutividade em meios cristalinos. Duhamel<sup>11</sup> desenvolveu matematicamente a mesma hipótese que Poisson, essa da radiação molecular a distâncias muito pequenas, mas tendo em conta a possibilidade de anisotropia. Assim, a radiação deve depender não somente da natureza, mas ainda da forma e do arranjo das moléculas. Como todos os cientistas da era positivista, Duhamel declarou, antes de tudo, afastar toda hipótese no princípio do calor, isto é, em supor *a priori* que o calor é um fluido material ou é energia. Seguindo um método idêntico ao de Fourier, chega à equação mais completa:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{q} \left( A \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + C \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + 2D \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + 2E \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial z} + 2F \frac{\partial^2 u}{\partial y \partial z} \right),$$

onde  $q$  é o calor específico definido não em função da massa mas do volume e as constantes  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ,  $E$ ,  $F$  dependem por sua vez da lei  $F(p, \theta, \theta, \theta)$  de variação da condutividade com as direções  $(\theta, \theta, \theta)$  escolhidas para os eixos de coordenadas. Os primeiros trabalhos experimentais de Sénarmont sobre a condutividade das substâncias cristalizadas pelo calor datam de 1847. Esses trabalhos determinaram, sem dúvida, que Duhamel voltasse a suas primeiras pesquisas. Ele publicou em 1848 uma nota “sobre a propagação do calor em cristais”<sup>12</sup>. A teoria matemática do calor experimentou um

<sup>11</sup> *Journal de l'Ecole Polytech.*, 1832, t. XIII, p. 326 e seguintes, apud Bachelard, op. cit.

<sup>12</sup> Idem, cah. XXXII, p. 155, apud Bachelard, op. cit.

profundo desenvolvimento com os aportes de Lamé. Ele enriqueceu os meios de análise do problema com sua concepção dos elipsóides de condutividade e atraindo a atenção para superfícies isotermas – superfícies de segundo grau ou cônicas –, com o intuito de descrever os fluxos de calor nos meios cristalinos<sup>13</sup>. Assim, também, ele introduz a temperatura como uma variável implícita no coeficiente de condutividade angular.

4) Um conjunto de pesquisas experimentais, realizadas entre a segunda metade do século XIX e início do século XX em meios cristalinos, complementam as pesquisas teóricas realizadas por Lamé, Duhamel, e outros, e permitem superar os limites devido à falta de precisão das pesquisas sobre a condutividade em substâncias amorfas, e de outra parte, a natureza da temperatura necessariamente relacionada com a massa. São exemplos: os trabalhos de Sénarmont, Voigt, Mitscherlich, Pfaff, Schulze, Regnault, Edouard Jannettaz e Paul Jannettaz.

5) A influência da temperatura na difração de raios X causada pela rede cristalina foi já tomada em consideração por Debye e por Darwin. Daí, se entrevê, como disse Sir William Bragg no prefácio de seu livro<sup>14</sup>, como os movimentos devidos à agitação térmica dos átomos poderão ser medidos.

Na segunda metade do século XIX (1840), emerge a intuição cinética, mais formalmente, na teoria matemática do calor; assim buscou-se explicar o calor em todos os seus efeitos, em seus detalhes e também em suas leis de conjunto, pelo movimento da matéria. Joseph Boussinesq foi um dos que mais contribuíram nesta direção.

Assim, têm-se teoria e experiência em uma dependência histórica manifesta. Este conjunto de obras, ainda que com diferenças epistemológicas importantes, definem um patamar Racionalista Clássico (positivo).

Integra-se a este desenvolvimento da noção de calor a descrição que já fizemos em relação à dissipação da energia, aos processos irreversíveis – compreendidos na

---

<sup>13</sup> *Théorie analytique de la Chaleur*, t. I, p. 73, apud Bachelard, op. cit.

<sup>14</sup> *X-Rays and Crystal Structure*.

termodinâmica clássica –, à física dos fenômenos complexos e à termodinâmica dos sistemas instáveis. O que nos possibilita definir um perfil epistemológico do conceito de calor integrado pelas racionalidades: realismo-ingênuo, empirismo-positivista, racionalismo clássico, racionalismo caótico.

### **3.2.2.5. O desenvolvimento de conceitos científicos no indivíduo: a perspectiva histórico-cultural**

Parece surpreendente que a ciência da Psicologia tenha evitado a idéia de que muitos processos mentais sejam sócio-históricos em sua origem, ou de que manifestações importantes da consciência humana tenham sido diretamente formadas pelas práticas básicas da atividade humana e pelas formas da cultura existentes.

Alexander R. Luria

Recorremos, no aspecto da subjetividade – que dá conta dos processos inter e intrapessoais e das relações entre estes – encarada no momento de estudar o desenvolvimento dos conceitos da ciência em indivíduos, a um ponto de vista que considera como essencial a historicidade e o caráter cultural do trabalho educativo. Encontramos em Vygotski (1993, 2000) algumas noções que nos permitiram compreender, na perspectiva mencionada, alguns dos dados encontrados na atividade experimental. São elas as idéias de mediação social no processo de ensino e de intermediação entre os conhecimentos cotidianos ou menos elaborados e os conhecimentos científicos mais complexos. Ainda que a base experimental dos trabalhos de Vygotski e de outros pesquisadores da corrente histórico-cultural esteja referida a crianças ou adultos pouco ou não escolarizados, a transposição das noções acima citadas permitiu-nos um olhar coerente com a base empírica que é objeto de nossa pesquisa, isto é, alunos universitários de áreas das ciências naturais.

A necessidade de compreender os distintos movimentos discursivos que se produzem nos alunos na sala de aula, assim como a relação destes movimentos com as posições e deslocamentos dos sujeitos participantes diretos na atividade de aula – alunos, professor, pesquisador – e com o discurso dos outros sujeitos – cientistas/ autores, a memória, o discurso da ciência –, e a relação destes discursos/sujeitos com o processo de

desenvolvimento conceitual que se produz nos alunos levaram-nos a reconhecer na perspectiva histórico-cultural uma base conceitual adequada para a compreensão do problema definido. Já que ela não restringe o olhar do desenvolvimento cultural dos alunos na área específica que pretendemos entender, ao limite do indivíduo isolado, mas como um sujeito dinamicamente conectado e histórico, cultural, socialmente afetado por uma complexa rede de condicionantes “externa” a ele.

### **A noção de mediação em Vygotski**

A partir de diversas pesquisas no campo da formação de conceitos, assinala Vygotski (1993, p. 184), entre outras, as seguintes características desse processo: o conceito não é simplesmente um conjunto de associações que se assimilam com a ajuda da memória, mas um autêntico e complexo ato de pensamento, que faz necessário, para seu domínio, um alto nível de pensamento que permita que o conceito possa se elaborar na consciência. Assim também, em qualquer grau de desenvolvimento, o conceito é, de uma perspectiva psicológica, um ato de generalização. Outra característica de base é que os conceitos, representados psicologicamente como significados das palavras, desenvolvem-se através da evolução de uma estrutura de generalização a outra. A partir destas perspectivas teóricas e com base em suas pesquisas (idem, p. 199), ele chama a atenção em relação à necessidade de um sistema conceitual previamente elaborado que medeia o conceito científico mais complexo e o mundo dos objetos. Neste ponto de vista o sistema dos conceitos científicos só pode ser assimilado também através de um mesmo tipo de relação mediada com o mundo por conceitos, menos complexos, previamente elaborados. Mas estes conceitos previamente elaborados são influenciados pelos conceitos científicos (p. 194), já uns e outros não estão encapsulados, isolados, na consciência do aluno. Há aí uma espécie de “circularidade” no desenvolvimento desses conceitos. Ainda que Vygotski restrinja esta relação de “crescimento” conceitual a conceitos cotidianos e conceitos científicos, parece plausível considerar que uma relação da mesma natureza se estabelece entre as distintas significações que, para uma dada noção, a ciência tem construído ao longo da história humana.

No caso dos estudantes participantes em nossa pesquisa, compreendemo-los como

indivíduos com um desenvolvimento conceitual da energia muito perto daquele que estaria no ápice do desenvolvimento conceitual que constitui a síntese atual da física, mas eles também têm conceituações com um menor nível de elaboração, constituindo-se neles um perfil conceitual da energia.

Há também outra perspectiva de mediação destacada por Vygotski, a qual se refere à necessidade do outro – professor, colega – em uma relação discursiva, para o desenvolvimento cognitivo. Para Vygotski, o desenvolvimento do conceito científico é de caráter social e se produz nas condições do processo de instrução, que constitui uma forma singular de cooperação sistemática do pedagogo com o aluno. Nesse sentido ele sinaliza que “todo o desenvolvimento cultural passa por três estágios: **em si, para outros, para si**” (2000, p. 24). No caso do desenvolvimento de conceitos científicos, antes de tudo deve existir uma relação significante entre o conceito – a palavra – e a “coisa”, deve existir uma ligação objetiva, depois a palavra adquire um significado nas relações sociais, como categoria interpessoal e, finalmente, a pessoa se apropria da palavra, re-significando-a intrapessoalmente.

Este singular processo de cooperação, intersubjetivo, que é o aspecto crucial do processo de instrução, assim como os conhecimentos sistematicamente construídos pelas diversas áreas do saber são afetados pelas condições nas quais o processo se realiza. A apropriação pelo aluno dos conhecimentos socialmente construídos não é direta, mas mediada pelo conjunto complexo de mediações que realizam o professor e outras pessoas participantes no processo de instrução na sala de aula. O simples enunciado de um conceito não é suficiente para a total apropriação deste pelo aluno, pontes complexas têm que ser estabelecidas para que isto ocorra, mesmo no nível de educação que nos preocupa nesta pesquisa.

Como foi dito nos primórdios deste capítulo, “Vygotski não chegou a explorar a dinâmica e o funcionamento social da palavra” (Smolka, 2000, p. 64), o que obriga à busca em outros referenciais para “interpretar Vygotski”, segundo as palavras de Morato (2000, p. 152). O conhecimento derivado da mediação semiótica, que é tão cara a Vygotski, só é possível trabalhando-se a significação, a procura de sentidos, a

interpretação, para o que evidenciar as condições de produção é absolutamente necessário; como diz Pêcheux, “o sentido (...) é determinado pelas posições ideológicas que estão em jogo no processo sócio-histórico no qual as palavras, expressões e proposições são produzidas” (1995, p. 160). Daí que a análise de discurso pode se “irmanar” a essa perspectiva psicológica e mover-se nos entremeios para auxiliar na significação.

### 3.2.2.6. A Análise de Discurso

Num espaço discursivo considerado, o sentido não é algo estável, que poderia ser relacionado a uma posição absoluta, mas se constrói no intervalo entre as posições enunciativas. A “incompreensão”, resultante do mal-entendido e do malogro ocasionais, se transforma em “interincompreensão” porque obedece as regras e *estas regras são as mesmas que definem a identidade das formações discursivas consideradas*. Dito de outra forma, o sentido aqui é um mal-entendido sistemático e constitutivo do espaço discursivo.

Dominique Maingueneau.

A consideração de que os processos científicos e educativos são, em grande medida, atividades de discurso leva-nos a enfrentar a necessidade de uma fundamentação teórica neste campo, assim como também nos leva a adotar métodos de pesquisa de acordo com essa idéia. Neste sentido, a Análise do Discurso (AD) compreende um método de pesquisa adequado. Para sustentar a afirmação anterior, parece-nos necessário tornar explícitas as características epistemológicas relacionadas a ela (AD). A modesta revisão bibliográfica, que a respeito temos feito, leva-nos a considerar que, das diferentes versões da AD, a versão francesa, como é divulgada em trabalhos de Pêcheux (1990, 1995) e na acepção de Orlandi (1996, 1996a, 1996b, 1999), parece-nos a mais conveniente, pela coerência com os pressupostos ontológicos por nós compartilhados. Com a intenção de nos aproximarmos da AD vamos desenvolver algumas questões que a caracterizam, como por exemplo: qual é seu domínio, o que estuda, qual é seu objeto?

Começemos por reconhecer que não há uma relação “direta” entre o homem e o mundo. Isto é, o mundo não é óbvio, não é transparente para o homem. Na busca de



conhecimento do mundo, da natureza e, dentro dela, do próprio homem, é necessário dar significado, já que o mundo não se nos apresenta com significação explícita. Igual coisa acontece entre o pensamento que o homem tem do mundo e a linguagem de que ele faz uso para a comunicação de tal pensamento. A partir disso emerge a necessidade da noção de discurso para mediar estas relações entre linguagem/pensamento/mundo (Orlandi, 1996a, p. 12). Esta mediação é a que permite um melhor entendimento da relação entre essas três esferas, porque o discurso é uma instância material (concreta) dessa relação (ibidem).

Assim, Orlandi afirma que a AD, à diferença da lingüística tradicional, trata não só dos produtos dos fenômenos lingüísticos, mas também, e fundamentalmente, dos processos de constituição destes fenômenos (idem, 1996b, p. 17). Eis onde a análise do discurso estabelece como proposta básica considerar como primordial a relação da linguagem com a exterioridade, quer dizer com as condições de produção do discurso. Importa à AD dar resposta às questões seguintes: Qual é a relação entre o falante e o ouvinte? Qual o contexto no qual o falante fala e o ouvinte ouve? Como o contexto é atravessado pelo histórico e pelo ideológico (o social)?

Essas condições de produção, quanto à relação falante-texto, estão representadas por *formações imaginárias* (Pêcheux, 1990), isto é, pela imagem que o falante tem de si próprio e de seu ouvinte – a qual constitui o sujeito virtual do falante – (Orlandi, 1996). Assim também, na AD, consideram-se as condições nas quais se estabelece a relação ouvinte-texto, o que desenvolve o discurso nessas dadas condições de produção.

Uma outra característica distintiva da AD se localiza em seu objeto de estudo; as *formações discursivas* – FD<sup>as</sup> – constituem, de forma satisfatória, seus objetos de estudo (Maingueneau, 1997, p. 14).

A AD pode ser entendida como uma expressão crítica da lingüística que produz um deslocamento em seu espaço de conhecimento, que é diferente do espaço da lingüística Formalista – Gerativista –, Etnolingüística – Sociolingüística – e da Fala – Teoria da Enunciação Conversacional. Vemos, também, que esta nova “expressão” da

lingüística desenvolvida pela teoria crítica, que orienta a AD, ocupa, segundo Orlandi (1996a, pp. 23-35), um espaço que vai além da própria lingüística e, também, da sociologia. A AD se constitui, assim, a partir dos anos de 1960, em uma disciplina de intermeio (ibidem). Esta condição leva a considerar a AD como uma disciplina não “positiva”, na qual não só se produz conhecimento, mas também cujos pressupostos são continuamente discutidos (ibidem).

Identificam-se duas teorias sobre a AD. Uma confinada na interioridade da língua, só que prolongando a análise das unidades – a frase – para a dos enunciados, e outra onde o falante se apropria do aparelho formal da língua e vai à procura dos significados e do papel da exterioridade nesta significação. A primeira, a linha americana, está incorporada no campo da lingüística sem fugir desta; a outra, a linha francesa, irrompe e foge para a fala e os sentidos que nela se desabrocham sem deixar a língua. Para a Análise de Discurso Americana, o texto é uma frase longa; para a Análise de Discurso Francesa, o domínio é o discurso com suas significações que advêm das suas condições de produção.

Na versão européia – francesa – da AD, a mudança no espaço – ou unidade – de análise vem acompanhada por uma mudança do objeto, da teoria e do método. Na AD francesa, o objeto já não é apenas o texto isolado, mas a relação deste com a exterioridade. Relação que permite ou promove a interpretação do texto com a finalidade de encontrar significado. Significado e interpretação que estão ideológica e historicamente determinados.

Quando no início deste capítulo discutíamos a categoria de divergência fundamentada na noção de significação, afirmava que a necessidade de significação – e de interpretação – é consequência de não-coincidências: interlocutiva entre sujeitos não-simetrizáveis; do discurso consigo mesmo, pelo efeito da interdiscursividade; das palavras consigo mesmas, pelos efeitos de sentidos pela polissemia, pela homonímia etc.; e entre as palavras e as coisas (Authier-Revuz, 1997). Afirmamos também que isto falava em relação à heterogeneidade do discurso que durante seu funcionamento se expressa, gerando uma espessura na atribuição de sentido na/da enunciação.

Heterogeneidade que fala da possibilidade de que um dado locutor durante um processo discursivo, seja qual for, desdobre-se e expressa diferentes FD<sup>as</sup> e *diferentes formas de ver o mundo*, como indicamos (p. 40) que era expresso por Mortimer (1994, 33) a respeito da postura epistemológica de Bachelard.

Esta heterogeneidade, que é de fato constitutiva do discurso, é apresentada por Maingueneau (1997) como se efetivando em dois planos diversos, uma heterogeneidade que incide sobre manifestações explícitas – polifonia, pressuposição, negação, parafrase<sup>15</sup>, discursos relatados, operação metadiscursiva, ironia etc. – recuperáveis por meio de fontes de enunciação, e outra que, diferentemente da primeira, não é marcada na superfície da enunciação, mas é definível pela AD mediante um trabalho de formulação de hipótese, no interdiscurso, a propósito da constituição de FD<sup>as</sup>.

### O que são as condições de produção do discurso?

Já que as condições de produção do discurso constituem um aspecto central na AD que pretendemos desenvolver neste trabalho, consideramos necessária uma abordagem mais aprimorada desta noção. Começamos colocando o que a esse respeito assume Pêcheux (1990) e em seguida vamos, com a ajuda de Orlandi (1996, 1996b, 1999), fazer uma aplicação das condições no espaço do ensino e mais concretamente na produção da leitura.

Pêcheux (op. cit.), deslocando-se do tradicional e já conhecido esquema “informacional”, derivado de teorias sociológicas e psicológicas da comunicação ou da teoria da informação<sup>16</sup> – que considera os meios como sendo neutros, para uma perspectiva materialista do discurso, afirma que o que se transmite entre os sujeitos

<sup>15</sup> Palavra tomada de (Maingueneau, 1997, p. 95), a qual o tradutor, em N.T., significa como “Do francês *paraphrasage*, consiste na forma nominal que indica o ato, o processo envolvido na paráfrase, enquanto esta última remete ao produto acabado”.

<sup>16</sup> Nas quais a comunicação é representada  $\begin{matrix} ? \\ ? \end{matrix} A ? \begin{matrix} D, L, R \\ ? \end{matrix} B \begin{matrix} ? \\ ? \end{matrix}$  como uma relação entre emissor/receptor (A/B), que se gera por meio de uma seqüência verbal (D) emitida do emissor ao receptor, através de um canal físico (?), mediante um código lingüístico (L) comum, em um contexto de comunicação (R) que é suscetível de ser decodificado pelo receptor.

interlocutores não é necessariamente informação (1990), mas *efeitos de sentidos*. Esses *efeitos* estão relacionados com as posições ocupadas pelos sujeitos no processo discursivo. Essas posições estão *representadas* pelos sujeitos, pelo que estão transformadas ainda que presentes, daí que não são traços objetivos, mas formações imaginárias, desses lugares, atribuídas por eles mesmos e os outros. Assim também, existem *regras de projeção*, objetivamente definíveis, que relacionam as situações e as posições que são representações dessas situações. Estas formações imaginárias e regras

de projeção, que não representam necessariamente visões de mundo, projetam-se para dentro do discurso, configurando as chamadas formações discursivas – FD – que, como afirmado por Maingueneau (1997), não devem ser entendidas como blocos compactos que se oporiam a outros, mas como uma realidade “heterogênea por si mesma”. Sob este ponto de vista se constituem as condições de produção como um vetor configurado com as representações ou formações, isto é, com as formações que cada um dos sujeitos do discurso tem da posição ocupada pelo outro, e do contexto. Assim, também, as condições de produção são resultado de processos discursivos anteriores, devido a outras condições de produção que já “não funcionam”, são os efeitos de memória, o interdiscurso, quer dizer, o já dito e ouvido funciona como outro discurso no processo discursivo. Daí que, como estas formações imaginárias são atravessadas pela ideologia, as condições de produção e, portanto, o próprio processo discursivo são ideológicos e históricos.

As condições de produção, segundo Orlandi,

(...) compreendem fundamentalmente os sujeitos e a situação. Também a memória faz parte da produção do discurso (...) Podemos considerar as condições de produção em sentido estrito e temos as circunstâncias da enunciação: é o contexto imediato. E se as consideramos em sentido amplo, as condições de produção incluem o contexto sócio-histórico, ideológico (...) E, finalmente, entra a história (...) Todos esses sentidos já ditos por alguém, em algum lugar em outros momentos, mesmo muito distante ... (1999, pp. 30-31).

**Quanto à leitura, quais são suas condições de produção?**

Orlandi (1996, pp. 193-203; 1996b, pp. 85-94), assinala que a leitura, considerada produzida e produtora de sentidos, está regulada por condições de produção. Mas dado que o texto, em relação ao leitor e também ao autor, é uma produção inacabada, incompleta, já que sempre são possíveis novas leituras, novos sentidos, que estão relacionados com as condições de produção daquela nova leitura possível, faz-se necessário levar em conta essas condições de produção, que permitam inferir, compreender essas outras leituras.

Os implícitos no texto são reveladores da sua incompletude. Entre estes implícitos estão aqueles que derivam da intertextualidade e da interdiscursividade. Quer dizer, em relação à intertextualidade, que todo texto tem sua origem em outro texto e vai falar de outro texto futuro, há uma relação de sentidos entre textos conhecidos, daí que, todo texto é em essência um mediador de um texto que já existiu e outro que virá a ser (*idem*); assim a leitura entendida como produtora de significado depende da história de leitura da pessoa, e, como toda pessoa tem uma história de leitura, isto condiciona que um texto seja lido de uma maneira e não de outra em relação a essas leituras feitas ou não (1996b, p. 87). Com respeito à interdiscursividade, refere-se à relação com um conhecimento que não se sabe de onde veio, um saber que se instalou, que vem do social, que configura a memória da ciência, conhecimentos que fazem parte das objetivações genéricas que se configuram na ciência, na estética e na ética, que viraram herança e se conformam como ideologia. Todos nós temos uma leitura do mundo, da sociedade em que estamos e, quando escrevemos ou lemos, essa leitura perpassa no texto que escrevemos e na leitura que realizamos (Michinel e Freitas, 1999). Deste modo, uma condição de leitura que sempre está presente é a nossa visão de mundo, a nossa ontologia. Outra condição relacionada com a interdiscursividade advém daquilo que podia ser dito naquelas mesmas condições de produção e não foi dito, isto é, a paráfrase do dito. Eis a necessidade de identificar as condições de produção para que a paráfrase, o implícito, o pressuposto, o subentendido se diga (Orlandi, 1996, p. 195). O contexto sócio-histórico condiciona a leitura (*idem*, 1996b, p. 86), leituras que são possíveis em determinadas épocas não são feitas, ou determinadas condições em um dado momento possibilitam certas leituras.

### 3.3. Aspectos Metodológicos

Começamos por dizer que esta pesquisa está fundamentada em uma proposta de trabalho pedagógico que consiste em colocar no espaço da aula um conjunto de FD<sup>as</sup> divergentes em relação aos temas energia e calor, via a leitura e discussão de textos que contêm formações discursivas – FD<sup>as</sup> –, e sob certas condições de produção estimular processos de re-significações conceituais.

Entendendo que esta pesquisa tem como limite o estudo de conceitos, no caso particular de energia, com estudantes universitários, propusemo-nos a desenvolver uma metodologia que levasse em conta os seguintes aspectos:

- 1) estudar o problema do estatuto conceitual em estudantes universitários de cursos de física e
- 2) ter propósitos de ação educativa, em relação com a sala de aula.

Daí que, reconhecendo a leitura como uma práxis que nos permite dispor de discursos de autores, cientistas ou não, que expressam o estado de conceituação de uma determinada área do conhecimento científico, temos a oportunidade de pôr em funcionamento (Orlandi, 1996, pp. 115-134) leituras que temos definido como divergentes, por expressarem posições, ontológicas ou epistemológicas, diferentes em relação a um dado conceito, ou por se “deslocarem” diante deste conceito ainda no mesmo estatuto, e avaliar esse funcionamento a fim de obter informações relativas às conceituações dos estudantes, sujeitos da pesquisa, e dos possíveis fatores que condicionam um determinado estado de conceituação de estudantes universitários afins à população por nós estudada. Mais explicitamente, as leituras divergentes apresentam posturas epistemológicas ou ontológicas diferentes em relação à ciência ou à sua educação, assim como em relação ao papel que é dado à atividade experimental, a história das ciências etc., no processo de ensino.

Por outro lado, reconhecendo o afirmado por Lüdke e André (1988, p. 3), que poucos fenômenos na área da educação podem ser submetidos a abordagens de tipo

analítico, pois nestas as coisas acontecem de maneira tão inextricável que fica difícil isolar as variáveis envolvidas e, mais ainda, apontar claramente quais são as responsáveis por um determinado efeito, assumimos que o método de pesquisa a ser desenvolvido para atingir o entendimento do problema que temos nos proposto é o de uma abordagem qualitativa, que tente manter as condições naturais da sala de aula, que leve em conta a mutabilidade dos fatos educacionais e a nossa necessária implicação com o objeto de pesquisa durante a ação de investigação. Tem características da pesquisa etnográfica, já que visa a descrição de um sistema de significados culturais de um determinado grupo (idem, p. 14) e envolve uma preocupação em pensar o ensino dentro de um contexto cultural amplo (Wolcott, 1975). Além do que, devido à organização da pesquisa, o pesquisador permanece em relação com os pesquisados um tempo razoavelmente longo.

### 3.3.1. Em relação às condições de produção

As condições de produção da leitura são consideradas em duas ordens de olhar (Orlandi, 1999). Uma primeira ordem, mais restrita, que admite aquelas condições mais imediatamente relacionadas com as circunstâncias da enunciação, com cada aula, e que envolve as condições da leitura particular, assim como das outras atividades a desenvolver no espaço da sala de aula naquele momento. E uma segunda ordem, mais ampla que condiciona a produção de leitura em geral naquela turma, em seu contexto sócio-histórico, ideológico. Neste trabalho olho para as condições de produção de um outro plano, que tem relação com a forma como podem ser reconhecidas; deste ponto de vista tenho *condições de produção prévias que possibilitam a práxis de leitura*, que podem ser identificadas antes do próprio trabalho com os alunos, como por exemplo: tipos de textos, sua caracterização, característica do curso e das turmas etc., e *condições de produção que emergem da práxis de leitura* referidas ao ato mesmo de leitura e a outras atividades que “*a posteriori*” afetam-na, por exemplo as mediações que se estabelecem durante a discussão dos textos ou as condições de leitura dos textos divergentes, vistas estas condições através do interesse dos próprios alunos, e às quais faço referência mais à frente.

### 3.3.2. Em relação ao processo

Colocamos em funcionamento um conjunto de leituras divergentes, relacionadas com o tema energia, com estudantes das licenciaturas em física. Com este propósito foram escolhidas três das disciplinas do programa de licenciatura em física, ministradas no 2º semestre de 1999 e outra no 2º semestre de 2000 em uma universidade estadual do Estado de São Paulo, com um total de 54 estudantes, como está resumido no Quadro 1.

**Quadro 1. Distribuição de estudantes por disciplina e por sexo**

<b>Disciplina</b>	<b>Ano</b>	<b>Código</b>	<b>Número de Estudantes</b>	<b>Homens</b>	<b>Mulheres</b>
<b>Didática aplicada ao Ensino da Física (a)</b>	1999	EL643	14	12	2
<b>Problemas de Ensino de Física II</b>	1999	EL631	9	9	0
<b>Prática de Ensino de Física II</b>	1999	EL873	18	15	3
<b>Didática aplicada ao Ensino da Física (b)</b>	2000	EL643	13	11	2
<b>Total</b>			54	47	7

Desenvolvemos um programa, nas disciplinas, com os estudantes. Este programa previa três fases:

1) Dar informação aos estudantes em relação à pesquisa que se pretendia desenvolver e aplicar um questionário (Anexos 1, 1B). A informação que foi dada aos estudantes descrevia em termos genéricos: o propósito do trabalho de pesquisa, que pretendia, mediante leituras indicadas como divergentes, e discussões, fazer um estudo de conceitos de física; as distintas etapas do trabalho de pesquisa e a metodologia de trabalho a ser realizado com eles. Enfatizou-se nessa informação que era uma atividade com propósitos de pesquisa, mas também de ensino, já que, se por um lado eles seriam sujeitos da pesquisa, por outro, aspirávamos fornecer subsídios para seus processos de



formação como docentes e pesquisadores. Sempre tivemos o cuidado de não subministrar informação que pudesse orientar ou condicionar futuras respostas a perguntas relacionadas com a pesquisa. O questionário buscou informações referentes a aspectos cognitivos, de atitudes e afetivos em relação à ciência e à leitura.

A análise da informação que emerge destes questionários também permitiu-nos identificar um conjunto de condições de produção do trabalho educativo realizado, e em particular das condições de leitura dos textos divergentes, constatadas através do interesse dos próprios alunos. Estas últimas condições correspondem às que temos de *condições de produção que emergem da práxis de leitura*.

2) Leitura e discussão de textos divergentes relacionados com o tema, e identificação do posicionamento dos estudantes em relação aos textos. Nessa atividade fizemos uma escolha de um conjunto de textos, que são descritos mais à frente, que apresentam significações ou noções de energia e outros termos relacionados a ela. Estes foram recortes de livros didáticos ou de divulgação da física, escritos por cientistas ou professores destacados pela sua obra no campo da produção e/ou da difusão das ciências dentro ou fora do Brasil. Os critérios para a escolha dos textos (Michinel & Almeida) foram: a existência de deslocamentos ou visões diferentes em relação ao que os autores representam como energia e outros conceitos, assim como também a forma como a visão é apresentada e o sentido geral do livro no qual o texto se encontra. Para a discussão em cada curso, foram escolhidas duplas de textos que mostraram essa visão divergente. As leituras foram entregues uma semana antes da discussão, com a solicitação de que fossem feitas buscando-se as idéias sobre energia e outros conceitos a ela relacionados expressas pelos autores naqueles textos.

Antes da discussão dos textos, foram aplicados questionários (Anexos 2, 3, 4 e 5) que visavam obter informação dos estudantes em relação à percepção que tinham do texto por eles lido e a significação de energia e/ou calor que nele encontraram .

3) Discussão com os estudantes de resultados da pesquisa e identificação de “perfis conceituais” em relação à energia e/ou calor. Em uma das turmas do ano de 1999

foram entregues seis textos, redigidos por mim, sobre visões de energia dispersas pelas filosofias (realismo ingênuo, empirismo positivista, racionalismo clássico da mecânica, racionalismo completo – relativista ou quântico, racionalismo discursivo dialético, e o que tenho chamado de racionalismo caótico). Esses textos foram discutidos com os estudantes. Nesta aula, em uma das turmas, foi aplicado outro questionário (Anexo 6).

O programa foi realizado de maneira diferenciada em cada turma, segundo o cronograma indicado pelos quadros 2 e 3, durante aulas de duas horas de duração.

### Quadro 2. Atividades desenvolvidas em cada aula

<b>Aulas:</b>	<b>Atividades:</b>
Primeira	Informação em relação à pesquisa que seria desenvolvida e aplicação de questionário.
Segunda	Discussão de texto <b>A</b> relacionado com a conservação da energia.
Terceira	Discussão de texto <b>B</b> relacionado com a conservação da energia.
Quarta	Qualificação e discussão de textos relacionados com visões de energia. Discussão de alguns resultados

### Quadro 3. Cronograma de atividades

<b>Disciplina</b>	<b>Hora e Lugar</b>	<b>Datas</b>			
		<b>1ª Aula</b>	<b>2ª Aula</b>	<b>3ª Aula</b>	<b>4ª Aula</b>
Didática aplicada ao Ensino da Física (a). EL643 (1999)	14:00 LL01	10/08/99	10/08/99	17/08/99	
Problemas de Ensino de Física II EL631	19:00 CB13		30/08/99	13/09/99	
Prática de Ensino de Física II EL873	4:00 LL01	09/08/99	16/08/99	23/08/99	30/08/99
Didática aplicada ao Ensino da Física (b). EL643 (2000)	14:00 LL01	07/10/00	31/10/00	07/11/00	

A participação dos professores (**Prof. A** com a turma EL643(1999) e a **Profa. B** com as outras três turmas) foi diferente, em cada uma das aulas durante as quais se fez o trabalho pedagógico; no Quadro 4 é descrita a forma de participação dos professores das turmas.

Particpei como pesquisador, com a presença dos professores, realizando as atividades descritas como programa de pesquisa. Sendo, estas atividades, incluídas como parte integrante do programa das disciplinas.

#### **Quadro 4. Forma de participação do professor durante o programa**

<b>Disciplina</b>	<b>Tipo de participação do professor durante o programa</b>
EL643 (1999)	Presente na aula
EL631	Presente com participação na discussão
EL643 (2000)	Presente, participou na discussão e aplicou questionário na 1ª aula
EL873	Presente, participou na discussão e aplicou questionário na 1ª aula

#### **3.3.3. Em relação à natureza dos instrumentos de coleta de dados**

Diversos procedimentos metodológicos para a coleta de dados (questionários, filmagens, gravações em áudio, entrevistas) foram utilizados; deles fazemos aqui uma breve caracterização.

O método de coleta de dados pode ser caracterizado no que Lüdke e André (1986, pp. 27-28) denominam de observação participante, já que a observação se combina com outras técnicas, além de que o pesquisador está consciente e expressamente envolvido na situação que estuda. Os dados que coletamos eram fundamentalmente de natureza da linguagem verbal, pelo fato da pesquisa visar ao estudo de desenvolvimento de conceitos. Por procurar, também, identificar o clima da aula, optamos por técnicas de coleta da escrita, da fala e da imagem durante a atividade de aula. Em duas das turmas realizamos entrevistas, com estudantes, com a finalidade de complementar informação

relativa a condições de produção da leitura e da ação mediadora dos sujeitos participantes nas discussões dos textos divergentes. Estas entrevistas, não estruturadas, foram realizadas com roteiros de perguntas não idênticos (Anexos 7 e 8).

### **As formas de coleta de dados**

Dois fatores condicionaram a escolha de instrumentos para a tomada e análise de dados desta pesquisa: o de observar o funcionamento da leitura na sala de aula, o que nos levou a tentar manter, na medida do possível, as suas condições reais; e que o meio no qual realizamos a análise são os discursos produzidos durante a atividade de intervenção com as leituras divergentes. Razão pela qual se fizeram necessários recursos que permitissem a recuperação dos discursos produzidos.

Por que filmagem e gravações de áudio?

O processo de tomada de dados pode ser de difícil realização em pesquisas como esta, que buscam registrar o que acontece na sala de aula ante a ativação de ações como a leitura com o propósito de estimular os processos de produção de significados e apropriação de conhecimentos científicos. Daí que o uso de vídeos contribui grandemente para alcançarmos esses propósitos, além de que este veículo capta não apenas as falas, mas também as outras linguagens de expressão.

Outros propósitos no uso deste recurso, assim como algumas das suas características, são indicados por Carvalho (1996). Esta autora afirma que o uso da filmagem é um recurso de amplas possibilidades quando “se procura estudar o desenvolvimento do ensino enquanto ele se está realizando (...)”, quando “temos a necessidade de conhecer o desenvolvimento deste ensino em condições reais, isto é, o que realmente ocorre em sala de aula quando um professor procura ensinar uma nova proposta a seus alunos (...)”. Ela acrescenta ainda, que a

(...) análise do ensino e da aprendizagem numa sala de aula pode ser feita com muito mais profundidade, pesquisando-se relações importantes das quais até então tínhamos somente indícios. O exame de vídeo, nesse tipo de pesquisa, introduz uma mudança de paradigmas na análise dos dados, possibilitando aos investigadores

aprofundar suas reflexões teóricas numa relação dialógica com os dados empíricos.

Um aspecto importante da gravação em vídeo de uma aula é que podemos vê-la e revê-la quantas vezes forem necessárias (...). Esse ver e rever traz às pesquisas em ensino uma coleção de dados novos, que não seriam registrados pelo melhor observador situado na sala de aula.

A recuperação dos discursos, em algumas aulas, e as entrevistas com estudantes foram feitas, também, mediante gravações de áudio. Isto nos permitiu, durante o processo de análise dos dados, detectar alguns efeitos diferenciados, produto da diversidade de materialidade, ainda que nossa análise de discurso estivesse restrita à linguagem verbal.

Por que entrevista e questionários?

A entrevista de investigação é como um diálogo iniciado por um investigador com o propósito específico de obter informação relevante para a pesquisa e enfocada, por ele, sobre o conteúdo especificado pelos objetivos da pesquisa de descrição, de predição ou de explicação sistemáticas. É um método que implica a reunião de dados através de uma relação discursiva oral direta entre indivíduos. Neste sentido difere do questionário, no qual se requer ao informante que registre de alguma forma suas respostas às questões apresentadas (Cohen et al., 1990).

Buscamos com o uso da entrevista explorar o conjunto das possibilidades deste recurso de pesquisa (idem), a saber: como um meio para a coleta de informação relativa aos objetivos de nosso trabalho de pesquisa; para tornar mais evidentes hipóteses que emergiram para explicar a ocorrência de certos eventos durante o processo de intervenção, por exemplo, as que buscavam explicar os efeitos de algumas condições de produção, ou para ajudar a identificar variáveis e relações, por exemplo, aquelas relacionadas com a história de leitura do aluno; para buscar a “triangulação” de dados, isto é, que em conjunção com outros métodos nos possibilitasse a validação de alguns dos dados da pesquisa, por exemplo, quando buscamos aprofundar nas razões de por que certos patamares conceituais não foram alcançados durante a intervenção.

A entrevista aqui utilizada foi do tipo não estruturado (idem), com uma pauta integrada por um conjunto de questões (Anexos 7 e 8), porém foi uma situação aberta, com flexibilidade e liberdade. Desta maneira, as entrevistas, ainda que guiadas por uma pauta, desenvolveram-se permitindo que o investigador pudesse modificar a seqüência das questões, mudar a redação, explicá-las ou ampliá-las.

Concebemos aqui a entrevista como uma relação interdiscursiva que compartilha muitas das características da interlocução na vida diária, pelo que é analisada como um discurso com suas condições de produção e com formações discursivas em jogo.

Buscou-se com estas entrevistas um aprofundamento de alguns aspectos que no processo de discussão dos textos não pode ser feito, devido à característica coletiva desse processo. Seis alunos, três da turma EL873 e os outros da turma EL643(2000), foram entrevistados com a intenção de avaliarmos alguns aspectos de sua história de leitura e do tipo de leitura que eles fizeram no caso particular dos textos divergentes, assim também como do patamar de escolaridade e de seu estágio de conceituação de energia.

Com a entrevista, uma das questões que buscamos desvelar foi a forma de leitura; isto é, como haviam se relacionado os alunos com o texto? Os alunos **A**, **F** e **N** (Turma EL873), que participaram plenamente das atividades de aula contempladas na pesquisa, foram entrevistados por estar em diferentes momentos do desenvolvimento curricular do curso de licenciatura, além de expressarem deslocamentos diferenciados da conceituação da energia, durante o processo de funcionamento das leituras. **A** estava no último semestre do curso de graduação, já tendo cursado, então, as disciplinas: Quântica I e II, Termodinâmica e Física Estatística, e estava cursando Estado Sólido, Física Nuclear, Laboratório de Cristalografia. **F** concluía bacharelado em física e estava realizando mestrado em física, na área de semicondutores. **N** havia cursado Termodinâmica, Estrutura da Matéria e no momento da pesquisa não tinha cursado Mecânica Quântica.

### **3.3.4. Em relação à coleta de dados, sua organização e à análise dos resultados**

A perspectiva de análise de discurso orientou desde um primeiro momento este trabalho de pesquisa e não poderia ser de outra maneira nestes dois aspectos tão

importantes como a organização – apresentação – de resultados e a discussão dos mesmos. Desta perspectiva vemos o processo educativo que se organiza na sala de aula como um processo discursivo com estados diferenciados, e não necessariamente evolutivos, que vai se construindo no percurso do conjunto de encontros, em cada aula, entre professores e estudantes. Estes encontros seriam, então, discursos mais restritos. Deste ponto de vista é necessário fazer três considerações: 1) Como assinala Pêcheux, o discurso é um acontecimento e como tal é único, não se repete, nem em si, nem nos sujeitos do discurso. Isto acontece da mesma maneira na sala de aula, isto é, na educação; 2) O discurso é produzido, daí serem as condições de produção relevantes para sua constituição e sua análise; o mesmo acontece com a atividade educativa na sala de aula, em especial quando a leitura é um de seus componentes fundamentais e 3) O discurso é um lugar material de encontro de formações ideológicas, mediadas por formações discursivas, que desenvolvem processos de paráfrase/polissemia entre os sujeitos (Orlandi, 1996, pp. 53-73); assim também ocorre na sala de aula. De modo que entendemos o processo de ação pedagógica em aula como produzido em uma dialética de permanente unidade/dispersão de formações discursivas. Daí que, com a intenção de entender os resultados deste acontecimento que é objeto de pesquisa, faremos um recorte que permita manter a totalidade desse acontecimento.

Assim, diferentes FD<sup>as</sup>, que interagem, são produzidas neste processo de trabalho pedagógico – dos estudantes, dos professores, dos cientistas-autores, do pesquisador. Recorremos à AD para fazer emergir as interpretações que no processo poderiam estar se produzindo. Também identificamos as maneiras como se produzem os diálogos e as possíveis influências, dos discursos e dos fatores exteriores a eles, na promoção de mudanças entre os distintos fatores que interagem.

No processo de coleta de dados utilizamos distintos meios, escritos – questionários e entrevistas, gravações de áudio e filmagens – de aulas e de entrevistas. De todos os registros, não escritos, foram extraídos os textos correspondentes e fizemos AD destes textos, para o que os consideramos como discursos possíveis sob particulares condições de produção, em sentido restrito – as circunstâncias da enunciação, o contexto imediato

– e em sentido amplo – o contexto sócio-histórico-ideológico.

No que encontramos, verificamos os deslocamentos que foram produzidos na significação de energia tanto de maneira coletiva – na turma – como individual, identificando momentos-chave que poderiam ter disparado estes acontecimentos; relacionamos o resultado total de deslocamentos com as condições de produção imediata; comparamos os resultados entre uma e outra aula; observamos o movimento geral e comparamos com as condições de produção mais amplas sem perder de vista as condições imediatas; prestamos atenção às relações entre conhecimentos anteriores e os novos conhecimentos. Em síntese, obtivemos a identificação de um perfil e a evolução do mesmo.

### 3.3.5. Sujeito, discurso, tipo de discurso e condições de produção

A definição destes quatro conceitos e de suas relações é um assunto chave na AD. Para a AD o sujeito não é o indivíduo, para a AD o sujeito é o indivíduo interpelado pela história e pela ideologia<sup>17</sup> e que se materializa no discurso. Para a AD o sujeito se constitui no que diz ou deixa de dizer como consequência desses *assujeitamentos*. Desse modo, a constituição do sujeito pela AD é de uma forma não-subjetiva, ela não parte do sujeito individual “concreto”, mas de considerar este sujeito nas suas relações sociais levando em conta o histórico e o ideológico; e é por isso que é materialista. Assim o nosso sujeito se constitui em seu discurso; é um sujeito discursivo, onde o discurso, enquanto prática, é uma prática ideológica de um sujeito igualmente determinado pela ideologia. Tem-se aqui um deslocamento muito importante, na medida em que o sujeito é mais uma determinação “ideológica” que “social”.

A tipologia na AD tem uma dupla função. Primeiro, ela é necessária como princípio de classificação e de “generalização” para o estudo do discurso. No sentido que a AD, buscando apreender as singularidades de uso da linguagem, visa também construir

---

<sup>17</sup> História aqui é entendida na perspectiva do materialismo histórico. Ideologias se definem como consequência de *forças materiais* e não como *idéias* ou *imaginários*, porém não têm sua base no sujeito mas “*elas constituem os indivíduos em sujeitos*”. (Pêcheux, 1995)



uma generalidade, enquanto inclusão desse discurso em um domínio comum. O tipo, desse ponto de vista, é um princípio organizador (Orlandi, 1996). Segundo, a tipologia tem uma implicação teórica importante, ela nos resgata do perigo de ficarmos presos aos determinantes concretos ou empíricos da análise, permitindo um processo de “relacionamento” com outros discursos, isto é, de compreensão do discurso específico com referência a outros que se constituem com outros sujeitos em condições de produção entendidas como equivalentes. Além de ser uma necessidade metodológica com implicações teóricas, a tipologia está relacionada com os objetivos específicos da análise a desenvolver e implica múltiplos e variados critérios para sua definição ou escolha (idem). Mas todos esses critérios nos remetem à consideração da relação entre objetivos da análise e a natureza do texto (idem); o que nos leva, segundo Gallo (1992), a considerar a relação entre os locutores e o objeto (referente). Assim a tipologia forma parte das condições de produção da análise e implica as relações dos sujeitos do discurso e as suas condições de produção.

Na análise do texto, desde o início, instaura-se uma relação com um tipo de discurso que pode ser “hipotético”, depois se trabalha com as marcas e/ou propriedades do texto, como mostra desse discurso hipotético, buscando as pistas de produção do discurso, e daí se busca apreender o funcionamento do discurso através da análise das relações entre interlocutores e objeto (idem).

O sujeito discursivo é um sujeito muito complexo tal qual a definição do tipo de discurso no qual pode ser inserido. Assim, por aproximações sucessivas, pudemos alcançar razoáveis definições desse sujeito. Considerar: o espaço onde se desenvolve a pesquisa – disciplinas do curso de licenciatura de Física que são ministradas na Faculdade de Educação de uma universidade estadual de São Paulo; o material empírico que constituiu a base dos dados da pesquisa – textos escritos por diferentes autores referentes a energia; filmagens e gravações de discussões em aula de alunos, professores e pesquisador e entrevistas com alunos; e o objeto desta pesquisa – como indicado no capítulo sobre o problema – permitiu-nos fazer uma primeira escolha do *tipo* de discurso que operava lá. Justamente porque todos esses fatores estão vinculados à escola, isto é,

uma instituição que “faz do discurso pedagógico – DP – aquilo que ele é, e o mostra (revela) em sua função” (Orlandi, 1996, p. 28), é que o tomamos como uma primeira tipologia para confrontá-la com o processo discursivo que nos propusemos estudar. Este DP é caracterizado por Orlandi (op. cit.) como:

Um discurso circular, isto é, um dizer institucionalizado, sobre as coisas, que se garante, garantindo a instituição em que se origina e para a qual tende: a escola (...).

Em sua definição seria um discurso neutro que transmite informação (teórico, ou científico), isto é, caracterizar-se-ia pela ausência de problemas de enunciação: não teria sujeito na medida em que qualquer um (dentro das regras do jogo evidentemente) poderia ser seu sujeito (credibilidade da ciência), e onde existiria a distância máxima entre emissor e receptor (não haveria tensão portanto) tendo como marca a nominalização e como frase de base a frase com o verbo ser (definições). Do ponto de vista de seu referente, o DP seria puramente cognitivo, informacional (p. 28).

O DP se dissimula como transmissor de informação, e faz isso caracterizando essa informação sob a rubrica da cientificidade. O estabelecimento da cientificidade é observado, segundo o que podemos verificar, em dois aspectos do DP: a meta-linguagem e a apropriação do cientista feita pelo professor. (pp. 29-30)

A necessidade de aprimorar estes aspectos metodológicos – definição do sujeito do discurso e tipologia, leva-nos de volta ao empírico e a aguçar nosso olhar sobre as características dos interlocutores, dos discursos sob estudo e de sua exterioridade, com a intenção de obter subsídios que nos permitam aperfeiçoar a definição das condições de produção. Por último, apresentamos uma série de análises que foram feitas com o propósito de buscar informação nesse sentido. Assim, também a primeira parte do capítulo de resultados tem o mesmo propósito.

### **3.3.6. Uma primeira análise. Características do curso e das turmas**

O curso de licenciatura de física é oferecido como um programa em parceria entre o Instituto de Física e a Faculdade de Educação. Segundo o catálogo de graduação desta Universidade, o profissional Licenciado em Física terá perfil semelhante ao de Bacharel em Física, com ênfase na formação educacional, o que lhe garante o credenciamento para atuar como professor de física no ensino médio. De sua parte, o Bacharel poderá

pesquisar e estudar fenômenos nas áreas de Física Atômica, Física Molecular, Óptica, Física Biológica, Física Química, Física da Matéria Condensada, Física de Fluidos, Física de Polímeros, Física Nuclear, Física de Partículas e Campos e Física de Plasmas. Poderá também aplicar seus conhecimentos na montagem e operação de laboratórios de pesquisas acadêmicas e industriais, além de poder integrar equipes multidisciplinares de desenvolvimento tecnológico e de controle e diagnóstico de processos industriais.

Para licenciar-se em física, o aluno deverá perfazer 172 créditos, equivalentes a 2580 horas que poderão ser integralizadas em 8 semestres, conforme sugestão da unidade para o cumprimento do currículo pleno, sendo o prazo máximo de integralização de 12 semestres para o curso diurno. Enquanto no curso noturno o aluno poderá integralizar o curso em 11 semestres, conforme sugestão da unidade para o cumprimento do currículo pleno, sendo o prazo máximo de integralização de 16 semestres. As disciplinas que integram este curso de graduação para ambos os períodos estão indicadas no Quadro 5.

A EL873 é uma disciplina terminal – pré-requisitos: EL300, EL413, EL643, EL763 – que os licenciandos de física têm que realizar na Faculdade de Educação. A turma da disciplina EL873, no segundo semestre de 1999 foi integrada por 10 estudantes inscritos formalmente no período noturno e 8 no período diurno. Dos quais 3 ingressaram no curso no ano de 1994, 12 em 1995, 2 em 1996 e 1 em 1997. Só 1 dos 18 alunos não tinha cursado a disciplina Termodinâmica, oferecida no currículo da Licenciatura, no

### Quadro 5. Currículo Pleno.

#### Período Diurno

Disciplinas da área de física:

F 128	Física Geral I	F 129	Física Experimental I
F 218	Física II	F 229	Física Experimental II
F 315	Mecânica Geral I	F 318	Física III
F 320	Termodinâmica	F 329	Física Experimental III
F 415	Mecânica Geral II	F 418	Física IV

F 429	Física Experimental IV	F 502	Eletromagnetismo I
F 520	Métodos Matemáticos da Física I	F 589	Estrutura da Matéria
F 602	Eletromagnetismo II	F 689	Mecânica Quântica I
F 740	Métodos da Física Experimental III	FM001	Seminários sobre a Profissão I
FM002	Seminários sobre a Profissão II	F 540	Métodos da Física Experimental I
F 809	Instrumentação para Ensino	F 887	Física Nuclear
F 888	Física do Estado Sólido	MA044	Matemática IV
MA141	Geometria Analítica e Vetores	MA151	Cálculo I
MA251	Cálculo II	MA327	Álgebra Linear
MA351	Cálculo III	MC102	Algoritmo e Program de
MS139	Lab. Suport Comp das Discip Básic	MS148	Complementos de Matemática
MS211	Cálculo Numérico	QG101	Química I
QG102	Química Experimental I		

Disciplinas da área pedagógica:

EL202	Estrutura e Funcionamento do Ensino Fundamental e Médio: Educação e Sociedade
EL300	Psicologia Educacional – Adolescência
EL413	Psicologia, Educação e Aprendizagem Aplicadas ao Ensino de Ciências Exatas
EL643	Didática Aplicada ao Ensino de Física
EL763	Prática de Ensino de Física e Estágio Supervisionado I
EL873	Práticas de Ensino da Física e Estágio Supervisionado II

**Período Noturno:**

Não cursam: F 540, F 887, F 888, MC102, MS139, MS148.

Acrescentando: Intr. Proc. de Dados (MC111); Problemas de Ensino de Física I (EL131); Fund. Educação I: Filosofia da Educação (EL241); Fund. Educação II: História da Educação (EL341); Est. Func. Ens 1 e 2 Gs.: Educ. Soc. Fis.II (EL361) e Problemas de Ensino de Física II (EL631).

período em que se trabalhou com a turma. Ainda que 8 deles manifestassem ter gostado pouco da disciplina, quando a cursaram na Física, poderíamos afirmar que eles, com exceção de 1, tinha tido uma experiência de ensino universitário neste campo do conhecimento, o que nos permite inferir um contato com uma significação da energia que vai além da visão expressa na mecânica. Mas nem todos os estudantes tinham feito os cursos de Física IV ou Estrutura da Matéria, que são as primeiras disciplinas do curso de licenciatura que abordam formalmente a racionalidade complexa.

Por outro lado, a EL643 é uma disciplina de início – sem pré-requisitos – que os licenciandos de física realizam na Faculdade de Educação. A turma da disciplina EL643 no segundo semestre de 1999 foi integrada por 14 estudantes inscritos formalmente no período diurno. Dos quais 1 ingressou no curso em 1989, 1 em 1991, 5 em 1995, 5 em 1996, 1 em 1997 e 1 em 1998. Nesta turma apenas 1 dos 14 alunos não tinha cursado a disciplina Termodinâmica, no período em que se trabalhou com as leituras divergentes; desse modo pode-se inferir que pelo menos 13 deles tiveram contato com uma significação de energia que vai além da visão expressa na mecânica. Alguns dos estudantes tinham feito os cursos de Física IV ou Estrutura da Matéria, que são as primeiras disciplinas do curso de licenciatura que abordam formalmente a racionalidade complexa do conceito de energia.

A turma da disciplina EL643 foi integrada no primeiro semestre do ano de 2000 por 5 estudantes inscritos formalmente no período noturno e 9 no período diurno, sendo 1 deles de matemática; 1 ingressou no curso em 1992, 1 em 1994, 1 em 1995, 4 em 1996, 2 em 1997, 4 em 1998 e 1 em 1999. Dos 9 alunos que responderam ao primeiro questionário, 1 não tinha cursado Termodinâmica e 6 tinham feito Estrutura da Matéria no período em que se trabalhou com a turma. Assim podemos inferir que 8 dos alunos tiveram contato com uma significação da energia que vai além da visão expressa na mecânica, enquanto 6 deles se relacionaram com uma significação da energia no patamar da racionalidade complexa.

A EL631 é uma disciplina que tem como pré-requisitos EL131, EL300, EL413 e EL643; os licenciandos em física a realizam na Faculdade de Educação. A turma de EL631, no segundo semestre de 1999, foi integrada por 10 estudantes inscritos formalmente no período noturno e 3 no período diurno, sendo 1 deles de matemática; 1 ingressou no ano de 1989, 1 em 1992, 3 em 1995, 3 em 1996, 2 em 1997 e 3 em 1998.

A organização curricular do curso se estrutura mediante um programa no qual se expressa uma real separação entre as áreas de formação pedagógica/psicológica/sociológica e aquela da especialidade da física, embora existam algumas disciplinas que procuram uma integração desses componentes – Didática Aplicada ao Ensino de Física,

Prática de Ensino de Física e Estágio Supervisionado I e II. Dessa maneira, poder-se-á passar a idéia de que uma área dá os aspectos de conteúdo de física – o *quê* –, enquanto a outra área forma em relação a como ministrar esse conteúdo. Assim se supõe que a integração de ambos os aspectos –o *quê* e o *como*, se considerada necessária, ocorrerá por conta do aluno, no momento mesmo da graduação ou quando egresso.

### 3.3.7. Em relação aos textos

Os textos utilizados, em duplas, na pesquisa, foram recortes relacionados com a conservação da energia extraídos dos livros de I. Prigogine & I. Stengers<sup>18</sup> e R. Feynman<sup>19</sup>, M. Planck<sup>20</sup> e P. Tipler<sup>21</sup>, D. Halliday et al.<sup>22</sup> e M. Nussenzveig<sup>23</sup>. No Quadro 6 indicam-se as turmas nas quais foram trabalhados os textos, assim como os capítulos, as páginas, a editora e ano de publicação dos livros.

Os textos, previamente analisados, mostram posições divergentes em relação a aspectos tratados no tema. Textos que exprimem as dispersões de filosofias – realismo ingênuo, empirismo positivista, racionalismo clássico da mecânica racional, racionalismo relativista, racionalismo discursivo dialético e racionalismo caótico – em relação ao conceito de energia, foram elaborados com o fim de atingir a identificação de um perfil conceitual dos estudantes.

#### Quadro 6. Características dos textos utilizados e turma na qual foram trabalhados

Autor do Texto	Trabalhado na Turma	Parte ou Capítulo	Páginas	Lugar: Editora, Ano
I. Prigogine, I. Stengers	EL873 EL643(2000)	(IV)	83-103, 238-241	Brasília: UnB, 1997

<sup>18</sup> *A Nova aliança. Metamorfose da ciência*. Brasília: UnB, 1997

<sup>19</sup> *Física em seis lições*. Rio de Janeiro: Ediouro, 1999

<sup>20</sup> *Treatise on Thermodynamics*. New York: Dover, 1945. Tradução não autorizada ao português por J. L. Michinel. (Anexo 9).

<sup>21</sup> *Física para cientistas e engenheiros*. Rio de Janeiro: LTC, 1986.

<sup>22</sup> *Fundamentos de Física*. Rio de Janeiro: LTC, 1991.

<sup>23</sup> *Curso de Física Básica*. São Paulo: E. Blücher, 1981.

R. Feynman	EL873 EL643(2000)	(4)	115-137	Rio de Janeiro: Ediouro, 1999
M. Planck	EL643(1999)	II (I)	40-47	New York: Dover, 1945
P. Tipler	EL643(1999)	(16)	225-228	Rio de Janeiro: LTC, 1986
D. Halliday, R. Resnick e J. Merrill	EL631	(20)	181-192	Rio de Janeiro: LTC, 1991
M. Nussenzveig	EL631	(8)	166-185	São Paulo: E. Blücher, 1981

### Uma segunda análise: os textos

Identificamos, nos textos utilizados, diferenças materiais e conceituais que me levaram a considerá-los como textos divergentes. O texto de Feynman é um texto de divulgação, que apresenta a conceituação da energia por meio de uma metáfora, que implica, por sua vez, o uso de uma analogia para representar a conservação, pelo fato de ser esta (a conservação) uma idéia abstrata (p. 115). Este texto metafórico se move na zona da racionalidade clássica. Mas, como em muitos outros casos, a língua faz-nos maléficas jogadas e há um parágrafo que poderia permitir uma leitura muito diferente à que Feynman (p. 118), pensamos, aspirava passar ao leitor: “É importante perceber que, na física atual, ignoramos o que é energia. Não temos um quadro de que a energia vem em pequenas gotas de magnitude definida. Não é assim.” Quando nos movemos na microfísica e consideramos fenômenos que compreendem interações, as trocas energéticas que implicam estas interações se realizam por meio de quantas, que sob uma ótica metafórica, como a assumida neste texto, podem ser olhados como gotas de magnitude “definida”: múltiplos do quantum. E desta maneira o texto também poderia assumir o patamar do racionalismo relativista. Com efeito, um dos alunos da turma EL873, durante a discussão do texto colocou esta significação em relação ao parágrafo comentado. O texto de Prigogine & Stengers é muito mais extenso e complexo, se consideramos a gama de problemas que aborda – filosóficos, da ciência, históricos etc.; há nele uma profunda crítica à racionalidade moderna e assume-se a termodinâmica

como rivalizando com a mecânica ou, como a coloca Bernardes (1999), não podendo ser reduzida a esta, porque correspondem a áreas do conhecimento científico com ontologias diferentes. Nesse texto, Prigogine e Stengers expressam uma visão alternativa ao princípio da conservação da energia, quando assumem que existe, ao considerar o mundo real, a necessidade de levar em conta também os aspectos qualitativos da energia. Eles assumem que as energias dissipativas, que são ubíquas na natureza, não são iguais a outras energias e não podem ser simplesmente reduzidas, por aquele princípio, a essas outras. Aí o texto levanta a necessidade da conservação destas diferenças. O que o coloca numa racionalidade que está além da mecânica clássica e da quântica. Racionalidade que temos denominado como caótica, pela sua relação com processos deste gênero e porque envolve ensembles (Bernardes, 1999) como objetos físicos, que, longe do equilíbrio e considerando os efeitos dissipativos, tornam-se sistemas complexos, estudados pela teoria do caos (Prigogine & Stengers, 1997).

Os textos de Halliday et al. e de Nussenzveig, restritos ao racionalismo clássico, são textos didáticos universitários. Mesmo assim, foram identificadas neles diferenças conceituais e materiais que nos levaram a considerá-los como textos divergentes: 1) o uso da informação histórica na parte dedicada à natureza do calor, no texto de Nussenzveig, evidencia a criação histórica dos conceitos de calor e de energia – este aspecto é completamente apagado no texto de Halliday; 2) este último texto fundamenta sua linha discursiva mediante a colocação de fenômenos empíricos ou resultados expressos por meio de tabelas, exemplos, figuras etc., que implicam um raciocínio fundamentalmente empírico. No caso do Nussenzveig há uma inclinação a uma racionalidade uniforme mais teórica fundamentada na física clássica; 3) o limite do modelo geral que exprime a primeira lei da termodinâmica – válido para sistemas isolados – é mais claramente definido no texto de Halliday (p. 186) que no de Nussenzveig (p. 177); 4) o uso, em forma excessiva, de termos tais como: fluir, fluido, escoar, fluxo em referência ao calor, e a introdução do conceito de *calor latente*, parecem expressar em Halliday uma visão substancialista do calor; 5) o texto de Nussenzveig é um texto em português produzido por um professor-pesquisador brasileiro, enquanto que o Halliday é uma tradução ao português de um texto em inglês.



E, finalmente, o texto de Tipler é um recorte – capítulo dedicado à 1ª lei da termodinâmica – de um livro de Física Geral; o processo de dedução dessa lei se realiza, essencialmente, através da descrição do experimento para a determinação do equivalente mecânico do calor, com o aparelho de Joule, e a partir deste experimento apresenta a lei, expressa por meio de uma equação ( $\Delta U = Q - W$ ); este texto foi traduzido do inglês para o português por um professor da UFRJ. No entanto o texto de Planck é um recorte de um livro de Termodinâmica, que corresponde a uma exposição geral do 1º princípio da termodinâmica; é uma narração essencialmente teórica desse princípio, com a conceituação de seus principais elementos. Levando em conta as posições, já referidas, de Bernardes (1999) e Prigogine & Stengers (1997), em relação às diferenças epistemológicas e ontológicas da termodinâmica em relação com a mecânica (a dinâmica), coloca-se este texto em um caminho que diverge daquele no qual se move o texto de Tipler. O texto de Planck é uma tradução, não autorizada, ao português, feita por mim a partir de uma tradução em inglês feita por um professor do IF de uma universidade da África do Sul. Planck foi professor de física teórica em uma universidade da Alemanha e Prêmio Nobel em física. Tipler é professor de física em uma universidade norte-americana.

Conseqüentemente, com a constatação de que os textos são respectivamente divergentes quanto aos aspectos: de racionalidade implicada na significação do tema energia – mecânica clássica X visão caótica, dinâmica X termodinâmica, substancialismo X cinética molecular; epistemológico – assimetria no plano empírico/teórico; do papel que se dá ao desenvolvimento histórico do conceito etc., podemos considerar que isso representa, de entrada, a presença na discussão de FD<sup>as</sup> respectivamente polêmicas.

**aqui vai imagem**  
**The Letter**  
**Fernando Botero**



#### **4. RESULTADOS: UM FÍSICO SÓ CONHECE VERDADEIRAMENTE UMA REALIDADE QUANDO A REALIZOU ...**

Como foi dito no capítulo relativo à definição do problema, propusemo-nos a alcançar neste trabalho dois objetivos, para buscar indícios que nos permitissem a verificação da tese que lá enunciamos, isto é, *de que a divergência nas significações conceituais é um mediador didático que, exposto através da leitura complementada com outras mediações sociais e semióticas, em aula, pode ativar deslocamentos conceituais, os quais permitem re-construção conceitual, da noção de energia, pelos alunos, isto é, possível ampliação do conceito e compreensão de seus componentes pelos estudantes*”, para o que buscamos “entender aspectos gerais do funcionamento da leitura de textos divergentes sobre energia por alunos do curso de física na educação superior, compreendendo os deslocamentos que podem ser provocados nas suas significações, na estrutura de seu perfil conceitual. Com essa intenção foram utilizados diversos procedimentos para a coleta de dados (questionários, gravações de áudio, filmagens, entrevistas), que nos permitiram a construção de resultados que expomos, a seguir, em relação com os objetivos já indicados alhures.

No epílogo do capítulo anterior, referente aos aspectos metodológicos, avançamos em duas facetas compreendidas no que temos caracterizado como *condições de produção prévias que possibilitam a práxis de leitura*; tal é o caso das *características do curso e das turmas*, identificadas com a primeira análise, e das *características dos textos* – em relação à apresentação de algumas das significações de energia e com aspectos formais desses textos –, identificadas com a segunda análise. Agora, dispomo-nos a caracterizar algumas *condições de produção que emergem da própria práxis de leitura* e, mais à frente, a mostrar alguns indícios que implicam gestos de deslocamentos conceituais.

#### **4.1. Aspectos gerais do funcionamento da leitura dos textos divergentes: algumas condições de produção que emergem da práxis de leitura concreta**

Temos afirmado, no marco teórico da análise de discurso exposto na seção teórico-metodológica, que: o objeto da leitura já não é só o texto isolado, mas a relação deste com a exterioridade; essa relação texto/exterioridade permite ou promove a interpretação do texto com a finalidade de encontrar significados; significados e interpretação que estão ideológica e historicamente determinados. Falamos também em dois tipos de condições de produção, segundo o momento no qual elas possam ser identificadas. Agora faremos referência aos resultados relacionados com as *condições de produção que emergem da práxis de leitura* dos textos divergentes já descritos. Estas condições estariam compreendidas dentro das que Orlandi nomeia como restritas e que poderiam estar ligadas a mediações produzidas durante a ação educativa concreta relacionada com os textos divergentes referidos.

Deslocamos para este momento este aspecto das condições de produção, em vez de realizá-la no capítulo de fundamentos metodológicos, para exemplificar o fato de que nem todas as condições de produção podem ser previamente definidas, que estas condições, pelo menos na perspectiva restrita e que emergem da práxis de leitura, têm que ser compreendidas como um aspecto da própria práxis<sup>24</sup> educativa. Sua compreensão visa a uma intervenção na realidade, neste caso na sala de aula, no entorno educativo concreto.

##### **4.1.1.2. Terceira análise: quais as idéias que os estudantes manifestam em relação à leitura dos textos?**

###### **A) O que nos indica, em relação aos textos, a análise dos questionários?**

As respostas às perguntas dos questionários permitiram-nos identificar algumas condições de leitura dos textos especificamente trabalhados. A análise das respostas à pergunta “*O que acha do texto?*”, nos questionários passados nas aulas dedicadas à

discussão dos textos, são representadas nos quadros 7a e 7b. Pode-se ver que o primeiro texto (de Feynman) é considerado pela maioria (vide ocorrência) dos alunos da turma EL873 (1999) como *de fácil leitura, interessante, claro*. Alguns deles vêem o texto como *básico e para leigos*. No caso do segundo texto, (de Prigogine & Stengers) foi considerado pela maioria, como *difícil de ler, extenso, denso, cansativo*, embora quatro alunos tenham manifestado que *não o tinham lido* e posteriormente, na discussão do texto, declarassem que *só um deles o tinha lido completamente*. Paralelamente, os alunos da turma EL643 (2000), que trabalharam com os mesmos textos, estabelecem, em geral, a mesma diferença de dificuldade na leitura deles, isto é, a maioria indica que o texto de Feynman é *uma leitura simples, de linguagem simples, acessível, didático*, enquanto o texto de Prigogine/Stengers é *um texto difícil, complexo, que requer muito mais conhecimento prévio do assunto*, vide quadros 8a e 8b.

Em relação aos textos de Tipler e Planck, os alunos da turma que trabalhou com estes manifestaram, nos questionários, uma opinião positiva em relação ao grau de dificuldade na leitura do primeiro texto e uma grande dispersão na valoração que fazem do texto de Planck, vide quadros 9a e 9b.

### **B) O que nos indicam, em relação aos textos, a análise das aulas?**

As falas que abaixo se apresentam são uma fração do processo discursivo acontecido durante as discussões dos textos com a turma EL873. A primeira parte da discussão, nas aulas, foi dedicada a recuperar a visão que os alunos tinham dos textos, sem nos preocuparmos com as interpretações do conteúdo destes; com esse intuito foi proposto aos alunos que opinassem sobre a forma do texto entregue e lido por eles. No caso do texto de Feynman, os alunos em parte confirmaram o que responderam nos questionários; assim opinaram que é um *texto fácil, para leigos*, e que o *exemplo dos cubos é “legal”, abrangente, mas extenso* (alunos **E, A, H, R, B**), que *não se preocupa com o que é a energia, mas como ela se apresenta* (aluno **H**).

---

<sup>24</sup> Assume-se aqui práxis, em um sentido marxista, como o conjunto das atividades humanas tendentes a criar as condições indispensáveis à existência da sociedade e, particularmente, à atividade material, à produção.

Quadro 7a. Como vêm o texto de Feynman? Turma EL873 (1999)

Visão do texto	Aluno																	Ocorrência	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q		R
Fácil leitura			↗		↗	↗		↗		↗		↗	↗	↗	↗		↗		11
Interessante	↗	↗				↗		↗								↗		↗	6
Claro	↗					↗					↗		↗					↗	5
Ilustrativo									↗	↗									2
Difícil de ler		↗		↗															2
Em alguns casos pode ser tedioso	↗																		1
Em alguns casos pode ser confuso	↗														↗				2
Extenso															↗				1
Não vale a pena								↗											1
Para leigos		↗				↗		↗											3
Básico				↗															1
Superficial		↗																	1

Ocorrência: indica o número de alunos que expressaram uma dada idéia do texto.

Quadro 7b. Como vêm o texto de Prigogine/Stengers? Turma EL873 (1999)

Visão do texto	Aluno																	Ocorrência	
	A	*	C	*	E	F	*	H	I	*	K	L	M	N	O	P	Q		*
Difícil de ler						↗						↗		↗	↗	↗			6
Extenso, denso					↗	↗		↗									↗	↗	5
Cansativo					↗							↗	↗			↗			4
Tedioso																		↗	1
Confuso																↗			1
Não leu	↗			↗					↗						↗				4
Desorganizado					↗														1
Dificuldade de leitura média									↗										1
Interessante																		↗	1
Muito rico									↗										1

\* Não assistiu à aula.

Quadro 8a. Como vêem o texto de Feynman? Turma EL643 (2000)

Visão do texto	Aluno													Ocorrência	
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	*		
Leitura muito simples ou fácil	✓							✓			✓				3
De linguagem simples			✓												1
Texto ou linguagem acessível				✓						✓					2
Muito didático		✓						✓							2
Muito bom conceitualmente							✓								1
Não se atrela a definições fechadas					✓										1
Idéias interrelacionadas			✓			✓									2
A leitura deve ser feita com atenção				✓		✓				✓		✓			4
Para alunos que se iniciam	✓	✓											✓		2
Dirigido a alunos que fizeram ensino médio									✓						2
Difícil de ler pela 1ª vez			✓												1
Crítica ao texto a partir da visão que já se tem do autor					✓										1

Quadro 8b. Como vêem o texto de Prigogine/Stengers? Turma EL643 (2000)

Visão do texto	Aluno													Ocorrência	
	A	*	*	D	*	F	G	H	I	J	*	L	M		
Não muito difícil						✓									1
Fácil de compreender													✓		1
Acha legal a parte histórica						✓							✓		2
Texto difícil	✓						✓			✓			✓		4
Requer conhecimento prévio do assunto	✓									✓					2
Complexo								✓							1
Interessante						✓									1
Não leu				✓									✓		2



Quadro 9a. Como vêm o texto de Tipler? Turma EL643 (1999)

Visão do texto	Aluno														Ocorrência
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
Claro				/	/	/				/	/				5
Leitura fácil de entender			/			/			/		/				4
Exemplos bem elaborados		/		/	/					/					4
Acessível		/													1
Bem ilustrado			/												1
Aspetos históricos ajudam o entendimento		/													1
Leitura difícil							/								1
Confuso													/		1

Quadro 9b. Como vêm o texto de Planck? Turma EL643 (1999)

Visão do texto	Aluno														Ocorrência
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
Leitura mais fácil			/									/			2
Texto claro					/					/					2
Mais didático														/	1
Coeso em suas definições										/					1
Mais longo e detalhado		/													1
Minucioso		/													1
Mais complexo						/							/		2
Cansativo				/					/						2
Requer bastante conhecimento prévio				/											1
Exige maior atenção em alguns trechos					/	/									2
Muito complicado								/							1
Para pessoas que conhecem bem o assunto											/				1
Linguagem um pouco antiga												/			1

As falas, das aulas e entrevistas, apresentadas a seguir são exemplo destas afirmações.

### Série das aulas 1

- <sup>3</sup> **Pesquisador:** Como viram o texto? No sentido... se é um texto agradável, é um texto entendível, é um texto...
- <sup>5</sup> **H:** O texto ele... Tem ordem aqui? [vários falam que não, para que ele continue] Acho interessante porque ele não se preocupa tentar dizer o que é a energia. Porque como a energia é uma coisa muito abstrata, ele não tem como tentar substancializar o que é a energia, digamos assim, ele se preocupa mais falar sobre como é que ela se apresenta, né? E então, trata mais da conservação de energia, e... gostou do termo? [há um comentário não compreensível da N] E então, só que é um texto muito, eu acredito, que para um leigo em física. Quem já tem um conhecimento a mais em física acha o texto até bem em conteúdo.<sup>25</sup>
- <sup>6</sup> **A:** Eu acho o seguinte, em termo de forma, eu acho que o exemplo que ele usou é bastante abrangente, claro e tal, mais é extenso, né? Você se perde, ele vai se prolongando e prolongando e você acaba caindo na conservação da energia.
- <sup>14</sup> **R:** Eu acho que é para leigos, mais, por exemplo, pra gente que vai ensinar, que tem pouca experiência, é um texto interessante. Se se pega um professor que já trabalha, com mais experiência, vai achar fácil demais, não fácil, ele tem visto outros exemplos. Então, não sei. Quando eu li o vi legal como professor, como tenho pouca experiência, pode ser ...

---

### Série das entrevistas 1

- <sup>12</sup> **N:** O texto do Feynman, até que foi, assim, um pouco mais produtivo; eu acho, Prigogine foi um pouco mais restrito, pelo que eu me lembro, também não lembro direito...

---

Os textos de Tipler e Feynman aparecem, respectivamente, em um livro didático e em um livro de divulgação, expressam-se na racionalidade da física clássica e são conhecidos em maior grau pelos alunos, por serem trabalhados, inclusive, em algumas das disciplinas do curso<sup>26</sup>. Entretanto os textos de Planck e Prigogine & Stengers são textos que os alunos, em geral, não conheciam e, ainda mais importante, são textos que se fundamentam em racionalidades – a termodinâmica e a racionalidade caótica – diferentes das que definem os textos de Tipler e Feynman. Os alunos expressam, aparentemente, um

---

<sup>25</sup> Grifo nosso. Mais tarde voltaremos a esta fala.

<sup>26</sup> O livro de Tipler é indicado como obrigatório ou referência em disciplinas dos primeiros semestres do curso. O texto de Feynman também faz parte do livro, muito conhecido, *Lectures of Physics* deste autor.

“favoritismo” por textos relacionados com racionalidades mais comumente envolvidas com a mecânica newtoniana; sendo esta a área da física que integra o conteúdo das primeiras disciplinas do curso, na qual se coloca “maior ênfase” do ponto de vista da estrutura do programa do curso e a que se trabalha com maior atenção no ensino fundamental e médio.

Essa “dificuldade”, expressa em relação a textos que se debruçam dentro de outras racionalidades – p. ex. termodinâmica e racionalidade caótica ou complexa –, diferentes da mecânica newtoniana, parece estar ligada à opinião que os alunos dão em relação aos temas de que mais gostaram nas disciplinas até agora cursadas na física (turmas EL643(1999) e EL873). Quando argüidos com questões tais como: *“De acordo com sua preferência, ordene os temas de ciências (da Física, da Química etc.) que já estudou, de modo decrescente (do que mais gostou para o que menos gostou)”*, *“Alguns cientistas e professores acham que a termodinâmica é um tema importante que deve ser bem conhecido pelos envolvidos nas áreas de ciências. Você concorda com eles? Por quê?”* (Anexo 1A), verificamos que dos 29 alunos, 14 não indicaram a termodinâmica como opção, nenhum a indicou como primeira opção e só 3 a sinalizaram na primeira metade de suas opções; embora 26 deles considerassem a termodinâmica como um tema importante e necessário para ser conhecido por egressos de cursos de ciências, indicando razões tais como: a termodinâmica está implicada no entendimento de um importante número de fenômenos naturais, é um tema atual, está relacionada com o desenvolvimento tecnológico e da física, por estar envolvida em muitas áreas científicas, por estar implicada no dia-a-dia etc.

Essa visão que expressam em relação à leitura dos textos – aparentemente mais favoráveis aos textos que se debruçam na racionalidade da mecânica newtoniana – parece ser um efeito da interdiscursividade que se instala a partir do ensino da física, interdiscursividade que não está restrita ao ensino de física no Brasil. A este respeito a Profa. Ruth Howes (2000), atual Presidenta da AAPT (American Association of Physics Teachers), em palestra apresentada na VII Conferência Interamericana de Ensino de Física, afirma que “Por essas razões, muitas pessoas educadas pensam que a física se

reduz à mecânica Newtoniana e à teoria de circuitos elétricos adicionada, com sorte, por uma pitada de ótica. Os estudantes se matriculam em física esperando um conjunto acabado de conhecimentos”, em relação a algumas das características contextuais do ensino de física nos EUA.

#### **4.1.2. Quarta análise: Algumas leituras da leitura. Indícios para construir uma interpretação da leitura em aula nas disciplinas da Faculdade de Educação, da Licenciatura em Física**

A série de eventos que apresentamos nesta seção permite-nos a construção de uma interpretação da leitura que poderia estar-se realizando nas disciplinas da Licenciatura em Física no espaço da Faculdade de Educação.

##### **4.1.2.1. O papel que os alunos dão à leitura**

Os quadros 10a a 10c são sínteses das respostas dos alunos às questões “*Com qual atividade você acha que aprende mais?*”, colocada para a turma EL643(2000) e “*Na sua opinião, quais das atividades indicadas abaixo são as melhores para se aprender física?*” para as turmas EL643(1999) e EL873 (Anexo 1A); ante essas perguntas os alunos faziam uma valoração de um conjunto de atividades que lhes eram indicadas; dessa maneira eles localizavam, num plano pedagógico, a leitura em relação a outras atividades. Esses quadros nos indicam que os alunos deram, no momento em que foram questionados, uma valoração diferenciada da leitura para o processo formativo. Para as turmas EL643(1999) e EL873 a leitura foi considerada muito importante, no entanto para a turma EL643(2000) a leitura parece ter uma importância menor no processo de formação quando comparada com outras atividades. Mas é importante destacar que esta posição não parecia ter relação, naquele momento, com os professores destas disciplinas em particular, já que as disciplinas EL873 e EL643(2000) foram ministradas pelo mesmo professor, enquanto a EL643(1999) foi ministrada por outro professor; essa posição parece ter relação com a “cultura” escolar, com o sistema como um todo.

**Quadro 10a.** Com qual atividade você acha que aprende mais?\* Turma EL643(2000)

Atividade escolar	Aluno									Posição
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
Participar de discussões em grupo	4	3	2	7	1	1	2	4	7	31
Resolver problemas	2	1	5	3	2	8	3	5	5	34
Solucionar questões	7	2	4	4	3	3	1	8	4	36
Trabalhar em laboratório	6	6	1	5	6	7	4	1	3	39
Ler	3	8	6	2	4	5	5	9	2	44
Assistir a aulas expositivas	1	5	7	1	9	4	7	7	8	49
Ver vídeos	9	7	8	9	7	2	8	2	1	53
Fazer exercícios	5	4	9	6	8	9	6	3	6	56
Escrever	8	9	3	8	5	6	9	6	9	63

\* Os alunos dão uma valoração, de 1 a 8 ou 9, segundo o caso do número de atividades em questão.

A **Posição** é a soma do conjunto de valorações para uma dada atividade e é uma medida da importância que o grupo dá a essa atividade. Quer dizer, na medida em que o valor da posição seja menor, a atividade será mais importante para o grupo.

**Quadro 10b.** Com qual atividade você acha que aprende mais? Turma EL643 (1999)

Atividade	Aluno														Posição
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	
Ler	1	2	4	5	3	7	3	1	3	2	2	1	3	1	38
Ver vídeos	4	1	3	2	5	4	4	7	2	1	1	3	2	8	47
Trabalhar em laboratório	2	4	1	1	2	3	1	6	1	7	6	6	4	4	48
Assistir a aulas	3	3	6	6	8	5	2	3	8	4	3	2	1	2	56
Resolver problemas	8	7	2	3	6	1	5	4	5	6	8	5	7	5	72
Fazer exercícios	5	6	8		7	6	7	2	4	8	5	4	8	3	73
Solucionar questões	6	8	7	4	1	2	6	5	6	5	4	8	6	6	74
Escrever	7	5	5	7	4	8	8	8	7	3	7	7	5	7	88

**Quadro 10c.** Com qual atividade você acha que aprende mais? Turma EL873 (1999)

Atividade	Aluno															Posição
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
Ler	3	1	4	2	5	1	4	1	1	2		1	3	1	1	30
Trabalhar em laboratório	1	2	1	1	1	7	6	2	3	3		2	6	3	3	41
Assistir a aulas	7	5	2	5	4	2	1	3	6	1		3	5	2	2	48
Solucionar questões	2	3	5	4	2	4	3	5	2	7		7	1	4	4	53
Resolver problemas	6	7	3	3	6	6	2	4	4	4		5	2	6	6	64
Fazer exercícios	5	8	8	6	7	5	5	6	5	5		8	4	5	8	85
Escrever	4	4	6	8	3	3	8	8	7	6		6	7	8	7	85
Ver vídeos	8	6	7	7	8	8	7	7	8	8		4	8	7	5	98

O aluno **K** não respondeu completamente à questão, razão pela qual não o levei em conta para a Posição.

Esse e outros resultados, em relação ao papel da leitura no processo de formação de nível universitário, obtidos em primeira instância quando analisei os questionários aplicados às turmas com as quais trabalhei em 1999, levaram-me a buscar outros indícios desse papel da leitura, mediante a análise das discussões dos textos e das entrevistas com alunos dessas turmas. Com este intuito vou apresentar dois episódios, o primeiro acontecido durante a discussão do texto de Prigogine & Stengers com a turma EL789, e o segundo acontecido durante a entrevista com uma das alunas dessa turma.

#### 4.1.2.2. Um indício do papel da leitura na aula: o caso do curso de física nas atividades das disciplinas na Faculdade de Educação.

Em relação ao trabalho com o texto de Prigogine/Stengers na turma EL873, evidenciou-se a falta da leitura do mesmo pelos alunos. Daí que a professora e o pesquisador procuraram detectar algumas condições de produção da leitura, que pudessem explicar esse fato. Parece, como assinala uma estudante ao referir-se ao papel da leitura em algumas disciplinas do curso, que *o texto não é bem o centro da aula, o texto é, com a participação, uma coisa complementar*.

##### Série das aulas 2

<sup>9</sup> **Q:** Não seria interessante, se a senhora, por exemplo pega um texto interessante, a senhora viesse e expõe esse assunto para a gente e a gente discute?

<sup>10</sup> **Professora:** Eu queria ouvir vocês primeiro.

<sup>11</sup> **Q:** O professor X fazia isso e funcionava bem, a gente discutia e participava.

<sup>14</sup> **Q:** Ele não dava texto para ler.

<sup>15</sup> **Q:** Ele trazia um assunto e expunha pra a gente e explicava o que era e dizia qual foi o professor que, falava tudo legal e depois...

<sup>16</sup> **Um aluno:** Discutia com a gente!

<sup>17</sup> **Q:** E fazia discussões, aí a gente participava. Acho...

<sup>27</sup> **H:** Eu não acho que foi bem assim, do jeito que ele disse.

<sup>28</sup> **Professora:** Bem, eu sei. Eu só queria saber os hábitos de leitura de vocês.

<sup>30</sup> **Pesquisador:** Havia uma diferença com o que ele diz? [e indica o aluno Q]

<sup>31</sup> **H:** Ele pedia para ler textos.

<sup>32</sup> **Q:** Mas os textos que ele trazia eram coisas experimentais, dados das coisas que foram feitas.

<sup>33</sup> N: A questão é esta, os textos não eram bem o centro da aula. O texto era, com a participação, uma coisa complementar. Ele sugeria temas para quem quisesse ler e uma coisa assim.

---

Pode-se interpretar, a partir destas falas, que não há uma posição unânime em relação à importância da leitura; o aluno **Q** não parece acreditar na necessidade de um trabalho de leitura e refere a possibilidade de sua substituição por outros meios (como a professora realizar e expor a leitura e a partir daí promover a discussão e participação), no entanto o aluno **H** reivindica uma outra posição em relação à leitura. Mais ainda, a aluna **N** identifica uma interpretação quanto ao papel suplementar que se dá à leitura no curso.

Em relação ao papel da leitura na atividade das disciplinas, tentamos identificar algumas significações dos estudantes entrevistados. Um deles, durante a entrevista, respondeu assim:

### Série das aulas 3

<sup>31</sup> N: Que se eu voltei a ler depois? Não, não voltei a ler depois. E agora assim, se eu acho que as disciplinas estimulam a gente a ler ou não? Bem, não sei. Os cursos da **Profa. B** você sempre vai ler, porque ela gosta de trabalhar com texto, e tem outros professores, uma grande parte dos professores com quem já trabalhei na FE, uma grande parte deles usava muito de texto; Didática, mesmo Estrutura de Ensino, a gente sempre acabava lendo alguma coisa, então, eu acho que depende muito do professor, não depende tanto da disciplina, depende muito do professor, esse negócio de estar usando textos ou não usando textos. Na Física não tem como mesmo, as matérias da Física mesmo, aí não tem jeito, você tem um livro texto para todas as matérias e você tem que ler o mínimo aquilo ou até outras coisas que estão sugerindo, noutros livros. Agora na FE especificamente, como você perguntou, eu acho que depende muito mais do professor. Eu já conversei com alunos, por exemplo, sobre um curso. Ah, eu fiz um curso x com tal pessoa, e umas das perguntas primeiras é isso mesmo, assim: tem muitos textos para ler?

<sup>33</sup> N: Tem muitos textos para ler? Sabe assim. Ah, com tal pessoa tem, com tal pessoa não tem.

<sup>34</sup> **Pesquisador:** E a escolha se faz levando em conta isso?

<sup>35</sup> N: Olha, tem vários fatores, às vezes você tem que, às vezes você acaba pegando um professor numa disciplina que não é do jeitinho que você queria porque você não tem outro horário para fazer, ou coisa assim, mas se você puder escolher, ah, vamos escolher, com certeza, o curso que tem menos leitura para fazer e menos trabalho que passar na sala de aula.

---

Esta fala junto com a que se desenvolveu na aula, quando se discutiu o texto de Prigogine, não expressam um clima tranquilo de leitura. Pelo contrário, elas dão conta de alguma resistência à leitura, em momentos de muita demanda de trabalho escolar, e em

alguns casos essa resistência se faz permanente. Na palestra já referida, a Profa. Howes afirma a esse respeito:

Eles estão acostumados a obter informação dos vídeos e telas de computador e não dos livros. Os professores interpretam essa abordagem na aquisição da informação como ‘necessidade de ser entretidos’ ou ‘como capacidade de atenção reduzida’. Os estudantes continuam sendo, como sempre, brilhantes, mas suas formas de aprendizagem são diferentes daquelas dos seus professores.

A leitura não é uma atividade fácil, ela é um trabalho que, ainda que possa dar prazer, implica esforço. Temos posições diferenciadas neste plano prazer-esforço em relação à leitura, e essa diferença é explicitada durante seu funcionamento. O nível universitário não está a salvo disto. As disciplinas devem integrar em suas atividades o estímulo à leitura e gerar condições que minimizem a idéia de que ela pode e deve ser substituída por outras ações pedagógicas, que ela pode ser “transmitida” e assimilada como por “osmose”. O aprimoramento das condições de produção da leitura em nenhum modo deve levar à sua não realização, mas a uma ênfase sobre a mesma.

#### **4.1.2.3. A busca da definição: uma característica distintiva de relação com os textos quando se procura a apropriação conceitual pelos alunos**

Estes exemplos referem-se à leitura e discussão do texto de Halliday et al. pela turma EL631. No questionário prévio à discussão, para a questão: *quais são as idéias sobre calor e energia que o autor apresenta?*, seis dos nove alunos da disciplina apresentaram as seguintes respostas<sup>27</sup>: “Calor é energia e se irradia. Um corpo não pode ter calor mas sim irradiar calor”, “Definição de calor, distinção entre calor e temperatura, associação entre calor, energia e trabalho. Absorção de calor. Primeira lei da termodinâmica”, “Calor é sinônimo de energia. É a energia em trânsito entre dois corpos devido a diferença de temperatura entre eles! Um corpo não possui calor!”, “Os autores definem calor como a energia que flui entre um sistema e sua vizinhança, e diz que a energia em trânsito (no caso termodinâmico) é o calor menos trabalho”, “Calor é a energia que flui entre um sistema e sua vizinhança como consequência da diferença de temperatura que existe entre eles, o autor insere o conceito de calor como uma forma (ou



tipo) de energia: calor é a energia que...”.

Na discussão sobre o mesmo texto, gravada em áudio, para a questão: *o que disse ele [o texto, o autor] do calor?*, os alunos deram respostas como as indicadas nas seguintes falas<sup>27</sup>:

#### Série das aulas 4

<sup>69</sup> **G**: calor é energia que muda de um sistema para o outro, é isso o que ele coloca exatamente.

<sup>70</sup> **D**: até o extremo de uma definição, de uma frase única até que ficou boa [confuso]. Calor é energia que flui entre um sistema e sua vizinhança como consequência da diferença de temperatura. Eu achei que ficou até interessante uma frase única definindo calor.

<sup>71</sup> **B**: ele definiu calor como uma energia que flui numa vizinhança, de um corpo para a vizinhança e da vizinhança para um corpo. Nesse fluxo, o que que pode acontecer? duas coisas: uma mudança de temperatura, no caso uma variação de energia interna ou mudanças de temperatura ou a realização de algum trabalho. É isso que o Halliday tá preocupado em ensinar. Agora para mim, em minha opinião, tá bem mostrado isso.

<sup>81</sup> **Pesquisador**: O que ele define como calor? Acho que vocês quando lêem buscam uma definição, calor é tal coisa.

<sup>82</sup> **D**: calor é isso!

<sup>83</sup> **Pesquisador**: Acho que ele não tenta definir calor. Então, eu volto a perguntar: Que disse ele sobre calor? Então eu quero colocar a questão: o que disse ele de calor?

<sup>84</sup> **A**: bem, calor é energia

---

O texto, objeto da leitura discutida em aula, tem *definições*<sup>28</sup>, mas também tem conceituações muito mais desenvolvidas. Quanto às questões colocadas nas duas atividades comentadas, elas não ficam restritas à busca de uma definição simples, elas buscam uma maior elaboração. Por que ao solicitarmos aos estudantes que *conceituem* uma temática tratada no texto eles dão *definições* simples? Por que esse deslocamento na linguagem, que manifestam durante o processo discursivo em aula? Por que esse deslocamento que busca a definição, isto é, a declaração da essência das coisas, mas não a conceituação, ou seja, a essência das coisas? Que condições produzem este tipo de funcionamento discursivo e da leitura do texto? Será que a leitura que os estudantes realizam é sempre assim, ou seja, aparentemente restrita à busca de definições nos

---

<sup>27</sup> Os grifos são nosso.

<sup>28</sup> Assumimos definição aqui como uma locução, geralmente curta, que busca o fechamento de sentidos; por exemplo, A é B: “energia é a capacidade para fazer trabalho”.

textos? É evidente que os eventos descritos têm condições que os produzem, e que estão além do próprio texto que é objeto de leitura.

O que notamos nesse exemplo, é uma leitura que privilegia determinados aspectos do discurso do autor; uma relação com o texto que parece dificultar que na leitura se estabeleçam elos entre *significado*, *significante* e *referente*; uma relação que não parece contribuir para que o estudante se aproprie da essência das coisas, a conceituação, enquanto as define.

Esta leitura, certamente, não se restringe ao texto, mas tem relação com a exterioridade, com outras leituras, outras aulas, e outras cobranças de leituras (estudos) feitas pelos e aos estudantes, com o discurso da ciência e da física, em particular, instaurado através de seu ensino. Aparentemente, a explicação para a seleção que eles fazem do que “interessa” no texto não está apenas nele próprio, mas também na sua exterioridade, que os permeia através do interdiscurso da ciência ou do ensino dela, que se instala nas aulas e nos livros.

Temos indícios, pelas respostas aos questionários, pelas filmagens e entrevistas, de que em geral se notou em um importante número de alunos, durante a discussão dos textos, uma permanente busca da definição, isto é, da declaração da essência – substancial, nominal ou de significado –, mas não do conceito, quer dizer, do procedimento que possibilita a descrição, classificação e previsão dos objetos cognoscíveis (Abbagnano, 1996), sem ficar atrelado a um ponto de vista parafrástico. Acreditamos que esta forma de se relacionar com o texto, certamente acontece durante o processo de leitura de textos de ciência de uma maneira generalizada. Intuímos nessa leitura uma procura metalingüística – na direção de criar um corpo normativo, no modo do exercício da “*determinatio*” na pedagogia religiosa do século XIII (Haroche, 1992) – que busca fugir das indeterminações e ambigüidades da língua e da relação de não-coincidência com ela mesma e com sua exterioridade (Authier-Revuz, 1998).

Esta definição rígida, “A é B”, com limitação polissêmica, que estimula a automatização no raciocínio e a geração de conclusões exclusivas, é uma marca meta-

lingüística característica do discurso pedagógico – DP. Este DP, como foi dito, se dissimula como transmissor de informação com o propósito da cientificidade, apelando à metalinguagem e à apropriação do cientista pelo professor, metalinguagem na qual o tratamento do fato fica subsumido, no DP, pela fixação de definições; nesta metalinguagem se esquece que os conceitos têm história e se fragmenta o conhecimento (Orlandi, 1996).

Instala-se de fato uma relação de interdiscursividade com o que tem sido o propósito e a ação mais ou menos permanente do texto e da aula de ciência – e inclusive da própria ciência, isto é, a busca da significação através do fechamento e da determinação de relações de sentido por meio do enunciado da lei, o princípio, o conceito etc., na busca de identidade.

Assim, pode-se concluir, desta série de indícios, que a leitura que se promove e é feita por um importante número de alunos é uma leitura na qual parece dificultar-se o *approach entre significado, significante e referente*; desse modo destaca-se uma leitura do texto científico que busca a definição rígida, “A é B”, definição que: leva em seu bojo uma limitação polissêmica porque se dirige para a criação de um fechamento de significado e um corpo normativo; estimula a automatização no raciocínio e a geração de conclusões exclusivas; e é uma marca metalingüística do DP. DP que se dissimula como transmissor de informação com o propósito da cientificidade e metalinguagem, que esquece que os conceitos têm história e fragmenta o conhecimento estimulando uma relação com o texto que não contribui para que o estudante se aproprie da essência da coisa, a conceituação, enquanto a define. Já que o tipo de leitura descrito não se restringe ao texto, mas tem relação com sua exterioridade – outras leituras, outras aulas, outras cobranças de leituras feitas pelos e aos estudantes – e no curso lhe é dado um papel suplementar, somos levados a pensar que ela é produto da “cultura” escolar e do sistema escolar como conjunto. Enfim esse tipo de leitura está relacionado com o discurso da ciência e da física, em particular, instaurado através de seu ensino.

Evidenciamos que alguns alunos acreditam na possibilidade da substituição da leitura por outros meios e parece haver uma resistência a sua realização, em momentos

de muita demanda de trabalho escolar, e em alguns casos essa resistência se faz permanente. De fato “*Eles estão acostumados a obter informação dos vídeos e telas de computador e não dos livros*” como o afirma a Profa. Howes no caso dos alunos norte-americanos.

#### **4.1.2.4. Como lêem os alunos e como foram lidos os textos? A leitura na mediação do conceito**

Convencido de que não há leituras previstas para um texto, em geral, como se o texto fosse auto-suficiente em seus sentidos e de que o modo (ou modos) de leitura está relacionado aos propósitos a que o sujeito leitor se proponha com ela e com os significados que emergirem da leitura, acredito que é possível identificar tipos de leituras desenvolvidas pelos alunos em relação aos textos divergentes que foram postos em funcionamento durante o trabalho pedagógico que sob esta pesquisa foi realizado. E é com o intuito de identificar esses modos de leitura e confrontá-los com os que considero demandados pelo *mecanismo polêmico* (Maingueneau, 1997), implicado na leitura de textos divergentes, que vou caminhar agora. Esta análise nos informa, assim, de condições de produção relacionadas com esses modos de leitura.

Como afirmei antes, poucos estudantes expressaram, nos questionários, significações que revelam dispersões do conceito de energia acima do patamar da mecânica clássica. Além disso, esse patamar não é apreendido amplamente por alguns dos alunos, como pode ser indiciado pela análise dos quadros 12. Levantamos a hipótese de que entre algumas das razões que explicam isso está o tipo de leitura que eles fazem. Isto está relacionado com a história de leitura dos alunos e afeta a capacidade de apropriação dos conceitos, por exemplo, quando a leitura só procura buscar respostas a questões fechadas, previamente elaboradas pelo aluno leitor. Esta restrição dificulta alcançar o que o autor poderia nos dizer, se esse dizer estiver além das questões fechadas, o que dificulta ouvi-lo. A este respeito Orlandi (1996, p. 184) sinaliza que “Uma primeira forma de abordagem da maneira como o leitor se representa, no processo de leitura, pode ser observada pelo fato de que a leitura é seletiva, isto é, há vários modos de leitura...” e identifica esses vários modos, de acordo com: que o leitor dê

relevância à relação do texto com o autor, com outros textos, com seu referente ou com o próprio leitor; a maneira como o leitor represente a sua relação com a situação e o contexto da leitura; a relação ou distância entre o leitor virtual – que constrói o autor – e o leitor real. Assim, para tentar identificar o que o autor diz, para realizar uma leitura comparativa entre textos, para identificar o que os textos dizem das noções em estudo e para que o leitor possa analisar-se em relação ao que entendeu naqueles textos, acredito que um processo de leitura necessário de ser realizado pelos alunos para compararem possíveis significados implicados nas leituras divergentes é um processo que dá relevância aos distintos modos de relação do texto com o autor, com outros textos, com o referente e com o leitor. Só assim pode se desenvolver nele (sujeito leitor) o “mecanismo polêmico” que reconstrua as FD<sup>as</sup> implicadas nos textos divergentes sob análise.

Acreditamos que a leitura pode ser um meio que permita a apropriação dos conceitos, mas a maneira como o leitor se relaciona com um determinado texto pode ampliar ou reduzir os resultados da *mediação* autor-leitor realizada pelo texto. Assim, este é um meio que, além de permitir revelar os diferentes significados de um conceito que o aluno possa ter, medeia o desenvolvimento conceitual. Interessava-nos, então, identificar nos alunos as formas de se relacionarem com o texto, saber se têm uma única maneira de ler, identificar que aspectos preponderam nessa relação e comparar estes modos de leitura com as demandas da atividade de leitura com textos divergentes. Então, buscaram-se respostas às seguintes questões: *Quando você vai estudar um texto, como se relaciona com ele? Para que você lê? Como foram lidos os textos divergentes?*, às quais os estudantes entrevistados responderam como segue:

### Série das entrevistas 2

<sup>3</sup> **Pesquisador:** Para clarificar mais ainda esse jeito, Wanderley Geraldi fala de algumas das maneiras como as pessoas se relacionam com o texto; ele por exemplo fala de quatro formas: *perguntar ao texto, escutar o texto, por lazer e com intenção pragmática, utilitária*. Você tem alguma destas maneiras ou tem outra?

<sup>15</sup> **Pesquisador:** No caso das leituras que fizemos, livro de Feynman e Prigogine, a leitura foi desse mesmo jeito?

<sup>4</sup> **F:** Eu acho que duas. Uma que é, você lê sem fazer perguntas, eu leio para tentar ver a visão do autor que

está passando. Eu leio textos assim. Eu tenho duas. Uma seria para textos normais, vou falar normais, são textos que eu leio assim: livros, alguma matéria da Pós, algumas coisas mais, outra seria parte do componente de meu mestrado: artigos científicos, textos de livros, então. Nesses dois aspectos. O primeiro seria de textos normais, seria como, que eu ler e tentar ver só a visão do autor, sem fazer perguntas. Eu nunca fiz isso. Pelo menos eu não percebi. Ler e fazer perguntas. Eu só leio, vejo a visão do autor, depois tento comparar com algumas coisas que eu vi, mas não fazer perguntas, não, “ah, porque isto?”, durante a leitura. A outra parte, com textos mais de aspectos científicos, voltados para meu mestrado, seria, aí sim, aí eu leio um texto e como já tenho um trabalho sinalizado, aí eu tenho que relacionar algumas coisas do texto com o meu trabalho. Então aí divido em dois, dois textos em duas visões.

- <sup>12</sup> **F:** Se fôssemos ficar nesses dois textos, a maneira que eu leio, talvez, que segue assim, rigorosamente, por exemplo: o livro do Feynman que é mais simples eu li normal, sem ter que, um pouco mais prendendo os detalhes, porque é um pouco mais fácil. Se pegasse o livro de Prigogine, se me passasse o texto e me dissesse: dá uma lida aí e depois me fala o que você gostou e o que você achou mais interessante. Eu li ele de uma forma, também geral e as situações de história que eu achei, isso aqui, não tinha percebido que era assim esse negócio, que não sei o que da termodinâmica, então eu falo agora isso aqui, foi interessante o texto, foi uma coisa nova que me chamou atenção na hora que eu estava lendo o texto. Mas, talvez aquela diferença do conceito da conservação da energia com o conceito da conservação da variação\* da energia, eu não ia, talvez passaria ele sem perceber, mas talvez esse detalhe que aparece aqui é uma coisa nova para mim.

\* diferença (nota nossa)

- <sup>10</sup> **A:** Nem sempre, nem sempre. Por exemplo, existem leituras, por exemplo, durante o curso de graduação, que você realmente é obrigado a fazer, os livros textos e tudo mais, e muitas vezes não extrai, e não acrescenta nada, né? Principalmente alguns textos que são de fato usados, os livros textos das disciplinas. A gente é obrigada a recorrer a outros textos para complementar, correr atrás, e realmente tragam esse retorno que a maioria das vezes a gente não encontra. E a idéia nesse aspecto, da leitura, é realmente apreender aquele conteúdo para chegar num exame, numa prova, e realmente colocar aquilo para fora.
- <sup>11</sup> **Pesquisador:** Espere, para precisar isso. Porque você diz, por prazer em alguns casos, no caso da Universidade está obrigado a ler, então há que apreender um determinado conteúdo. Quando você procura apreender esse determinado conteúdo vai ao texto buscando esse conteúdo que está procurando ou vai sim, simplesmente, ver que diz o texto?
- <sup>12</sup> **A:** Não. Vou procurando entender aquele conteúdo.
- <sup>14</sup> **A:** Entendi. Entendi. Às vezes se vai simplesmente para ver se, de repente, você encontra alguma coisa, certo? e noutro caso você tem essa intencionalidade. Por exemplo, se já tem um determinado conteúdo que você, talvez por intuição ou por alguma outra disciplina, desperta alguns interesses e algumas dúvidas. Certo? Procura esse texto pela idéia ou pela vontade de sustentar, cobrir aquelas lacunas ou sanar aquelas dúvidas, independente de estar ligado ou não a uma disciplina que você vai fazer ou não. Eu acredito que acontecem as duas coisas. Existem conteúdos que despertam essas perguntas. Agora, na maioria dos casos, ir por simplesmente ir, para ver o que acontece, não faço isso. Principalmente pelo momento em que a gente está. Final de curso, a gente não tem muito tempo para respirar. E esses tipos de leituras. Entendeu? São realmente, assim, acho, acredito quando se está numa fase, assim, mais livre, mais tempo, mais livre para poder procurar e pesquisar as coisas.
- <sup>16</sup> **A:** Eu acredito, assim, fui com a curiosidade para ver o que que vou encontrar nesse aspecto. Por que a energia está sendo proposta nessas leituras? Aí você já entra com um pé atrás, achando que realmente deve ter alguma coisa interessante. Certo? Quando já é exposta uma leitura desse tipo. Então, já entra com uma certa curiosidade a respeito daquilo, e isso ajuda a leitura, essa predisposição que desperta.
- <sup>10</sup> **N:** Onde eu me enquadraria? Eu acho assim, quando eu tou lendo no caso que você tem, por exemplo na estrutura da matéria, que a gente usa o livro do Eisberg, se é uma matéria assim que já foi

discutida em sala de aula e eu fiquei com alguma dúvida, alguma coisa assim, aí eu posso até ter pergunta que eu vou buscar no texto, mais normalmente a leitura é muito para saber assim, para buscar o que ele tem para me dizer.

---

Ao buscar identificar os modos de leitura mais freqüentemente realizados por estes estudantes, pela via de questioná-los em relação aos tipos de leitura que indica Geraldí (1996), buscava que eles se questionassem em relação a seus modos de leitura, adquirissem consciência disso e o expressassem. A análise das respostas a essas questões indica modos diferenciados de leitura dos alunos entrevistados. O aluno **F** indica um modo de leitura que enfatiza a relação do texto com: 1) o autor – o que o autor quis dizer? – quando diz reiteradamente e de várias maneiras “*leio para tentar ver a visão do autor que está passando*”; 2) outros textos ao afirmar “*depois tento comparar com algumas coisas que eu vi*” ou “*aí tenho que relacionar algumas coisas do texto com o meu trabalho*”; 3) o referente – o que o texto diz de x – ao dizer, p. ex., em relação a conteúdos “*o que da termodinâmica*” ou “*aquela diferença do conceito da conservação da energia com o conceito da conservação da variação da energia*” e 4) ele como sujeito leitor – o que eu entendi de x?, quando, p. ex., diz “*e as situações de história que eu achei, isso aqui, não tinha percebido que era assim*”. No entanto, o aluno **A** enfatiza a relação do texto com: 1) o referente, quando diz, p. ex., “*Não. Vou procurando entender aquele conteúdo*”, onde parece, pelo contexto, que conteúdo aqui é *o que se diz de x*; 2) o autor, ao dizer, p. ex., “*fui com a curiosidade para ver o que que vou encontrar nesse aspecto. Por que a energia está sendo proposta nessas leituras?*” e 3) ele mesmo, ao dizer, p. ex., “*Procura esse texto pela idéia ou pela vontade de sustentar, cobrir aquelas lacunas ou sanar aquelas dúvidas*”. E a aluna **N** enfatiza a relação do texto com: 1) o referente, quando busca conteúdos como “*estrutura da matéria*” ou “*uma matéria assim que já foi discutida em sala de aula e eu fiquei com alguma dúvida*” e 2) o autor, ao dizer, p. ex., “*para buscar o que ele tem para me dizer*”.

Assim pois, o que eles têm em comum é a busca na leitura de *o que se diz de x* e *o que o autor quer dizer*, embora as condições de trabalho escolar, como foi indicado pelos alunos **A** e **N**, os obrigue a dar ênfase, em alguns momentos de muita demanda, apenas à relação do texto com seu referente.

#### 4.1.3. Quinta análise. O lugar de onde falam: estudantes de física ou professores de ensino médio?

Quando opinam em relação aos textos, os alunos pareceram estar pensando no ensino médio<sup>29</sup>; é o que evidenciamos na fala de alguns deles. As séries de falas que a seguir analisamos, apontam para entender que o *locus* a partir do qual falam é o lugar do professor de ensino médio. Começamos por um recorte de uma discussão, na EL873, em relação à metáfora que usa Feynman para falar da conservação da energia:

##### Série das aulas 5

- <sup>15</sup> C: Eu achei legal essa idéia. Às vezes estamos em sala de aula; eu acho que em sala de aula é mais complicado, porque em sala de aula precisamos achar um exemplo para outro pessoal, simplificar uma idéia que, às vezes, estamos assistindo em um livro lá, e eu acho que é interessante, eu acho interessante porque se pega um exemplo que não tinha visto em lugar algum ainda, se vai falar sobre conservação da energia, não o que é a energia? Parece-me interessantíssimo, a idéia que se está abrindo para o pessoal que está dando aula, me parece interessantíssimo.

---

Esta fala, ao mostrar a posição do estudante na aula, remete para a formação ideológica associada com a visão dos estudantes sobre eles próprios na sua relação presente ou futura com a profissão: como professores.

Além do mais, ele se coloca “assistindo em um livro” como em um cerimonial, respeitando o conjunto de normas estabelecidas pelas condições da solenidade do ato, solenidade que se transfere para dentro da aula e que se rege pelo sentido do DP, rito que desde agora deve acompanhar; cerimônia onde o professor, autoridade titulada para ler o texto, é detentor daquele conhecimento apropriado ao cientista, que deverá passar para “outro pessoal”, incluindo o aluno de ensino médio. Nesse ritual, o livro experimenta uma metamorfose e passa de instrumento mediador, no qual aluno e professor significam a relação homem/mundo, a objeto que deve ser sabido.

Tentando compreender outros ângulos da leitura que os alunos haviam realizado,

---

<sup>29</sup> Este estudo foi realizado na turma EL873, que é a disciplina de Prática de Ensino e Estágio Supervisionado.



lembramos a eles, na seqüência da aula, que queríamos a opinião deles como estudantes de educação superior. Dessa forma, procuramos colocar em cena formações ideológicas diferentes, relacionadas à posição deles como estudantes.

Ao agirmos dessa forma estávamos assumindo, ainda que inconscientemente, que o que está em jogo na leitura, no processo discursivo nela implicado, na aula de física, não é apenas a informação de conteúdos da disciplina, selecionados e redigidos pelos autores do texto, mas efeitos de sentidos entre os sujeitos da leitura, que vão muito além dessas informações. Almeida e Silva mostraram em um trabalho que “expectativas mútuas entre professor e alunos condicionam práticas e atitudes que levam a um distanciamento crescente entre pretensões pedagógicas e práticas efetivas” (1994, p. 103).

Mesmo aqui, estas expectativas são reiteradas e a entrevista com alguns dos alunos nos informa a respeito.

Analisamos, mais à frente (seção 4.2.1), o ordenamento feito pelos alunos da turma EL873 de seis textos que expressam a dispersão do conceito de energia frente a diferentes racionalidades – realista ingênua, do empirismo positivista, clássica, relativista, discursiva e caótica – com a intenção de identificar seu patamar conceitual; evidenciamos mediante esse recurso níveis conceituais diferenciados nos alunos. Mas agora queremos, nessa atividade, aprofundar um aspecto do *locus* de leitura – a formação ideológica na qual se posicionam os alunos – do qual eles fazem interpretações dos textos, como constitutivo das condições de produção da leitura. Em particular queremos evidenciar como a posição na qual eles se colocam perante os textos produz efeitos de leitura que são exteriores a esses textos. Veja-se a seguinte fala das entrevistas aos alunos:

### Série das entrevistas 3

<sup>45</sup> **Pesquisador:** Em relação à organização, por grau de abrangência, das leituras relativas a visões dispersadas do conceito de energia, você as organizou de um jeito que em alguns casos contradiz essa característica de abrangência. Por exemplo, colocou a visão clássica compreendendo a quântica.

<sup>46</sup> **F:** Aí acho que foi, que talvez eu estava pensando um pouco no segundo grau e aí, talvez se eu quisesse

colocar, passar a idéia de que houve uma evolução, da teoria clássica e depois a quântica, então eu queria falar, talvez mais, por ordem de aparecimento, talvez histórico.

---

Embora a questão que se colocava para organizar os textos, “*Gostaríamos que você os ordenasse segundo o poder que têm para explicar a energia (de maior para menor poder explicativo)*”, fosse explícita quanto a que comparassem o poder de explicação do conceito de energia em cada um dos textos, a interpretação deste aluno foi atravessada pela posição imaginária como professor de educação média<sup>30</sup>, quando indica que “*estava pensando um pouco no segundo grau*”. Porém esta formação ideológica, naquele momento, poderia ter-se convertido em uma condição de produção da leitura para aprofundar na busca de racionalidades que estão além da racionalidade clássica.

Tentando contradizer a explicação anterior, poder-se-ia dizer, de maneira mais simples, como verdade primeira, que a razão da resposta explicativa deste aluno está no fato de que ele fora pego em flagrante respondendo de maneira incorreta a algo que ele admitia dever saber, e para não reconhecer esse seu desconhecimento, remeteu-se para a apologia “*estava pensando um pouco no segundo grau*”. Pensemos a partir de outra perspectiva. Desloquemos este aluno da Faculdade de Educação para outro local: uma disciplina no Instituto de Física. Neste outro local, a resposta explicativa deste aluno ante o mesmo fato seria a mesma? Arriscamo-nos dizer que não. E esta nossa resposta tem a ver com a sexta análise, que realizamos mais adiante. Lá, no Instituto de Física, ele tem que mostrar que sabe o conteúdo de física ou dar outra explicação, se for pego em flagrante nesta “falta”; a explicação “*estava pensando um pouco no segundo grau*” não é cabível nesse lugar. Lá, o aluno não se preocupa em *como* um conteúdo deve ser dado. Lá, a preocupação é o conteúdo mesmo. Isto nos informa que há de fato um interdiscurso que percorre a formação de professores de física, que independe de um professor ou de um aluno em particular, que é o *desdobramento* que discuto na próxima análise.

Os efeitos que referimos com estas duas séries estão relacionados com as posições ocupadas no processo instaurado em aula e fora dela. E essas posições não são traços

---

<sup>30</sup> É imaginária porque ele nunca tinha sido professor de 2º grau.

objetivos, mas formações imaginárias, atribuídas pelos próprios alunos e por outros elementos da “sociedade escolar”, incluindo o professor e o pesquisador, quando este último faz parte do processo pesquisado. Dessa forma, constituem-se as condições de produção, como um vetor configurado com representações ou formações imaginárias dos sujeitos do discurso escolar.

#### 4.1.4. Sexta análise: Que lugar é esse onde se dão as disciplinas da Faculdade de Educação? Expectativas de alunos de Licenciatura em física.

Tal qual as expectativas de vida das pessoas – por exemplo, no caso dos alunos da licenciatura que se percebem como professores ou futuros professores –, as expectativas que eles têm da universidade, da faculdade, do lugar onde estão se formando, de seus professores, vai condicionar sua atividade de leitura e suas outras ações no processo educativo.

Buscando identificar algumas dessas expectativas, perguntamos aos alunos da turma EL643(2000): “*O que você gostaria que fosse discutido nesta disciplina sobre o tema **energia**? E sobre **a leitura** como atividade escolar? E sobre **a pesquisa** que se faz na educação em ciência?*” (Anexo 1B). As respostas nos dão indícios em relação a representações do que os alunos esperam de uma disciplina na Faculdade de Educação. Vejamos no Quadro 11 o que eles expressavam.

Quando se buscam significados dessas respostas, encontra-se que, quase a totalidade, com exceção do aluno **E**, opina, sobre *o que gostaria que fosse discutido*, separando o conteúdo (*o quê*) da forma como se trabalha o conteúdo (*o como*), onde *o como* é, majoritariamente, o mais desejado.

Embora se estivesse querendo trabalhar conteúdos de física nas atividades com os alunos – o que deve ser perfeitamente cabível num curso de licenciatura – não dissociados das formas de trabalhar com esses conteúdos, os alunos pareceram **desdobrar** o propósito educativo, distinguindo em suas representações as duas coisas e revelando que o que eles vem buscar na Faculdade de Educação é *o como* dar aulas, porque os conteúdos, *o quê*, o conteúdo da ciência específica, eles procuram em outro

lugar, na Física. Esta ruptura não se cria em disciplinas específicas do curso, ela se configura na

**Quadro 11. Representações em relação ao que os alunos esperam de uma disciplina na Faculdade de Educação**

**O que gostaria que fosse discutido?**

<b>Aluno</b>	<b>Sobre o tema <i>energia</i></b>	<b>Ele busca</b>
A	Como trabalhar o conceito?	o como
B	Resolução de problemas	o como
D	Como explicar o que é energia?	o como
H	Unificar meu raciocínio nos temas da física através da energia	o como
E	Reflexões sobre o conceito e como introduzi-lo no universo do aluno	o como/o quê
F, G	Sua conceituação	o quê
C,I	não indicam especificamente	?

<b>Aluno</b>	<b>Sobre a <i>leitura</i> como atividade escolar?</b>	<b>Ele busca</b>
A	Como abordar os textos na tarefa didática?	o como
C	Como a leitura auxilia na aprendizagem	o como
E	Maneira de usá-la, relacionada ao objetivo de interessar ao aluno	o como
F	Como usá-la na atividade escolar e em quais casos é indicada	o como
D	Que tipos de texto trabalhar em EM?	o como
G	Que tipo de leitura é mais importante para o aprendizado	o como
B	É útil o que se lê na escola?	o quê
H,I	não indicam especificamente	?

<b>Aluno</b>	<b>Sobre a <i>pesquisa</i> na educação em ciência?</b>	<b>Ele busca</b>
C	Como é feita, aspectos relevantes ...	o como
F	Aplicação à escola e como levá-la ao professor de EM	o como
G	A pesquisa em educação ajuda a aprender ciência?	o como
H	Aplicações de informática na educação	o como
A	Atualização	?
B	Sob que enfoque se pesquisa?	o quê
E	Tudo	?
D,I	Não indica especificamente	?

própria estrutura do programa, quando se parcelam de maneira disciplinar, exageradamente, as competências e os espaços nos quais se desenvolve, e nas relações sociais entre os sujeitos – professores e alunos. Esta interdiscursividade acaba passando para o aluno, ele não tem como fugir dela, e se expressa nas expectativas que se formam em relação aos componentes do currículo e também na leitura que realiza.

#### 4.1.5. Sétima análise: **Cristalização do conceito de energia, enfatizando a conservação. Paráfrases do dito em textos e aulas?**

Quando analisamos as falas dos alunos entrevistados da turma EL873, diferentes razões emergem para explicar por que se enfatiza a conservação à frente de outras significações de energia, por exemplo: o tipo de leitura dos textos – como um deles disse, “de forma geral”, “sem pegar os detalhes” –, uma estruturação do conceito que enfatiza a noção de conservação, “por estar mais estruturada”, “reforçada na cabeça do aluno”, apagando as outras idéias, as outras noções ou subjugando-as, submetendo-as ao domínio da conservação como dispôs o paradigma da física “newtoniana”.

#### **Série das entrevistas 4**

<sup>43</sup> **Pesquisador:** ... Por que a maioria não achou as noções de transformação, formas, quantização da energia e só identificou conservação da energia nos textos estudados?

<sup>44</sup> **F:** São duas respostas. A primeira seria, talvez, eles estão lendo como eu, de uma forma geral, estão lendo assim da forma diretamente como eu falei, sem se prender a detalhes. Talvez nessa leitura geral, essas formas de energia, talvez elas não entrem tanto, tão explícitas assim, tão fáceis de se perceber, talvez eles leiam de uma forma que não é fácil de perceber, e se prendem à conservação da energia que é uma coisa, o básico. A outra resposta é que o pessoal já vem com essa noção de, as formas de energia, por exemplo, já está bem estruturada nas cabeças deles, que têm energia térmica etc., mas aí a conservação da energia talvez seria um degrau acima desse conceito de formas de energia. Então já vêm com esse conhecimento prévio de conservação, então já vai lendo, enfocando para alguma coisa. Então já vai lendo, esperando que o cara vai falar de conservação, então tudo o que o cara fala já lê conservação.

<sup>12</sup> **N:** O texto do Feynman, até que foi, assim, um pouco mais produtivo; eu acho, Prigogine foi um pouco mais restrito, pelo que eu me lembro, também não lembro direito. Não sei, talvez porque isso esteja mais reforçado na cabeça das pessoas. Será que é isso? A gente já sabia a priori que o texto era sobre conservação de energia ou isso estava logo no começo, não lembro direito. Mas, talvez seja por isso, por a gente não discutir tanto isso, por exemplo, diferentes formas que a energia se apresente, tá, tá, tá, tá, tá, tal. Porque quando a gente vai aprender, a gente já aprende dessa forma, dessa questão da energia ser conservada; então não sei, porque isso esteja mais forte nas cabeças das pessoas.

<sup>14</sup> **N:** Não sei se se esquece, mas eu acho que o outro fica muito mais evidente. Se aquilo está na sua cabeça fica mais fácil você reconhecer aquilo. Não sei. Talvez seja isso.

---

Parece se produzir uma cristalização do conceito, que afeta sua apreensão completa em uma dada racionalidade, *a fortiori* a apreensão de outras significações que possam estar formando parte da mesma rede conceitual e que estariam em um patamar racional diferente, por exemplo, a noção de conservação das diferenças qualitativas, que é uma noção introduzida no texto de Prigogine & Stengers, que foi discutido na aula, que está localizada na racionalidade caótica, ou outras que têm relação com a física quântica-relativista, e, inclusive, significações que possam emergir do cotidiano do aluno.

Livros e aulas, após a emergência histórica – década de 1840 – deste significado – a conservação da energia – enfatizam a sua importância em relação às outras, como se a simples enunciação da conservação compreendesse também as outras significações. Além disso, apagam-se as condições para que a própria significação de conservação possa ser considerada, p. ex., a condição de sistema isolado.

#### **4.1.6. Oitava análise: A necessidade dos outros na mediação do conceito.**

A noção de mediação social, como temos dito, é uma noção-chave no processo de desenvolvimento cognitivo, e por isso constitui-se num aspecto crucial do processo de instrução. O simples enunciado de um conceito não é suficiente para sua total apropriação pelo aluno; é preciso que sejam estabelecidas pontes intersubjetivas complexas para que tal apropriação ocorra. Daí que qualquer intento por identificar formas específicas do funcionamento dessa mediação, em um contexto específico como este da formação de professores de física, passa por conhecer a significação que têm os próprios alunos do papel mediador do outro – colega, professor, pesquisador, a voz do cientista ou do autor – na apropriação conceitual; a entrevista com alguns alunos permitiu-nos identificar algumas dessas significações. O conjunto de falas que seguem nos dá alguns indícios do reconhecimento pelos próprios alunos do papel dos outros. O que reitera os resultados que exprimimos na análise das falas de aula.

Quando questionamos os estudantes sobre o papel que tem a relação de interlocução no desenvolvimento do seu conhecimento, eles responderam:

### Série das entrevistas 5

- <sup>27</sup> **F:** A discussão entre iguais é importante. Se tem as visões, se tem sua idéia do outro, se compara as duas, se escolhe a melhor e se progride.
- <sup>26</sup> **N:** Estava comentando a você assim. Depende muito, sabe; você perguntou, se fecha ou não no que as outras pessoas sabem?, ou se se concentra no que está sendo falado lá? Sim, isso depende muito de quem é, por exemplo. Porque, por exemplo, têm alguns, alguns colegas que você já sabe de antemão que linha de comentários eles vão fazer e coisas assim, então você presta atenção ou não, dependendo de como você está no dia. Entendeu?, assim. Agora, de outro lado, tem alguns colegas que a linha, os comentários deles, você já sabe que vêm em uma linha que nem vale a pena ouvir. Entendeu? Então, às vezes acontece, mesmo, de você se concentrar mais na pessoa que está falando, mesmo, e não ouvir, mesmo; se tentar desligar dos comentários que estão em volta e às vezes você participa dos comentários mesmo, dependendo de que está sendo falado às vezes, alguém, se ouve alguma coisa assim que interessa e aí se presta atenção. ...Esse grupo especificamente assim. Às vezes surgem umas discussões paralelas assim, temas assim de discussão que às vezes são coisas interessantes até. Eu gosto de falar daquela turma que está. Muita gente, assim, entrou no mesmo ano que eu, somos turmas de 95, então tem um pessoal que eu conheço faz bastante tempo e tal, então às vezes surgem algumas conversas que valem a pena mesmo.

---

O primeiro aluno reconhece de forma absoluta o papel dos pares na mediação para progredir na aprendizagem, enquanto que a aluna N “relativiza” esse papel mediador dos outros, coincidindo, nesse aspecto, com a posição do terceiro aluno entrevistado, como se observa nas falas seguintes.

### Série das entrevistas 6

- <sup>53</sup> **Pesquisador:** Você acha que é só o texto ou também há outras coisas que influenciam? Por exemplo, se o texto de Poincaré o houvesse lido um estudante, e não a professora ou eu, você acha que o efeito teria sido o mesmo, ou não?
- <sup>54</sup> **A:** Eu acredito que sim, mas eu acho talvez na maioria dos casos não seja, mas, eu acho uma questão mais particular, de cada pessoa. Entendo onde você quer chegar. Ah, José Luis está lendo, né?, ou, é a Profa. **B**, né?, mas no outro era um colega de igual. Mas, eu acho que em minha opinião eu presto atenção a quem está assinando, não quem está lendo.

---

Mais ainda, este aluno, expressando sua resistência à “estrutura social da escola” – que se instaura pelas formações imaginárias que cada um dos membros da aula tem dele e dos outros e sua relação com o objeto de estudo – existente na sala de aula, prioriza a mediação do cientista, do autor e busca o que a ideologia da ciência lhe apresenta. Dá-se aqui, uma relutância ao DP pela busca “direta” da ideologia da ciência no próprio texto.



Ainda assim, este aluno reconhece a importância, “na maioria das vezes”, da ação dessa estrutura social no processo de mediação.

Aqui evidenciamos uma atenção diferenciada, por parte desses alunos, das diferentes formas de mediação que nesse espaço escolar especificamente ocorreram. Essa atenção condiciona a forma como funcionam as diferentes discursividades (a ciência, a escola etc.) que poderiam estar operando na aula.

Podemos concluir esta parte da análise dos resultados, afirmando que a identificação deste conjunto de condições de produção verifica a existência de um DP que se dissimula como um discurso neutro, procurando transmitir informação em relação à ciência, mas que na realidade enfatiza uma certa racionalidade e busca fechar sentidos com a institucionalização, legitimação e estabilização de uma metalinguagem que se divulga pela “voz” do livro e do professor que se “apropria” do cientista. Podemos ainda afirmar que, com o trabalho pedagógico, implicado nesta pesquisa, colocamos em cena, em funcionamento, via os textos divergentes, outras FD<sup>as</sup> que são expressões de outras racionalidades, possibilitando, assim, o “disparar” de um mecanismo polêmico, entre as FD<sup>as</sup> implicadas, ativado por mediações sociais e simbólicas.

Assim também, esta série de condições de produção, implicaram a operação de mecanismos que envolvem, de forma importante, as relações: discurso/referente (objeto de conhecimento) – no fenômeno de *desdobramento*, no caráter polêmico dos textos, no aparente “favoritismo” dos alunos por textos que são redigidos em uma determinada racionalidade; discurso/interdiscurso – na ação metalingüística implicada na *busca de uma definição e cristalização dos conceitos*, na dicotomia entre as demandas implicadas no mecanismo polêmico e modos de leitura dos alunos; discurso/contexto – no caráter que a leitura tem para a instituição escolar e para os alunos; discurso/FD – no lugar de onde falam os interlocutores e discurso autoritário/discurso polêmico – no papel diferenciado que se dá à mediação.

O anterior nos levou a tematizar a suposta neutralidade do discurso pedagógico, DP, e pôr em funcionamento, para trabalhar as relações implicadas nessas condições de

produção, os discursos polêmico, “dp”, e autoritário, “da”, atravessando o DP. Orlandi (1996) caracteriza-os como discursos que se distinguem pela “*relação entre os interlocutores e o referente, isto é, nas suas condições de produção*”. Estes discursos são dicotômicos em diferentes planos: no dizer – o “dp” estimula a polissemia e o “da” a paráfrase; na interação – o primeiro promove a presença do referente enquanto o outro o apaga.

Depois de analisadas essas condições de produção que se instalam no espaço da aula e que são constitutivas da leitura dos textos divergentes neste espaço de ensino, passamos agora a considerar efeitos das mediações sociais e semióticas no processo de re-construção conceitual, de re-significação de energia. Além dos movimentos nas significações, olhamos para os processos implicados nessas re-construções.

#### **4.2. Qual a dinâmica de significação da energia que se produziu durante o processo de leitura e discussão dos textos divergentes?**

A análise preliminar dos textos, como dito na sessão de metodologia, revelou a existência de divergências entre pares de autores (Feynman/Prigogine & Stengers, Planck/Tipler e Halliday/Nussenzveig) em relação à significação de energia e/ou de calor expressas por eles nos textos sob estudo. Isto é, nos textos de Feynman e de Prigogine & Stengers, a análise revelou a existência de idéias de energia consistentes pelo menos com o patamar da racionalidade clássica, e no caso do texto de Prigogine & Stengers indica-se a necessidade de levar em conta as diferenças qualitativas nas energias ao considerar sistemas reais, dissipativos, abertos, não ideais, não fechados. Assim, nesse texto, achamos indícios que localizam a significação de energia, também, na racionalidade caótica. Em relação aos textos de Tipler e Planck, podem ser localizados na racionalidade clássica e divergem quanto a: 1) o texto de Tipler se apresenta como uma FD balizada pela Física Geral e o de Planck como uma FD embasada na Termodinâmica; 2) Tipler faz uma exposição essencialmente “empírica” que termina em uma fórmula, enquanto Planck realiza uma discursividade essencialmente teórica; 3) Como tinha-se dito, Tipler é professor de física em uma universidade norte-americana e seu texto foi traduzido do inglês para o português por um professor da UFRJ, enquanto Planck foi

professor de física teórica em uma universidade da Alemanha e Prêmio Nobel em física e seu texto é uma tradução não autorizada, ao português, feita por mim a partir de uma tradução em inglês feita por um professor do Instituto de Física de uma universidade da África do Sul. E finalmente os textos de Halliday et al. e Nussenzveig, restritos ao racionalismo clássico, são recortes de livros didáticos universitários, mas divergem nos seguintes aspectos: 1) Nussenzveig evidencia a criação histórica dos conceitos (energia e calor), este aspecto é completamente apagado no texto de Halliday; 2) postura epistemológica: a linha discursiva de Halliday expressa um raciocínio fundamentalmente empírico, Nussenzveig tem uma inclinação a uma racionalidade uniforme; 3) Halliday não consegue escapar de uma visão substancialista do calor; 4) Nussenzveig é professor-pesquisador brasileiro do Instituto de Física da UFRJ, enquanto Halliday e seus colaboradores são professores universitários norte-americanos, os tradutores de seu livro para o português são professores do Instituto de Física da UFRJ.

Daí que, em vários momentos, antes e depois do aluno ler os textos divergentes, há a possibilidade de atingir seu patamar conceitual – do aluno – em relação às noções que nos interessam – energia ou calor –, mediante as respostas que lhe são solicitadas nos questionários: à turma EL873, quando se pede que expressem suas idéias sobre energia mediante as questões “*Por favor, conte-nos de maneira resumida tudo o que você sabe sobre energia*” no primeiro questionário (Anexo 1A), quando se faz a pergunta “*Quais são as idéias sobre energia que o autor apresenta?*” no terceiro e quarto questionários (Anexos 4A e 4B), e “*Por favor, anote aqui o que você considera mais importante sobre o tema energia*”, no quarto questionário (Anexo 6); à turma EL643(1999) quando se solicita que expressem suas idéias sobre energia mediante a questão “*Por favor, conte-nos de maneira resumida tudo o que você sabe sobre energia*”, no primeiro questionário (Anexo 1A) e se faz a pergunta “*Quais são as idéias sobre energia que o autor apresenta?*”, no segundo e terceiro questionários (Anexos 3A e 3B); à turma EL643(2000) quando se pede que expressem suas idéias sobre energia mediante a questão “*Suponha que você tem de contar a alguém o que a física diz sobre a energia. Por favor, resuma o que diria a essa pessoa*” no primeiro questionário (Anexo 1B), ao perguntar-lhes “*Quais são as idéias sobre energia que o autor apresenta? Que*

*acrescentaria você em relação à significação da energia?” e “Este texto apresenta diferenças, em relação ao tema da energia, com o texto de Feynman trabalhado a semana passada? Quais são estas diferenças?”, no segundo e terceiro questionários (Anexos 5A e 5B) e à turma EL631 com as perguntas “Quais são as idéias sobre calor e energia que o autor apresenta?” e “O autor apresenta diferenças com o texto de Halliday, em relação ao tema? Quais são essas diferenças?”, nos questionários (Anexos 2A e 2B). Isso se constata igualmente, com as respostas às questões: “À luz da leitura que você fez deste texto (caso esta tenha sido a primeira vez, indique-nos) mudou alguma coisa no que você já sabia sobre o calor e a energia? Explique o que mudou” e “As idéias do autor, nesse texto, acrescentaram alguma coisa ao que você já sabia sobre a energia? Explícite quais coisas” (Anexos 2, 3, 4 e 5).*

#### **4.2.1. Uma análise das significações que são expressas nos questionários. Como é o deslocamento do patamar de racionalidade no qual se expressam os alunos antes de discutirem cada texto?**

Assim, as respostas aos questionários dão-nos informações sobre a zona conceitual nas quais os alunos responderam e os possíveis movimentos nas suas conceitualizações em relação a energia e calor. Isto é, o que eles podem estar significando em relação a esses conceitos antes de trabalhar com os textos e os deslocamentos conceituais que ocorrem após suas leituras e discussões. Nos Quadros 12a a 12e apresentam-se visões ou significações, sobre energia, que têm os alunos no momento de responder os questionários em cada uma das aulas. Fazemos alguns comentários a esse respeito:

##### **Para a turma EL873**

Segundo o Quadro 12a:

- a) Alguns estudantes (A, C, G, H, K e L), na primeira aula, antes da discussão do primeiro texto, expressaram idéias sobre energia – energia restrita a movimento, energia para a vida, tudo é energia – que refletem traços do patamar realista ingênuo; este tipo de resposta não foi observada nos questionários posteriores.

- b) Diferentes deslocamentos, dentro do patamar da racionalidade clássica, evidenciaram-se na conceituação que expressam os alunos no percurso das atividades de intervenção – leitura e discussão – relacionadas com a pesquisa, embora nenhum deles expressasse a totalidade das visões que configuram esse patamar – tipos de energia, energia ligada a fenômenos, transformação, conservação, sistema isolado, dispersão, relação com entropia. Concretamente os alunos **A, F, H, N, O, R** manifestaram deslocamentos para níveis de maior complexidade do patamar clássico, ainda que **R** só tenha estado presente em metade das atividades; os alunos **B, C, D, I, K** mantiveram relativamente constantes traços do patamar clássico e os alunos **E** e **G** deslocaram sua visão, dentro desse patamar, para um estado menos complexo. A ausência dos alunos **J, L, M, P** e **Q** na maioria das atividades não permite apontar uma dinâmica na suas conceituações durante o processo de intervenção.
- c) Um aluno (**R**) expressou, no final do processo, que há uma construção histórica do conceito.
- d) Não foi evidenciado, nas respostas aos questionários, um deslocamento para racionalidades complexas como se esperava como efeito das leituras e discussões. Este resultado foi confirmado com a atividade na qual se solicitou que os alunos ordenassem, segundo o poder explicativo, seis textos (Anexo 6) que visavam as diferentes racionalidades desde o realismo ingênuo até os racionalismos complexos. O Quadro 13 mostra que os alunos **A, H, e O**, da turma EL873, fizeram o ordenamento correspondente dos textos indicados no quadro como Racionalismo Caótico (I), Racionalismo Relativista (III), Racionalismo Clássico (IV), Empirismo Positivista (V) e Realismo Ingênuo (VI). Mas não localizaram a visão correspondente ao Racionalismo Discursivo (II).
- e) Nos aspectos que caracterizam o patamar clássico, observa-se um deslocamento que enfatiza a idéia de conservação da energia, apresentando um pico – 87% dos alunos responderam sobre este aspecto – depois da leitura do texto de Feynman, assim como uma queda – 60 % dos alunos responderam sobre esta noção – após a

“leitura” do texto de Prigogine e uma recuperação ao final – 79% responderam sobre esta noção – ainda que, antes de qualquer intervenção, apenas 33 % dos alunos tenham reconhecido este aspecto, ante os 60 % que reconheceram a noção de tipos de energia.

- f) A idéia de energia como um ente abstrato, explicitamente levantada no texto de Feynman, foi expressa por três vezes mais alunos após a leitura e antes da discussão desse texto.

#### **Para a turma EL643(2000)**

Com esta turma discutiram-se os mesmos textos (Feynman e Prigogine & Stengers) no ano seguinte e trabalhou-se durante quatro aulas com registros através de questionários (Anexos 1B, 5A e 5B) e em entrevista com três alunos. O Quadro 12b é um resumo das respostas, mas só analisarei as respostas dos alunos (**A, D, F, G, H, I**) que participaram do total das aulas, para os quais se pôde observar a existência ou não de deslocamentos conceituais.

- a) Igual o ocorrido com a turma EL873, todos expressaram idéias da racionalidade ingênua somente no primeiro questionário;
- b) igualmente, expressaram idéias restritas à racionalidade clássica. Veja-se que os valores de ocorrência concentram-se nesse patamar epistemológico;
- c) a totalidade de alunos, tal qual na turma EL873, expressou deslocamentos dentro dessa racionalidade com as seguintes características: a maioria – com exceção de **H** – incrementou o nível de complexidade conceitual, visto este como aumento na diversidade de idéias. A idéia de conservação é a mais permanente. Mas 4 desses alunos referiram, no questionário final, idéias em relação à dissipação e irreversibilidade em sistemas reais ou à condição de sistema isolado para a aplicação da conservação de energia. Estas são idéias-chave na apropriação da idéia de conservação das diferenças de energia proposta no texto de Prigogine & Stengers;

- d) na entrevista (Anexo 8) que se realizou com os alunos **F**, **G** e **I**, duas semanas depois de finalizar o trabalho com a turma, apresentou-se a eles seis textos que expressam idéias de energia em cada uma das racionalidades indicadas na parte teórica (Figura 1). Eles foram solicitados a ordenar esses textos de maneira decrescente quanto ao poder de explanação da idéia de energia. Um dos alunos (**G**) fez a ordenação de todos os textos com exceção do que expressa o patamar do empirismo positivista (**V**). Este aluno, tal qual os outros três da turma EL873 que fizeram o ordenamento adequadamente (**A**, **H**, **O**), não tinha expressado nos questionários racionalidades diferentes da clássica.

#### **Para a turma EL643(1999)**

Com esta turma se fez a discussão dos textos no mesmo dia.

Segundo o Quadro 12c,

- a) nota-se uma maior quantidade de idéias em relação à energia, o que reflete uma maior polissemia na conceituação. Embora, fundamentalmente, nas racionalidades clássica e ingênua;
- b) notam-se deslocamentos diferenciados nas idéias sobre energia que foram expressas pelos alunos. Os alunos **B**, **C**, **D**, **I**, **J**, e **K** manifestaram significações mais complexas de energia, enquanto **A**, **E**, **F**, **G**, **L**, **N** e **O** não mudaram significativamente e **H** e **M** deslocaram para formas mais simples de significar a energia;
- c) muito importante é que seis alunos incorporaram a idéia de sistema isolado, como condição para a conservação, na significação de energia. Esta é uma idéia que, diferentemente do outro texto, destaca-se no texto de Planck.

#### **Para a turma EL631**

Como pode ser visto no Quadro 12d, dos dez alunos que compõem a turma, cinco (**B**, **D**, **E**, **F** e **G**) participaram do conjunto das três aulas. Na discussão de resultados

relacionados com a resposta aos questionários, faremos referência só a estes alunos porque apenas neles, evidentemente, poder-se-ia detectar movimentos conceituais durante a intervenção implicada no conjunto das três aulas:

- a) Os alunos **D**, **F** e **G** expressaram, na última aula – após a discussão dos textos –, idéias sobre energia que refletem mistura do patamar do racionalismo complexo e do realismo ingênuo ou do racionalismo clássico, o aluno **B** expressou elementos de racionalismo clássico e o aluno **E** traços do racionalismo clássico e do realismo ingênuo. A maioria dos alunos não expressou nos questionários aplicados em outros momentos da intervenção visões da energia que nos permitam evidenciar a perspectiva racional em que se situam e portanto descrever uma dinâmica em relação a este conceito;
- b) em relação a calor, o Quadro 12e nos indica que os alunos identificaram diferenças na conceituação entre os textos, ainda que tenham reconhecido que ambos se localizam na racionalidade clássica. Mas nem todos indicaram completamente os elementos distintivos dessa racionalidade nos autores. O que pode ser lido como uma expressão do patamar racional dos alunos, se entendemos que o que o aluno faz em realidade é um uma leitura destes textos a partir de outros textos já lidos, isto é, com base na sua memória de leitura;
- c) os alunos também sinalizaram no questionário, e depois reiteraram na discussão do texto, o uso de história da ciência como uma característica distintiva do texto de Nussenzveig.







O funcionamento de textos divergentes sobre energia com alunos de física. A leitura no ensino superior

Quadro 12a (cont.) O que é energia para os estudantes e que encontram eles sobre energia nos diferentes textos? Turma EL873 (1999)

Aluno	J				L				M				P				Q				R				Ocorrência						
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4			
Aula da qual participou																															
Idéia de energia expressa																															
Tipos de energia	✓					✓				✓					✓					✓				✓				9	4	3	7
Energia ligada a eventos					✓																							4	2	1	0
Transformação									✓														✓				3	2	0	6	
Conservação								✓	✓				✓	✓			✓	✓			✓			✓			5	13	3	11	
Sistema isolado								✓								✓											1	2	0	1	
Dispersão																											0	0	0	1	
Relação com entropia																											0	0	0	1	
Relação com a matéria																											1	0	0	0	
Quantização																															
Conservação das diferenças																															
Energia restrita a movimento					✓																						4	0	0	0	
Energia para a vida																											1	0	0	0	
Tudo é energia																											1	0	0	0	
Evolução histórica do conceito																								✓			0	0	0	1	
Fonte																											2	0	0	0	
Um ente abstrato																								✓			2	7	0	2	
Abstrair os fenômenos				✓																							0	0	0	2	

Racionalismo Clássico	Racionalismo Complexo	Realismo ingênuo
-----------------------	-----------------------	------------------

Quadro 12b . O que é energia para os estudantes e que encontram eles sobre energia nos diferentes te

Aluno	A			F			G			H			I			D			B		C	
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2		
<b>Aula da qual participou</b>																						
<b>Idéia de energia expressa</b>																						
<b>Tipos de energia</b>		✍	✍					✍														
<b>Energia ligada a eventos <sup>2</sup></b>	✍	✍				✍				✍			✍	✍					✍			
<b>Transformação</b>	✍	✍	✍									✍										
<b>Conservação</b>		✍	✍	✍	✍	✍		✍	✍	✍	✍		✍	✍	✍	✍	✍				✍	
<b>Sistema isolado</b>		✍	✍																			
<b>Dissipação, entropia, irreversibilidade</b>									✍					✍			✍					
<b>Conservação das diferenças</b>																						
<b>Capacidade para realizar Trabalho <sup>3</sup></b>	✍			✍				✍			✍					✍					✍	
<b>Energia restrita a movimento</b>								✍														
<b>Propriedade importante</b>														✍								
<b>Evolução histórica do conceito</b>						✍			✍										✍			
<b>Um ente abstrato</b>			✍															✍				
<b>Para compreender a natureza <sup>4</sup></b>			✍			✍							✍						✍			

<sup>1</sup>Perguntas dos questionários que indiciam as idéias sobre energia indicadas no quadro acima:

Aula	Questionário	Perguntas
1	Inicial:	<i>Suponha que você tem de contar a alguém o que a física diz sobre a energia. Por favor, resu</i>
2	Texto de Feynman:	<i>Quais são as idéias sobre energia que o autor apresenta? Que acrescentaria você em relação à luz da leitura que você fez deste texto, mudou alguma coisa no que você já sabia sobre a e</i>
3	Texto de Prigogine:	<i>Além de questões semelhantes às colocadas para o texto de Feynman, consideramos as seguintes em relação ao tema da energia, com o texto de Feynman trabalhado a semana passada? Qu</i>

<sup>2</sup>Também indica: a ordem de grandeza da tarefa a realizar; associada aos sistemas ou processos físicos, em todas as ramas da físi

<sup>3</sup>Também expressa: quanto um corpo é capaz de fazer; potencial para produzir movimento

<sup>4</sup>Também exprime: para fazer considerações sobre a natureza.



O funcionamento de textos divergentes sobre energia com alunos de física. A leitura no ensino superior

Quadro 12d. O que é energia para os estudantes e que encontram eles sobre energia nos diferentes te:

Aluno	B			D			E			F			G			A		C
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	1
Aula da qual participou																		
Idéia de energia expressa																		
Tipos de energia			✍						✍			✍						
Energia ligada a fenômenos																		
Transformação			✍			✍			✍						✍			
Sistema isolado																		
Conservação			✍						✍						✍			
Relacionada com calor e trabalho										✍								
Dispersão			✍															
Relacionado com entropia																		
Relação com a matéria						✍						✍			✍			
Quantização																		
Conservação das diferenças																		
Ligada a Temperatura e movimento de partícula																		✍
Capacidade de produzir Trabalho						✍			✍									
Ente físico que flui										✍								
Gera movimento																		
Não conceitua claramente												✍						

Onde não se indica a aula, o aluno não a assistiu.

Racionalismo Clássico	Racionalismo Complexo	Realismo ingênuo
-----------------------	-----------------------	------------------

O funcionamento de textos divergentes sobre energia com alunos de física. A leitura no ensino superior

Quadro 12e. O que é calor para os estudantes e que encontram eles sobre calor nos diferentes textos. Turma EL631 (1999).

Aluno	B		D		E		F		G		A		C	H	I	J	C	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	
<b>Aula da qual participou</b>																		
<b>Idéia de calor expressa</b>																		
<b>Visão sensual (quente ou frio)</b>																		
<b>Um fluido</b>																		
<b>Como temperatura</b>																		
<b>Movimento vibratório</b>										✍								
<b>Energia que flui</b>							✍		✍									
<b>Energia que se irradia</b>											✍							
<b>Energia em trânsito</b>					✍		✍											
<b>Uma forma de energia</b>		✍		✍	✍			✍			✍					✍		✍
<b>Não está nos corpos</b>					✍						✍							
<b>Distinto de temperatura</b>	✍		✍															
<b>Produzido por ? T</b>					✍				✍									
<b>Produz variação de T</b>				✍														
<b>Evolução histórica</b>		✍				✍												

Racionalismo Clássico	Racionalismo Complexo	Realismo ingênuo
-----------------------	-----------------------	------------------

**Quadro 13. Ordenamento realizado pelos alunos dos textos que expressam visões de energia segundo um perfil conceitual, visando seu poder explicativo. Turma EL873**

Poder Explicativo	Pesquisador	Aluno													
		A	B	C	D	E	F	G*	H	I	J	K	N	O	Q
1	I	I	VI	VI	IV	VI	I	IV	I	I	VI	VI	IV	I	V
2	II	III	V	III	II	V	IV	V	III	III	V	IV	I	III	VI
3	III	IV	I	II	III	I	III	I	IV	V	IV	III	V	IV	II
4	IV	V	IV	V	V	IV	II	II	V	IV	II	II	II	V	I
5	V	II	II	IV	I	II	V	III	VI	II	I	V	III	II	IV
6	VI	VI	III	I	VI	III	VI	VI	II	VI	III	I	VI	VI	III

Onde I= Racionalismo Caótico, II= Racionalismo Discursivo, III= Racionalismo Relativista, IV= Racionalismo Clássico, V= Empirismo Positivista e VI= Realismo Ingênuo. A classificação destes textos, feita pelo pesquisador, foi apresentada e discutida com os estudantes depois de aplicado o questionário na quarta aula.

\* colocou II e III no mesmo nível 4

**Quadro 14. Ordenamento realizado pelos alunos dos textos que expressam visões de energia segundo um perfil conceitual, visando seu poder explicativo. Alunos entrevistados da turma EL643(2000).**

Poder Explicativo	Pesquisador	Aluno		
		F	G	I
1	I	II	I	IV
2	II	VI	V	I
3	III	I	II	V
4	IV	III	III	III
5	V	IV	IV	II
6	VI	V	VI	VI



Em síntese, podemos concluir, afirmando que, além das diferenças próprias de cada caso – pelas características dos textos e das turmas e as condições de produção das leituras e das outras atividades –, há algumas características genéricas das significações que os alunos expressam e dos deslocamentos mais comuns nas suas significações em relação à energia e ao calor.

Em geral, a maioria dos alunos expressa, ao longo das atividades de leitura e discussão, deslocamentos nas suas significações em relação aos conceitos de energia e calor. No caso de energia: estes deslocamentos se produzem no interior da racionalidade clássica; não se expressa a totalidade das características desse patamar, mas ainda assim há um incremento na sua complexidade – visto o número de componentes indicados; as idéias sobre energia nos patamares de senso comum ou realista ingênuo, que são expressas nas etapas iniciais, são apagadas, geralmente, nas etapas posteriores; a idéia de construção histórica dos conceitos é completamente apagada; alguns alunos logram diferenciar, quando sugerido, as dispersões do conceito de energia pelas diferentes racionalidades; a idéia de conservação é a mais destacada pelos alunos; poucos alunos, exclusivamente da turma EL643(2000), expressam as idéias de dissipação de energia e irreversibilidade nos processos dissipativos; poucos alunos, exclusivamente da turma EL643(1999), manifestam a idéia de sistema isolado como condição para a conservação da energia, idéia que é expressa posteriormente à leitura do texto de Planck; poucos alunos (3), exclusivamente da turma EL631, expressam um componente do racionalismo complexo – relação relativista energia-matéria. No caso de calor: todos os alunos que trabalharam com textos que tratavam este conceito, turma EL631, reconhecem que ainda que os textos estejam na mesma racionalidade clássica, são divergentes em relação ao papel que dão à história na construção do conceito.

**4.2.2. Nona análise: As discussões dos textos possibilitam mediações sociais e semióticas? Estas mediações possibilitam deslocamentos nas significações dos alunos? Existe algum tipo de relação entre a divergência como mediador didático e essas outras mediações sociais e semióticas?**

A seguir apresentaremos um conjunto de análises relacionadas com deslocamentos

de significações em relação a energia e calor, vistas estas nas FD<sup>as</sup> contidas nas enunciações durante o processo discursivo implicado nas discussões dos textos e nas entrevistas. Estes deslocamentos, segundo as condições de produção e as mediações que operem, podem estar limitados a uma seção de discussão das leituras ou a seu conjunto. O processo discursivo envolvido na idéia de divergência que opera nesta ação educativa, implica não só a suposta divergência nas FD<sup>as</sup> dos textos mas, também, uma atitude que se vai configurando durante a discussão destes, de modo que os efeitos de leituras divergentes podem acontecer desde a discussão do primeiro texto, em relação às mediações que aí trabalhem.

A análise de discurso das filmagens e das gravações das aulas, bem como das entrevistas, permitiu-nos identificar deslocamentos nas significações de alguns alunos, durante as discussões dos textos divergentes, assim como atos que permitiram identificar funções de mediação dos participantes – alunos, professora e pesquisador. Apresentaremos alguns recortes das falas discriminando-os segundo alvos conceituais específicos.

O funcionamento das leituras, em relação ao desenvolvimento de conceitos, apresenta-se, a seguir, com as falas recuperadas das filmagens e gravações das discussões em aulas de duas das disciplinas (EL873 e EL631); nas outras duas turmas não houve condições para a coleta das falas, pelos meios indicados, que permitissem realizar as análises de discurso.

#### **4.2.2.1. A conservação da energia supõe a conservação do sistema isolado?**

##### **Deslocamentos conceituais e mediações sociais**

Na discussão com a turma EL873, o pesquisador encerrou a primeira parte do trabalho com o texto de Feynman, em que buscava a opinião dos estudantes em relação ao texto, concluindo que: segundo a discussão, para os alunos, o texto é fácil e acessível. Em seguida propôs passar à discussão do conteúdo, isto é, às significações da energia que poderiam ser expressas a partir da leitura do texto. Colocou, então, questões para a discussão: *O que diz ele de energia?* Observe-se que não pede que *definam* o que é a

energia, mas o que é dito no texto e o que é dito pelos alunos segundo as seguintes questões: *Que coisas são ditas explicitamente sobre a energia? Que coisas o autor não diz sobre a energia? Que coisas diriam vocês sobre a energia?*

O pesquisador sinalizou que as perguntas não tinham sido formuladas para leigos, mas para eles, estudantes de física. Tentou-se dessa forma promover suas vozes enquanto estudantes. Buscou-se assim também a interpretação da leitura, promover aí um diálogo entre o autor e o aluno, mas *mediado* pelo texto. *Mediação* perpassada pela história, pela memória de leitura do aluno.

### Série das aulas 6

- <sup>32</sup> **A:** Referir três aspectos do que ele falou, que ele trata basicamente: caráter abstrato da energia, né? A conservação da energia e as várias faces que a energia pode se apresentar, né? Não tem uma coisa assim como definida.
- <sup>33</sup> **H:** Tem outra coisa que eu concretamente eu achei que..., não que..., que ocorreu na hora de explicar, que parece que num começo, na parte dos cubos, se limitou um sistema como se fosse um quarto, do Dênis o quarto. O quarto dele é um sistema que a gente vai trabalhar, ou seja, a energia tem que se conservar, daqui a pouco, de uma hora para outra Dênis joga um cubo pela janela e o sistema já não é mais o quarto, agora é lá fora, e a mãe pra provar que mesmo que você queira sair do sistema, a energia se conserva. Eu acho que para quem está lendo assim de primeira e ao tentar entender, talvez se confunde aqui, se tiver na cabeça sempre que o quarto é o sistema, depois, quando for colocar isso, aplicar, na física de verdade, pode ser que entre em contradição por causa disso.
- <sup>40</sup> **H:** Porque, muitas vezes, as pessoas tendem a achar que o sistema é só para dentro, por exemplo, onde a gente vive, e de que está tudo acontecendo aqui dentro; só que a gente interage também com o fora, os planetas, o sistema solar, com as estrelas, e tal, daí que a gente pode ir ampliando cada vez mais, mas não sei até que ponto muito mais! Não seria isso? A parte física?
- <sup>43</sup> **A:** A energia do universo é uma energia constante, né?
- <sup>44</sup> **H:** Não mais. A impressão que dá, também, é que sempre poderia vir um amigo e trazer mais cubos e mais cubos e mais cubos e no final a história seria ter quanta energia quisesse e não é assim que acontece.

---

O aluno **A** expressou (fala 32) três idéias que refletem a racionalidade clássica (tipos de energia, transferência e conservação da energia), mas nem ele nem outros alunos expressaram outras visões que permitissem alcançar uma significação mais ampla desse patamar de racionalidade.

O aluno **H** colocou a questão do sistema isolado ao longo de toda a fala. Mas não identificou isso como uma condição limite para o princípio da conservação da energia.

Agora, para continuar, prestemos atenção à seguinte fala dos alunos e observemos como é o movimento em suas significações de energia.

### Série das aulas 7

<sup>54</sup> **Pesquisador:** Estamos falando do princípio da conservação que se tenta representar com esta, com esta analogia. Com esta analogia ele pretende representar um princípio. Então, esse princípio que ele pretende representar pode ir além de qualquer coisa? Qual é o além? Qual é o limite desse princípio? Qual é o limite?

<sup>57</sup> **Um aluno:** Não tem limite!

<sup>58</sup> **I:** Não tem limite.

<sup>59</sup> **Vários alunos:** Não tem limite!

<sup>61</sup> **B:** Pode ser qualquer coisa e a gente descobrir a natureza dessa qualquer coisa, a gente sabe que vai voltar no ponto de início. Não é isso?

<sup>62</sup> **A:** A energia sempre é constante.

<sup>67</sup> **H:** A quantidade de energia do universo não é, digamos, finita?

<sup>69</sup> **Pesquisador:** Eu me vou permitir ler umas palavras de Henri Poincaré, citada no texto de Bachelard. Ele diz:

*“Incluso os princípios gerais podem perder seu sentido se não se aponta a uma aplicação precisa. O princípio da conservação da energia não deve entrar em jogo mais que a propósito de sistemas isolados, de modo que se tenha simultaneamente conservação da energia e conservação do sistema”*

O princípio não é válido para os sistemas reais, não é válido. É válido para um sistema ideal, isolado, isolado, fechado.

<sup>70</sup> **Professora:** Ficou claro isso para vocês o que José Luis diz?... Olha, o que ele está dizendo é dramático. Ele diz uma coisa seríssima. Não existe no mundo real! Foi isso que ele disse?

[Algum estudante pede que se leia novamente o texto e a professora lê]

<sup>75</sup> **Professora:** Ah, então são as palavras de Poincaré: *“O princípio da conservação da energia não deve entrar em jogo mais que a propósito de sistemas isolados, de modo que se tenha simultaneamente conservação da energia e conservação do sistema”*.

<sup>76</sup> **Professora:** Ou seja: é possível conseguir um sistema totalmente isolado? Se a resposta for não, a conservação da energia no mundo real...

<sup>77</sup> **Vários estudantes:** Não existe!

<sup>78</sup> **Professora:** É isso que ele diz [indica o pesquisador]. A aula é dele.

<sup>79</sup> **H:** A conservação existe sim, mas a gente só não tem como, a conservação existe, o que a gente só não tem como delimitar o sistema, a gente não consegue como delimitar o sistema para conter toda essa energia. Mas ela existe. A conservação da energia existe. A gente sempre pode simplificar os experimentos e tentar sempre tender a isso e mostrar que a gente está... mostrar que isso existe.

<sup>85</sup> **H:** Num sistema real. O que passa é que não se pode delimitar o sistema.

<sup>86</sup> **A:** As duas coisas têm que ser juntas. Se você não fechar o sistema, você não tem a conservação da energia.

Evidenciamos o deslocamento na conceituação que os estudantes expressaram; primeiro afirmaram que a energia se conserva em qualquer sistema (ideal ou real), quer dizer, que não há condição limite para a aplicação deste princípio (falas 57-67) e depois, que o princípio só é válido em sistemas ideais (fala 77). Em particular, o estudante **A** produziu deslocamento na sua significação; inicialmente (fala 62) afirmou que “A energia *sempre* é constante” e depois declarou “...Se você não fechar o sistema, você não tem a conservação da energia” (fala 86). Enquanto o estudante **H** permaneceu em sua significação (falas 79 e 85), em relação a que a conservação é um princípio universal aplicável a qualquer sistema. Sobre esta posição do aluno **H**, voltarei mais tarde.

Notamos, neste episódio, FD<sup>as</sup> dos estudantes, do pesquisador, da professora e de um texto de Poincaré, citado por Bachelard, que expressam formações ideológicas diferentes, posturas epistemológicas divergentes, quer na racionalidade moderna cristalizada, que busca *legislar* a realidade, interpretando-a de uma maneira idealizada, como uma máquina simples, com princípios “todo-poderosos” que operam sem nenhuma condição, *por exemplo* o princípio universal da conservação da energia, quer em uma racionalidade que foge da cristalização do conhecimento, que busca entender o mundo e seus processos de uma maneira real e complexa e que entende as regras, que representam os fenômenos, operando sob certas condições e limites. Instala-se aí, de fato, uma relação polêmica entre essas FD<sup>as</sup> como entendida por Maingueneau (1997, p. 122), que é constitutiva dos discursos divergentes nesse *espaço discursivo*.

Passemos a considerar outro aspecto nestas falas, esse que tem relação com as mediações que aí se produzem. Reconhecemos que o processo de mediação social descrito por Vygotski não é nem simples, nem direto, nem pontual, mas um complexo processo que envolve condições de produção, embora seja possível identificar momentos característicos de deslocamentos conceituais assim como ações discursivas relevantes associadas a mediações (por exemplo, instalação de FD<sup>as</sup> que mobilizam estados de consciência em torno a determinadas significações). Assim pois, entre essas duas significações expressas pela maioria dos alunos, que caracterizam um deslocamento conceitual e às quais fizemos referência, evidenciamos uma outra formação discursiva

do pesquisador (fala 69), da professora (falas 75 e 76) e de Poincaré através de um outro texto. Poder-se-ia interpretar esta última ação coletiva como um gesto mediador entre ambas FD<sup>as</sup> dos alunos, mediação social que possibilita uma outra leitura, pelos alunos, em relação a energia.

Com a entrevista realizada aos alunos (**A**, **F** e **N**) da EL873, mais especificamente nas respostas de **A**, temos um outro indício, que permite compreender que se está aí ante um gesto de mediação social com possibilidade de ser coligado ao deslocamento conceitual evidenciado.

### Série das entrevistas 7

<sup>44</sup> **Pesquisador:** ... Vimos que durante a discussão do texto de Feynman na primeira aula, você teve uma participação permanente e se percebe uma mudança, um movimento seu e de todos, salvo **H**, em relação ao papel do conceito de sistema isolado na conceituação da conservação. Eu gostaria que você me ajudasse a definir as razões dessa mudança.

<sup>45</sup> **A:** Eu acredito que foi muito... a parte que você entra com Poincaré, aí mata a questão. Eu acho que realmente a gente não tinha percebido essa sutileza da questão, inclusive no texto de Feynman. Feynman fala disso também, ele fala disso. Eu particularmente estava com a idéia, eu não estava com a idéia, provavelmente, a idéia de sistema fechado bem definida na cabeça, depois da leitura. Eu acho que eu estava com a idéia de: a energia é sempre constante no universo! Mas que é o universo para mim? É tudo! Entendeu? É aquele espaço que está fora do quarto do Dênis, lá, também, tudo aquilo ali fazia parte do universo. Eu estava com a idéia disso. Aí quando eu percebi, não, a gente está falando de sistema fechado, realmente. Se a gente não consegue isolar as duas coisas, né?, ou melhor, juntar as duas coisas, sistema isolado e a conservação, um e outro não têm sentido, né?

---

O aluno reconheceu “*não ter percebido essa sutileza*” na leitura inicial, e ter sido influenciado por mediações na discussão em aula “*Aí quando eu percebi...*”, o que lhe possibilitou retornar ao que tinha lido no texto com uma nova significação.

Resta ainda a dúvida de se este processo de reflexão, de *consciência*, que o aluno narra na entrevista, aconteceu também na aula ou se este se dá como ação de mediações na entrevista. Em todo caso, qualquer que seja a resposta, o que se verifica é a complexidade do processo e a possibilidade de identificar elementos constitutivos importantes, desse processo de mediação social, na própria atividade de leitura e discussão dos textos.

Isso nos leva a considerar que a leitura pode ser um meio que permita a apropriação dos conceitos, mas a maneira como o leitor se relaciona com um determinado texto pode ampliar ou reduzir os resultados da mediação autor-leitor realizada pelo texto. Assim, este é um meio que além de permitir revelar os diferentes significados de um conceito, que o aluno possa ter, medeia o desenvolvimento conceitual. Assim pois, divergência e relação social, via compreensão discursiva, parecem aqui se imbricar para mediar a re-significação conceitual no aluno.

#### 4.2.2.2. O calor produz diferença de temperatura ou só é possível calor se há diferença de temperatura? Mediações sociais e memória interdiscursiva

Na discussão do texto de Halliday et al. com a turma EL631, quando na série seguinte seguimos as falas dos alunos **B** e **D**, podemos identificar uma ação mediadora do aluno **D** para que o aluno **B** se aproprie da idéia de que na propagação térmica, particularmente entre sólidos, é necessária uma diferença de temperatura entre os corpos objetos da troca térmica.

#### Série das aulas 8

<sup>68</sup> **Pesquisador:** Vamos centrar-nos na idéia que o Halliday dá sobre calor, e vamos construindo um pouco para ver se todos concordamos, ou para ver quais são as diferenças entre nós, nessa leitura sobre o que Halliday coloca sobre calor.

<sup>71</sup> **B:** Ele definiu calor como uma energia que flui numa vizinhança, de um corpo para a vizinhança e da vizinhança para um corpo. Nesse fluxo, o que que pode acontecer? Duas coisas: uma mudança de temperatura, no caso uma variação de energia interna ou mudanças de temperatura ou a realização de algum trabalho. É isso que o Halliday tá preocupado em ensinar. Agora para mim, em minha opinião, tá bem mostrado isso.

<sup>81</sup> **Pesquisador:** Eu perguntei: O que disse ele do calor? ou O que ele define como calor? Acho que vocês quando lêem buscam uma definição, calor é tal coisa.

[Há no outro canto uma discussão]

<sup>96</sup> **B:** Se não houve mudança de temperatura, não houve fluxo então?

<sup>97</sup> **D:** É um exemplo que ele deu. Pode ter um fluxo

<sup>98</sup> **B:** Como você percebe? Você percebe uma mudança de temperatura

<sup>102</sup> **D:** O que ele fala na frase inicial

<sup>103</sup> **B:** Espera aí

<sup>104</sup> **D:** Nem só na diferença de temperatura, ou seja, se você não tem diferença de temperatura você não tem fluxo, portanto não tem calor.

- <sup>105</sup> **D:** Aqui diz. “Calor é energia que flui entre um sistema e sua vizinhança como conseqüência da diferença de temperatura”. O que ele tá dizendo aqui é que a diferença de temperatura é que é a causa do fluxo de energia. Portanto, é a causa do calor.
- <sup>106</sup> **D:** Ele diz isso aqui.
- <sup>107</sup> **E:** A condição necessária para que ocorra a transmissão de calor é essa.
- <sup>108</sup> **B:** A temperatura pode-se manter constante e ter um trabalho, por exemplo, e ter um fluxo de calor.
- <sup>109</sup> **D:** Prá você, você quer ter uma mudança de estado.
- <sup>110</sup> **A:** Pode.
- <sup>111</sup> **D:** E a mudança de estado ela só vai acontecer se você fornecer calor. E como você fornece calor? tem que ter a diferença de temperatura.
- <sup>112</sup> **B:** O gelo e a água não tem diferença de temperatura.
- <sup>113</sup> **F:** Se você colocar água zero grau e gelo zero grau continua água e gelo.
- <sup>114</sup> **D:** Água e gelo é o sistema, verdade, é o ambiente que está em volta. Você tem que ver o calor desse ambiente para o sistema água e gelo.

O texto objeto de discussão (anexo 13) apaga as condições do processo que descreve, isto é, não indica que se está considerando particularmente uma propagação térmica semelhante à que acontece em um sólido (nem radiação, nem convecção). Porém, através das falas, podemos achar indícios de como o aluno **D** faz uso de sua memória de leitura e lê esse texto a partir de algum outro texto, uma outra aula, algures; um outro discurso que tratou este tema durante sua formação. Esta interdiscursividade permite-lhe assumir que se está considerando propagação do calor em sólidos e assim ele vai além do próprio texto para mediar entre o fenômeno, proposto ou descrito no texto, e o aluno **B**.

Permitimo-nos fazer um outro comentário destes dois exemplos em relação às respostas, já analisadas, dos questionários. Detectado, por meio da análise das respostas ao primeiro questionário, que há apagamento dos componentes do perfil que estão acima do racionalismo clássico (vejamos os Quadros 12a e 12d), realizaram-se vários movimentos de mediação para tentar a recuperação, pelos alunos, de visões que expressem os patamares de racionalismo complexo (estas falas não se apresentam). Parece ter sido alcançado este objetivo na aula, mas isto não se reflete nas recuperações escritas (questionários) posteriores. Por quê? Por que este apagamento? Por que estudantes que, por seu estado acadêmico na carreira, deveriam ter uma apropriação mais



ampla deste patamar racional não o expressaram no questionário? Isto se confirmou com o silêncio, nos questionários, da necessidade do sistema isolado ao caracterizar a energia, com a exceção dos alunos **A** das duas turmas (EL873 e EL631). Mas na discussão, estes próprios alunos também apagaram esta característica. Por quê? Evidenciamos também o esquecimento de outras características da energia. Estes apagamentos e a “permanência” de idéias como as de **H**, que expressou que o princípio da conservação é aplicável a sistemas reais sem nenhum tipo de condicionamento, parece refletir que se estão estabilizando processos de “cristalização dos conhecimentos” nos alunos, onde o modelo se exprime como a realidade mesma.

Sob a noção de mediação conceitual (Vigotski, 1993) reconhecemos a necessidade da compreensão consciente destes conceitos para a apropriação de outros mais desenvolvidos em relação com a energia, tais como os que se buscaram trabalhar com o texto de Prigogine & Stengers e é na direção de identificar estes processos de mediação simbólica que vamos caminhar nos seguintes parágrafos.

#### **4.2.2.3. Conceitos físicos, realidade e modelos. Mediações simbólicas**

Apresentamos, agora, dois eventos que nos permitem exemplificar mediações entre conceitos cotidianos ou conceitos científicos menos elaborados e os conceitos científicos, da necessidade de mediação semiótica e de posições dos alunos diante do processo de produção do conhecimento.

A não-leitura do texto de Prigogine & Stengers, por vários alunos da turma EL873, levou-nos a adotar uma estratégia de trabalho que implicava uma leitura coletiva, dirigida pelo pesquisador, usando frações do texto projetadas em uma tela, enquanto o mesmo era lido, em voz alta, por um dos alunos, e acompanhado pelos outros em cópias que lhes tinham sido entregues. Esta leitura era seguida de discussões do texto. Na série 9 apresentamos um recorte dessa atividade e logo fazemos alguns comentários.

Fundamentado na perspectiva Vygotskiana, que estabelece a idéia de mediação semiótica, e com base no ponto de vista que afirma que os conceitos científicos formam uma rede conceitual, acreditamos que, para poder se apropriar da idéia de diferenças

qualitativas das energias e da invariância dessas diferenças qualitativas, que são conceitos desenvolvidos no texto de Prigogine & Stengers, é necessário entender que a conservação da energia é um modelo e como tal tem limites para sua aplicação, neste caso a existência de um sistema isolado (ideal). Quer dizer, a compreensão do conceito de conservação das diferenças de energia, que esses autores apresentam em seu texto, pressupõe a apreensão da idéia de existência de sistema isolado como condição para a conservação da energia. No caso do aluno **H** da turma EL873 que negara a primeira relação (vide falas 67, 79 e 85 na Série das aulas 7), como já foi comentado, temos indícios de sua dificuldade no entendimento do conceito levantado no texto de Prigogine discutido na aula subsequente. Olhemos recortes das falas dessa aula. A aluna **N** lê a página 93 do texto de Prigogine & Stengers, onde se faz referência ao conceito de conservação das diferenças qualitativas da energia. Veja-se nas falas de **H** (falas 92, 94, 98 da série 9), a “dificuldade” para a apropriação desse conceito e sua referência novamente ao conceito de conservação da energia fora do contexto no qual este se aplica (sistemas ideais, isolados). No entanto a aluna **N** parece se apropriar “prontamente” da idéia (fala 97, série 9), da mesma forma que o aluno **A** (fala 93). Este último aluno, como se viu nas suas falas na seção 4.2.2.1 (série das aulas 7), e particularmente na “série das entrevistas 6”, teve, durante a discussão de um dos textos, um deslocamento conceitual consciente que lhe permitiu a apropriação da noção de sistema isolado como condição necessária para fazer uso do modelo implicado na idéia de conservação da energia e que, em um sistema dissipativo, como ele mesmo diz, deve “*pensar-se nas perdas no processo*” (fala 93); de modo que ele não parece ter tantas dúvidas no que se exprime com a idéia de *ao menos equivalente*. Fazendo uso dessa noção como arcabouço, parece estar se apropriando do conceito de conservação da *diferença qualitativa da energia* como integrante de uma mesma comunidade conceitual da primeira noção, quando se consideram sistemas reais.

### **Série das aulas 9**

<sup>90</sup> N: [Ela lê o texto indicado]

“A interpretação de Clausius reveste uma significação muito profunda, que terá repercussões importantes: a natureza é, sem dúvida, um reservatório inesgotável de energia e, acima de tudo, de energia térmica, mas nós não podemos dispor dessa energia sem condições. Nem todos os

processos que conservam energia são possíveis. Diferença alguma de energia pode ser criada sem destruição de uma diferença ao menos equivalente. No ciclo de Carnot o trabalho produzido paga-se com um fluxo de calor que *diminui* a diferença de temperatura das fontes. O trabalho mecânico produzido e a diminuição da diferença de temperatura estão ligados *idealmente* por uma *equivalência reversível*: a mesma máquina, funcionando ao contrário, pode restaurar a diferença inicial, consumindo o trabalho produzido.”

<sup>92</sup> **H:** Eu não pude alcançar esse *ao menos equivalente*. É equivalente. Quando ele fala assim “diferença alguma de energia pode ser criada sem destruição de uma diferença ao menos equivalente”, por que ele fala esse *ao menos equivalente*?

<sup>93</sup> **A:** Pensando em perdas no processo, né? A dissipação.

<sup>94</sup> **H:** Mas esse *ao menos* aí diz que a conservação não pode então ser tão conservante.

<sup>96</sup> **Um aluno:** Porque não é !

<sup>97</sup> **N:** Porque se for, é o que ele tinha falado [indicando **Q**], porque se fosse assim o rendimento seria o 100%.

<sup>98</sup> **H:** Pois é estranho, né?

---

Então, que outras conclusões podem ser extraídas dos indícios que a AD nos fornece em relação ao percurso discursivo do aluno **H**? Ainda que em um *conhecimento primeiro* possa parecer que ele permaneceu incólume, diferentemente de todos nós, neste processo discursivo, e que ficou intacto em suas significações originais a despeito das inúmeras mediações sociais e simbólicas que aconteceram durante este processo pedagógico, isso não pode ser afirmado. Que poderá estar nos dizendo com essa frase derradeira e lacônica “*Pois é estranho, né?*”, no contexto deste processo discursivo? Essa locução parece nos indicar que algo se deslocou nele, que algo mexeu na sua estrutura de conceitos. Tentemos fazer uma leitura a respeito.

Neste processo pedagógico, ele começou nos falando<sup>31</sup>:

### Série das aulas 1

<sup>5</sup> **H:** O texto ele... Tem ordem aqui? [vários falam que não, para que ele continue] Acho interessante porque ele não se preocupa tentar dizer o que é a energia. Porque como a energia é uma coisa muito abstrata, ele não tem como tentar substancializar o que é a energia, digamos assim, ele se preocupa mais falar sobre como é que ela se apresenta, né? E então, trata mais da conservação de energia, e... gostou do termo? [há um comentário não compreensível da N] E então, só que é um texto muito, eu acredito, que para um leigo em física. Quem já tem um conhecimento a mais em física acha o texto... até bem em conteúdo.

---

<sup>31</sup> Grifo nosso.

---

Esta fala inicial revela-nos uma procura da afirmação metalingüística – via a colocação e a busca de negociação de significados. Nesta fala ele se coloca, como um interlocutor válido, não só para os outros alunos, mas também para o professor; ele busca se definir como conhecedor do que está falando quando nos interpela com “*gostou do termo?*”, isto é, ele fala que é um termo da física, da qual vai falar. Para ele não basta dizer, e se colocar desde o início no centro da discussão, mas tem que falar que disse, entrando na interdiscursividade da física, no que se refere ao fechamento de significados, para se confirmar dentro da ciência.

Agora, interessa-nos buscar indícios que nos informem a respeito de se ele está simplesmente parafraseando ou também está refletindo em relação ao lido e falado. Isto é, tentar compreender, na discursividade de **H** e no processo discursivo, indícios em relação a qual é o funcionamento da leitura divergente, para o que reconhecemos que a leitura é fundamentalmente um meio para a reflexão, *a fortiori* a leitura implicada no “*mecanismo polêmico*” (Maingueneau, 1997). Ele foi um dos alunos que manifestou ter feito uma leitura completa do texto; também se constituiu num sujeito polêmico neste processo desde a primeira aula. No percurso da discussão, ele levantou algumas argumentações de sua posição (por exemplo nas suas falas da “*série das aulas 7*”), emitiu falas que eram expressão da interdiscursividade da ciência em relação a significados que se apresentam como “*cristalizados*” e que se manejam como metalinguagem na física, p. ex. “*A conservação existe sim, mas a gente só não tem como, a conservação existe, o que a gente só não tem como delimitar o sistema, a gente não consegue como delimitar o sistema para conter toda essa energia. Mas ela existe. A conservação da energia existe. A gente sempre pode simplificar os experimentos e tentar sempre tender a isso e mostrar que a gente está... mostrar que isso existe.*” (fala 79 da série das aulas 7). Há nessa fala uma FD na qual o modelo é tomado como a realidade, aí a teoria para explicar os fenômenos vira realidade. Essa FD trabalha a física com fenômenos “*simplificados*” ou idealizados, apagando o referente real, o real já não é verdade, o que é verdade é a sua *simplificação*, sua idealização. É levando em conta essa “*história*” que podem ser entendidas as falas (92, 94 e 98), emitidas por ele nesse último recorte (Série das aulas

9), como um indício de deslocamento, como efeito, também, de uma ação reflexiva. Essa FD confronta-se com outra FD que também percorre o discurso da ciência e visa trabalhar com a complexidade do fenômeno e que, também, foi expresso nesse recorte da “série das aulas 9” e em outros momentos durante o processo discursivo – na discussão do texto de Feynman. Assim pois, estava operando desde há tempo o “*mecanismo polêmico*”. A exploração das possibilidades reais da tensão paráfrase/polissemia se vê estimulada pelo mediador polêmico da divergência, mas relacionado com outros mediadores simbólicos componentes da FD que trabalha com sistemas idealizados: *o sistema isolado* implicado na *conservação da energia*. Sua fala “*Mas esse ao menos aí diz que a conservação não pode então ser tão conservante*”, é uma interpretação do texto que o coloca em via de integrar um outro significado em sua rede de significações em relação à energia; ele exprime um enunciado que não é exclusivo da rede de FD (Maingueneau, 1997, p. 112) que constitui o núcleo da racionalidade clássica newtoniana; tem-se aí uma negação polêmica que revela que a FD por ele expressa se inscreve, também, de fato, em outra rede simétrica. Assim, ele dá indícios, na sua interpretação – “tradução” – do texto, que está em via de integrar um outro significado – o seu Outro – em sua rede de significações em relação à energia.

Também é interessante destacar que o fato de que ele se revele, de maneira tão aberta, como o faz neste processo, permite-nos deduzir a confiança e segurança em que se sente, ele parece estar à vontade neste espaço educativo, isto é, ele se integrou, como o resto da turma, a um diálogo polêmico que é constitutivo das FD<sup>as</sup> que configuram seu discurso.

Ainda mais, é importante notar que em uma atividade posterior como a organização dos seis textos já indicados (Quadro 13), o aluno **H** é um dos três alunos que realizou a distribuição destes por ordem de poder explanatório, o que reflete uma possível integração de uma idéia conceitual até esse momento negada e, como consequência, uma ampliação da sua significação de energia.

Estes episódios remetem-me, novamente, à idéia de Pêcheux, já referida, que o que se transmite entre os sujeitos do discurso escolar-universitário (alunos, professor,

pesquisador, cientista-autor) não é necessariamente informação, mas efeitos de sentidos, e que esses efeitos estão relacionados com as posições ocupadas por eles no processo discursivo concreto.



**aqui vai imagem**  
**Self-Portrait with Chat Noir**  
**André Kertész**





## 5. UM RETORNO ETERNO DA RAZÃO

Quais aspectos gerais do funcionamento da leitura, realizada pelos alunos, desses textos que temos chamado divergentes, foram compreendidos com esta pesquisa? Que coisas podem ser ditas sobre os deslocamentos conceituais da energia experimentados pelos alunos? Quais as relações entre um e outro aspecto? Que novas questões emergiram? Estas são questões nas quais centramos as conclusões deste trabalho.

### **Textos divergentes e condições de produção da sua leitura: resumo dos achados**

Penso ser necessário começar estas conclusões assinalando quão contente me sinto ao constatar que os alunos pareceram perceber, e assim o “assinalaram” em diferentes momentos e através dos diversos procedimentos para a coleta de dados, o caráter divergente dos textos postos a funcionar. Essa percepção, do ponto de vista da forma, refere-se, entre outras características, às espécies – quanto às visões que apresentam em relação à “legibilidade” (Vigner, 1997) – e às ordens – a respeito da qualificação das visões que se tem, isto é, a *ocorrência* de uma dada visão na turma – desses textos, ou, de um ponto de vista de fundo, a possíveis significados que por esses textos são veiculados.

Os resultados permitem-me constatar que essa visão divergente dos textos não é uniforme, já que há um comportamento diferenciado quanto à representação que os alunos têm dos textos. E essa dispersão na visão dos textos está relacionada com diversas características do aluno, seu contexto de leitura e sua própria história. Contexto que implica a história e as práticas de leitura, o nível acadêmico, experiência ou não como docente, efeitos de relações de interdiscursividade com os discursos da ciência e pedagógico etc. Assim, as representações – dispersas – dos textos, pelos alunos, de algum modo são marcadas por condições de produção das leituras.

As condições de produção identificadas – papéis diferenciados dados à leitura,

pelos alunos e pela instituição, no processo de formação universitário; promoção de uma leitura que busca a significação através de fechamentos de sentidos via a procura de definições fechadas, mediante enunciados predicativos em que a cópula “é” aparece explicitamente, “A é B”; substituição da leitura de livros por outros meios, na procura de informação; discrepância entre o modo de leitura que demanda um processo como o *mecanismo polêmico* e aquele de que os alunos dispõem; formações discursivas, FD<sup>as</sup>, que referem o *locus* de leitura dos alunos; cristalização conceitual ou paráfrases do dito em textos e aulas; *desdobramento* do propósito educativo; mediações sociais diferenciadas – não só compreendem as representações formais dos alunos, dos textos, mas também chegam até a condição mediadora da leitura; essas condições afetam a apropriação mesma, pelo aluno, dos conceitos veiculados nos textos objetos da leitura. Vemos aí a leitura funcionando como um trabalho imprescindível nos complexos processos de mediação próprios da sala de aula de física. Mas observamos que esse processo de leitura não é simples, já que precisa de mediações sociais dos outros na aula; a este respeito, é ilustrativo acompanhar o percurso do aluno A para trazer à consciência a condição de sistema ideal como requisito, ao se considerar a conservação da energia e colocar-se em direção da apropriação da idéia de conservação qualitativa da diferença de energia.

Revelam-se perfis conceituais na significação de energia que os alunos têm, nos diferentes momentos da intervenção que realizamos com os textos divergentes e constatamos mudanças nesses perfis em alguns alunos. Essas mudanças, de algum modo, são mediadas pelas leituras, pela fala dos outros e pela apropriação prévia de conceitos que puderam formar uma rede conceitual com aquele conceito objeto da pesquisa. É o caso, por exemplo, da conservação da energia que só pode ser passível de entendimento na visão ideal, na qual o sistema em estudo é isolado, e de que a “ruptura” com este modelo é chave para entender a visão de Prigogine em relação à conservação das diferenças além de um sistema ideal, ou seja, um sistema real. Este caso permite-nos reconhecer a importância de processos de mediação entre conceitos. Processos destacados nos estudos de Vygotski (1993) a respeito do desenvolvimento de conceitos científicos nas crianças, e que se referem à relação de mediação entre conceitos

cotidianos e científicos. Em nosso caso envolvem a relação entre conceituações em racionalidades diferentes, isto é, entre as visões que se têm de um dado conceito como produto da sua dispersão pelas diferentes racionalidades que configuram seu perfil conceitual.

A busca da definição fechada como significação, de energia e de outros conceitos relacionados a ela, foi identificada em diferentes momentos da ação educativa desenvolvida com as diferentes turmas. Parece que o aluno busca uma verdade, uma certeza. É o que o discurso científico ou pelo menos sua expressão escolar nos tem acostumado a pensar. Daí que a leitura da divergência incomoda e mobiliza. Duas características dessa verdade procurada colocam-se em cena: a verdade universal de alguns princípios que se configuram a partir de modelos explicativos da realidade, como a que expressa a fala de um aluno “*A conservação existe sim, mas a gente só não tem como, a conservação existe, o que a gente só não tem como delimitar o sistema, a gente não consegue como delimitar o sistema para conter toda essa energia*”, e, paradoxalmente, a verdade relativizada pelo lugar a partir do qual se fala. É o caso da significação que se dá à energia em um curso de física que é diferenciado da que se dá em uma disciplina de pedagogia, o que pode ser compreendido como uma expressão do fenômeno de *desdobramento*, já comentado no capítulo anterior.

**Uma leitura que busca entender os processos que “ocorreram” durante o trabalho pedagógico implicado nesta pesquisa.**

Tentando construir uma compreensão do texto que até aqui tenho redigido, entendendo-o como meu texto do discurso desta pesquisa, reconheço nele a instauração de um complexo processo sincrônico/diacrônico nesse processo escolar universitário que é objeto de estudo nesta pesquisa.

A perspectiva diacrônica que exprime o processo historicamente me informa em relação à ordem na qual se dão os processos intra e interpessoais implicados no processo discursivo. A esse respeito, a *lei para o desenvolvimento cultural dos três estágios: em si, para outros e para si* de Vygotski (2000) e as propostas de discurso pedagógico, DP,

discurso polêmico, “dp”, e discurso autoritário, “da”, de Orlandi (1996) auxiliam-me, nesta perspectiva, na busca de entender tais processos. Os processos descritos, mais adiante, na perspectiva sincrônica, dão-se primeiro no nível social e depois se constituem no nível interno, desenvolvendo-se na consciência dos interlocutores. Desse modo, o papel que desempenham as condições de produção no sentido da instalação de um “dp” na sala de aula, na escola, é muito importante. A instalação deste “dp” não só implica o professor, mas também o aluno e a exterioridade, a história desses, interdiscursividades, aspectos ideológicos, isto é, condições de produção. É por isso, que estes discursos – DP, “dp”, “da” – não podem ser entendidos como “coisas” que podem ser movidas daqui para lá segundo a vontade de alguém. Eles são processos complexos.

A perspectiva sincrônica busca explicar o processo como parado no tempo; vê-se aí algo que é constante nesse trabalho pedagógico. O *mecanismo polêmico* de Maingueneau (1997) auxilia-me, desse ponto de vista, na busca de explicações; deslocar o DP na direção de um “dp” implica a necessidade permanente e compartilhada dos interlocutores de colocarem esse mecanismo em funcionamento, isto é, implica a necessidade de colocação e explicitação de formações discursivas, FD<sup>as</sup>, divergentes – contidas em leituras divergentes – na sala de aula, e a partir daí, através de diversos e complexos processos de mediação social e simbólica, “estimular” a “des-construção” e “re-construção” dos conceitos – implicados nas FD<sup>as</sup> que interagem nesse processo discursivo – segundo o *mecanismo polêmico* descrito alhures. Isto, como foi dito, tem importantes implicações no processo de re-significação dos conceitos dos interlocutores participantes desse processo educativo.

O processo discursivo envolvido na idéia de *divergência* que opera nesta ação educativa implica não só a suposta divergência nas FD<sup>as</sup> dos textos mas, também, uma atitude que se vai configurando durante a leitura e discussão destes, de modo que o *funcionamento* de leituras divergentes pode acontecer desde a discussão do primeiro texto, em relação às mediações que aí operem. Acredito que a *divergência* poderia passar a constituir pouco menos que uma maneira de ser.

A Universidade não pode ensinar discursos polêmico, nem divergência, pois são

processos sociais e individuais complexos, de desenvolvimento, consciente, dos sujeitos. Mas a Universidade pode criar condições para sua produção, e é aí que deve dedicar a maior quantidade de esforços possíveis.

### **Efeitos do discurso polêmico X efeitos do discurso autoritário.**

Disse que o discurso autoritário através do discurso pedagógico instala na sala de aula, via o currículo e/ou o currículo em ação, um conjunto de informações de conteúdos que na maioria das vezes constituem o produto de processos de busca de conhecimentos nas ciências. Esses conhecimentos são apresentados como resultados de consenso na ciência e quase como “naturais” e, desse modo, os modelos que servem de base explicativa dos fenômenos e eventos terminam por se metamorfosear vindo a ser a “realidade”; assim estas representações, dos fenômenos e eventos, deixam de funcionar como fechamento de sentidos provisórios, historicamente constituídos pelo homem e se “cristalizam”, tornando-se paráfrase permanente, apagando outras significações que se tenham podido criar e fechando a possibilidade de outros significados que a ciência possa vir desenvolver. Dessa maneira priorizam-se determinadas racionalidades, p. ex., a mecânica clássica e em particular a perspectiva newtoniana, no discurso pedagógico da física.

Ao introduzir, no espaço escolar, outras “leituras”, divergentes, via a leitura e discussão de textos, catalisadas com processos de mediação social e simbólica, possibilitou-se a ação de um discurso polêmico. Com esse discurso polêmico buscava-se romper a paráfrase permanente e produzir a mobilização ou deslocamentos de significações que permitissem, no aluno, possibilidades “reais” de fazer brotar re-significações nos conceitos.

A operação de múltiplos mediadores sociais e simbólicos – via a ação do professor, alunos, textos divergentes etc – possibilitou evidenciar um funcionamento diferenciado dos mediadores, especificamente os sociais. O que permite opor a mediações favoráveis ao discurso autoritário outras propensas ao discurso polêmico.

### **Relação do *desdobramento* com os efeitos dos discursos que operam na aula.**

O fenômeno de *desdobramento*, na formação de professores, que se estabelece no currículo formal, pela excessiva separação – disciplinar, espacial e temporal – dos componentes ou áreas, e no currículo em ação, pelos efeitos da discursividade disciplinar da ciência na prática dos professores, instala-se na escola, e particularmente na aula, e tem *efeitos de sentidos* nos alunos. Esse *desdobramento* manifesta-se na representação que os alunos têm das funções dos componentes curriculares; os alunos parecem *fracionar* o propósito educativo, distinguindo em suas representações, as duas coisas – *o quê* e *o como*, revelando que o que eles vêm buscar aqui, na Educação é *o como* dar aulas, porque os conteúdos, *o quê* dar nelas, o conteúdo da ciência específica, procuram-no em outro lado, na Física. Parece percorrer o suposto, na organização e execução do currículo, que a integração de ambos aspectos – *o quê* e *o como* –, se for considerada necessária, ocorrerá por conta do aluno, no momento mesmo da graduação ou quando egresso. Minha experiência mostra-me que esse fenômeno de desdobramento atravessa também a relação entre as disciplinas de uma mesma área. Os efeitos destes desdobramentos são muito diversos; aqui só apresentei indícios de possíveis expectativas dos alunos em relação à função das disciplinas em seu processo de formação como professores e vinculados ao processo de leitura, mas, com segurança, este desdobramento afeta também a relação professor/aluno, por exemplo, quanto às cobranças que são feitas aos alunos e às que eles fazem a seus professores.

**Dispondo significações que serão confrontadas com outras significações conceituais. A tensão paráfrase/polissemia na apropriação e no desenvolvimento conceitual sob uma perspectiva polêmica-divergente.**

Foi necessário, para desenvolver o mecanismo polêmico implicado neste processo divergente, colocar, via os textos, significações do conceito de energia que a ciência tem construído como objetivação genérica dos fenômenos que implicam essa noção – componentes do perfil epistemológico. Estas significações envolvem fechamentos de sentidos (paráfrase) provisórios, historicamente alcançados pelo homem; e sob a perspectiva bachelardiana significam rupturas ou superações históricas, mas não seu apagamento como paráfrase. Sob esse entendido, a polissemia instalada, desde a origem,

na divergência, tem relações de tensão com essas paráfrases da ciência; isto obriga a que se reconheça, no processo educativo, como absolutamente necessário que o professor, principal mediador nesse processo, disponha para o aluno este conhecimento produzido pela ciência, sem que isso implique um discurso autoritário, mas um discurso polêmico, que destaque a divergência implícita no processo de desenvolvimento conceitual. Com esse mesmo propósito, e sob essa perspectiva discursiva polêmica, o aluno não pode configurar-se como um simples consumidor como aspiraria uma *pedagogia bancária*<sup>32</sup>, mas ele deve ser representado com as potencialidades necessárias para alcançar, paulatinamente, a apropriação e desenvolvimento intelectual que demanda sua formação como professor de física e que lhe permita romper os vínculos que o mantém dependente de seu mestre. Desse modo, ser crítico, divergente, polêmico, insatisfeito são algumas das características mais fundamentais a serem cultivadas.

---

<sup>32</sup> Freire Paulo, *Pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e terra, 1987.





**aqui vai imagem**  
**Two girls reading**  
**Pierre A. Renoir**



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABBAGNANO, Nicola. *Diccionario de filosofía*. México: Fondo de Cultura Económica, 1996.

ALMEIDA, Maria J. P. M. *Textos escritos no ensino da Física*. A influência de proposições na solução de problemas. São Paulo, 1987. Tese de doutorado. IP, USP.

ALMEIDA, Maria J. P. M. & SILVA, Henrique C. Noções auxiliares na compreensão do fazer pedagógico. *Educação & Sociedade*, n. 47, pp. 97-105, abril, 1994.

\_\_\_\_\_. *Linguagens, Leituras e Ensino da Ciência*. Campinas: Mercado de Letras: ALB. 1998.

AUTHIER-REVUZ, Jacqueline. Falta do dizer, dizer da falta: as palavras do silêncio. In: ORLANDI, Eni. *Gestos de leitura*. Da história no discurso. Campinas, SP: UNICAMP, 1997, pp. 257-281.

\_\_\_\_\_. *Palavras Incertas*. As não-coincidências do dizer. Campinas, SP: UNICAMP, 1998.

BACHELARD, Gaston. *Etude sur l'évolution d'un problème de Physique*. La propagation thermique dans les solides. Paris: J. Vrin, 1927.

\_\_\_\_\_. *A formação do espírito científico*: contribuição para uma psicanálise do conhecimento. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

\_\_\_\_\_. A filosofia do não. In: *Os Pensadores*. São Paulo: Abril S.A., 1974a. v. XXXVIII, pp.159-221.

\_\_\_\_\_. O novo espírito científico. In: *Os Pensadores*. São Paulo: Abril S.A., 1974b. v. XXXVIII, pp. 247-337.

\_\_\_\_\_. *Actividad racionalista de la física contemporánea*. Buenos Aires: Editorial Siglo Veinte, 1975.

\_\_\_\_\_. *O racionalismo aplicado*. Rio de Janeiro: Zahar Editores, 1977.

BAKHTIN, Mikhail. *Marxismo e filosofia da linguagem*. Problemas fundamentais do método sociológico na ciência da linguagem. São Paulo: Hucitec, 1997.

BAQUERO, R. *Vigotsky el aprendizaje escolar*. Buenos Aires: Aique, 1996.

BAROLLI, Elisabeth. *Mudança de referencial e os modelos espontâneos de movimento*. São Paulo, 1989. Dissertação de mestrado. FE, USP.

BERNARDES, Newton. *Termodinâmica, linguagem e indeterminação*. Campinas: UNICAMP, 1999.

BÉCU-ROBINAULT, Karine & TIBERGHIE, Andrée. Integrating experiments into the teaching of energy. *Int. J. Sci. Educ.*, v. 20, n. 1, pp. 99-114, 1998.

BROOKS, Larry W. & DANSEREAU, Donald F. Effects of structural schema training and text organization on expository prose processing. *J. Educ. Psych.*, v. 75, n. 6, pp. 811-820, 1983.

CAREY, Susan. The origin and evolution of everyday concepts. In: GIÉRE, Ronald (Ed.) *Cognitive models of science: Minnesota studies in the philosophy of science*. Minnesota, USA: University of Minnesota Press, 1992, pp. 89-128.

CARVALHO, Lizete M. O. *Análise de um modelo de conceitos espontâneos em cinemática elementar*. São Paulo, 1986. Dissertação de mestrado. IF/FE, USP.

CARVALHO, Anna Maria P. O uso do vídeo na tomada de dados: pesquisando o desenvolvimento do ensino em sala de aula. *Pro-Posições*, v. 7, n. 1, pp. 5-13, 1996.

CHI, Michelene. Conceptual change within and across ontological categories: Examples from learning and discovery in science. In: GIÉRE, Ronald (Ed.) *Cognitive models of*

- science*: Minnesota studies in the philosophy of science. Minnesota, USA: University of Minnesota Press, 1992, pp. 129-186.
- COHEN, I. Bernard. *The conservation of energy and the principle of least action*. New York: Arno Press, 1981.
- COHEN, Louis & LAWRENCE, Manion. *Métodos de investigación educativa*. Madrid: La Muralla, 1990, pp. 377-409.
- COOK, Linda & MAYER, Richard E. Teaching readers about the structure of scientific text. *J. Educ. Psych*, v. 80, n. 4, pp. 448-456, 1988.
- DRIVER, Rosalin W. Student's use of the principle of energy conservation in problems situations. *Physics Education*, v. 20, pp.171-176, 1985.
- ERICKSON, G. L. Children's conceptions of heat and temperature. *Science Education*, v.63, n.2, pp. 221-230, 1979.
- GALLO, Solange L. *Discurso da escrita e ensino*. Campinas, SP: UNICAMP, 1992.
- GARCIA J. A. M. Comprensión y lenguaje a partir de textos. In: RODRIGUEZ, M. M. (org.). *El Papel de la Psicología del aprendizaje en la formación inicial del profesorado*, Cuaderno del I.C.E. Madrid: U.A.M, 1995.
- GERALDI, João Wanderley. *Linguagem e Ensino*. Campinas, SP: Mercado de Letras - ALB, 1996.
- GIL-PÉREZ, Daniel. New trends in science education. *International J. Science Education*, v. 18, n. 8, pp. 889-901, 1996.
- GRECA, Ileana M. et al. Representações mentais utilizadas por alunos de Física geral na área da mecânica. In: *Anais do Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciências*. Linguagem, cultura e cognição. Reflexões para o ensino de Ciências. Belo Horizonte: UFMG-FE: UNICAMP-FE, 1997, pp. 312-327.

- GRECA, Ileana M. & MOREIRA Marco A. Un estudio piloto sobre representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto del concepto de campo electromagnético en alumnos de Física General, estudiantes de postgrado y físicos profesionales. *Investigações em ensino de ciências*, v. 1, n. 1, abril, 1996.
- \_\_\_\_\_. & \_\_\_\_\_. Modelos mentales, modelos conceptuales y modelización. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v. 15, n. 2, pp. 107-120, 1998.
- GUTIERREZ, Rufina & OGBORN, Jon. A causal framework for analysing alternative conceptions. *Int. J. Sci. Educ*, v.14, n. 2, pp. 201-220, 1992.
- HAROCHE, Claudine. *Fazer dizer. Querer dizer*. São Paulo: Hucitec. 1992.
- HOLTON, Gerald, *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*. Barcelona/Espanha: Reverté, 1976.
- HOWES, Ruth H. Desenvolvimento de uma Força-Tarefa Nacional sobre educação em física na graduação. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 22, n. 4, pp. 510-516, 2000.
- KOCH, Adina & ECKSTEIN, Shulamith G. Improvement of reading comprehension of physics text by students question formulation. *Int. J. Sci. Educ*, v.13, n. 4, pp. 473-485, 1991.
- KUHN, Thomas S. Energy Conservation as an Example of Simultaneous Discovery. In: COHEN, Bernard I. *The Conservation of Energy and the Principle of Least Action*. New York: Arno Press, 1981, pp. 321-356.
- \_\_\_\_\_. *The Structure of scientific revolutions*. Chicago: The University of Chicago Press, 1970.
- LINDER, C. J. A. Challenge to conceptual change. *Science Education*, v. 77, n. 3, pp. 293-300, 1993.
- LINN, Marcia C. Establishing a research base for science education: Challengers, Trends

- and Recommendations. *J. Of Research in Science Teaching*, v. 24, n. 3, pp. 191-216, 1987.
- LÜDKE, Menga & ANDRÉ, Marli E. D. A. *Pesquisa em educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986.
- LURIA, Alexander R. *Desenvolvimento cognitivo: seus fundamentos culturais e sociais*. São Paulo: Icone, 1990.
- MAINGUENEAU, Dominique. *Novas tendências em análise do discurso*. Campinas/SP: Pontes: UNICAMP, 1997.
- MASSA, Marta et al. ¿Qué se lee en el enunciado de un problema? In: *Anais do Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciências*. Linguagem, cultura e cognição. Reflexões para o ensino de Ciências. Belo Horizonte: UFMG-FE: UNICAMP-FE, 1997, pp. 361-371.
- MATTHEWS, Michael R. *Constructivism and science education: an evaluation*. Conferência apresentada no VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (VII EPEF). Florianópolis/SC, Março de 2000.
- MAYER, Richard E. & COOK, Linda Dyck Jennifer. Techniques that help readers build mental models from scientific text: definitions pretraining and signaling. *J. Educ. Psych*, v. 76, n. 6, pp. 1089-1105, 1984.
- MICHINEL, José L. & D`ALESSANDRO, Antonio. El concepto de energía en los libros de texto: de las concepciones previas a la propuesta de un nuevo sublenguaje. *Enseñanza de las Ciencias*, v.12, n.3, pp. 369-380, 1994.
- \_\_\_\_\_. & \_\_\_\_\_. Los libros de textos de Física: preconcepciones, paradigmas y sublenguaje, *Tribuna del Investigador*, v. 3, n. 1, pp. 37 - 48, 1996.
- MICHINEL, José L. & ALMEIDA, Maria J.P.M *Critérios para uma proposta de leituras no âmbito da termodinâmica*. VI Encontro de Pesquisa em Ensino de Física



(VIEPEF). Florianópolis/SC, Brasil, outubro de 1998.

MICHINEL, José L. & FREITAS, Deisi S. *O estatuto ontológico da linguagem científica na aprendizagem*. Apresentado no III Encontro sobre Linguagens, Leitura e Ensino das Ciências no 12º Congresso de Leitura do Brasil. Campinas, UNICAMP, Julho, 1999.

MORATO, Edwiges M. Vigotski e a perspectiva enunciativa da relação entre linguagem, cognição e mundo social. *Educação & Sociedade*, n. 71, pp. 149-165, 2000.

MOREIRA, Marco A. & LAGRECA, Maria do C. B. Representações mentais dos alunos em mecânica clássica: três casos. *Investigações em ensino de ciências*, v. 3, n. 2, agosto, 1998.

MORTIMER, Eduardo. *Evolução do atomismo em sala de aula: mudança de perfil conceitual*. São Paulo, 1994. Tese de doutorado. FE, USP.

\_\_\_\_\_. Conceptual change or conceptual profile change? *Science Education*, v. 4, pp. 267-285, 1995.

\_\_\_\_\_. Sobre chamuscas e cristais: a linguagem cotidiana, a linguagem científica e o ensino de ciências. In: CHASSOT, Attico & OLIVEIRA, José R. (orgs.). *Ciência, ética e cultura na educação*. São Leopoldo: UNISINOS, 1998.

MORTIMER, Eduardo F. & MACHADO, Andréa H. Múltiplos olhares sobre um episódio de ensino: Por que o gelo flutua na água? In: *Anais do Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciências*. Linguagem, cultura e cognição. Reflexões para o ensino de Ciências. Belo Horizonte: UFMG-FE: UNICAMP-FE, 1997, pp. 167-190.

NEVES, Marcos C. D. *Uma perspectiva fenomenológica para o professor em sua expressão do: “o que é isto, a ciência”?* Campinas, 1991. Tese de doutorado. FE, UNICAMP.

OLIVEIRA, Mauricio P. P. *O uso de modelos no ensino da física: uma aplicação aos*

- circuitos elétricos. São Paulo, 1988. Dissertação de mestrado. IF/FE, USP.
- ORLANDI, Eni. *A Linguagem e seu funcionamento*. As formas do discurso. Campinas: Pontes, 1996.
- \_\_\_\_\_. *Interpretação*. Autoria, leitura e efeitos do trabalho simbólico. Petrópolis: Vozes, 1996a.
- \_\_\_\_\_. *Discurso e Leitura*. São Paulo: Cortez; Campinas, SP: UNICAMP, 1996b.
- \_\_\_\_\_. Uma amizade firme, uma relação de solidariedade e uma afinidade teórica. In: *Gestos de leitura*. Da história no discurso. Campinas, SP: UNICAMP, 1997, pp. 7-28.
- \_\_\_\_\_. *Análise de discurso*. Princípios & Procedimentos. Campinas: Pontes, 1999.
- PÊCHEUX, Michel. Análise automática do discurso (AAD-69). In: GADET, Françoise & HAK, Tony (orgs.). *Por uma análise automática do discurso*. Uma introdução à obra de Michel Pêcheux. Campinas: UNICAMP, 1990, pp. 61-105.
- \_\_\_\_\_. *Semântica e Discurso*. Uma crítica à afirmação do óbvio. Campinas: UNICAMP, 1995.
- \_\_\_\_\_. *O discurso*. Estrutura ou acontecimento. Campinas, SP: Pontes, 1997.
- PRIGOGINE, Ilya. From being to becoming. Time and complexity in the physical science. New York: W. H. Freeman and Company, 1980.
- \_\_\_\_\_. *O fim das certezas*. Tempo, caos e as leis da natureza. São Paulo: Editora UNESP, 1996.
- PRIGOGINE, Ilya & STENGERS, Isabelle. *A nova aliança*. Brasília: Editora UnB, 1997.
- RINCON A. E. & ALMEIDA, Maria J. P. M. Ensino de física e leitura. *Leitura: Teoria & Prática*, ano 10, n. 18, pp.7-16, 1991.
- ROBILOTTA, Manoel R. & BABICHAK, Cezar C. Definições e conceitos em Física. In:

*Cadernos Cedes 41*. Ensino da Ciências, Leitura e Literatura, pp. 35- 45, 1997.

SCALA, Sérgio B. N. *Aprendizagem e leitura: a técnica de cloze na compreensão de relações de física*. São Paulo, 1980. Dissertação de mestrado. IF/FE, USP.

SIGRIST, José L. Dialogando com a filosofia. *Interface – Comunicação, Saúde, Educação*, v.1, pp.169-180, 1997.

SILVA, Henrique C. & ALMEIDA, Maria J. P. M. Leitura e resolução de exercícios em Física: Concepções de uma professora. In: *Anais do Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciências*. Linguagem, cultura e cognição. Reflexões para o ensino de Ciências. Belo Horizonte: UFMG-FE: UNICAMP-FE, 1997, pp. 340- 350.

SMOLKA, Ana L. B. A Prática Discursiva na Sala de Aula: Uma perspectiva teórica e um esboço de análise. In: *Cadernos Cedes 24*. Pensamento e Linguagem. Estudos na Perspectiva da Psicologia Soviética. Campinas: UNICAMP-CEDES, 2000, pp. 60-75.

\_\_\_\_\_. O (im)próprio e o (im)pertinente na apropriação das práticas sociais. In: *Cadernos Cedes 50*. Relações de ensino: análises na perspectiva histórico-cultural. Campinas: UNICAMP-CEDES, 2000, pp. 26- 40.

SOUZA F., Osvaldo M. *Evolução da idéia de conservação da energia – Um Exemplo de História da Ciência no Ensino de Física*. São Paulo, 1987. Dissertação de Mestrado. IF, USP.

STIPCICH, Maria S. & MASSA, Marta. Comprensión de consignas y comprensión de textos: ¿Cosas diferentes? *Anais do Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciências*. Linguagem, cultura e cognição. Reflexões para o ensino de Ciências. Belo Horizonte: UFMG-FE: UNICAMP-FE, 1997, pp. 351-360.

VIGNER, Gerard. Intertextualidade, norma e legibilidade. In: GALVES, Charlotte; ORLANDI, Eni; OTONI, Paulo (orgs.). *O texto: leitura e escrita*. Campinas/SP: Pontes, 1997, pp. 31-38.

VYGOTSKI, Liev. *A formação social da mente: o desenvolvimento dos processos psicológicos superiores*. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

\_\_\_\_\_. *Obras Escogidas II*. Madrid: Visor, 1993, pp.10-348.

\_\_\_\_\_. Psicologia concreta do homem. *Educação & Sociedade*, n. 71, pp. 23-44, 2000.

YAGUELLO, Marina. Introdução. In: BAKHTIN, Mikhail. *Marxismo e filosofia da linguagem*. Problemas fundamentais do método sociológico na ciência da linguagem. São Paulo: Hucitec, 1997.

YASSUKO, Hosoume. *Proposta de um modelo “espontâneo” de movimento*. São Paulo, 1986. Tese de doutorado. FE, USP.

WOLCOTT, H. W. Criteria for an ethnographic approach to research in education. *Human organization*. v.34, pp. 111-128, 1975.

ZANETIC, João. *Física também é cultura*. São Paulo, 1989. Tese de doutorado. FE, USP.



## **7. ANEXOS**

## Anexo 1A



### Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Educação

Campinas, agosto de 1999.

Disciplina:  
Cod. disciplina:

*“.. toda ciência seria supérflua, se a forma de manifestação  
e a essência das coisas coincidissem imediatamente.”  
Karl Marx*

#### Uma pesquisa no ensino de Física na Educação Superior

Estamos realizando uma pesquisa no âmbito do ensino de física na educação superior.

Ao responder um pequeno questionário e participar do conjunto de atividades relacionadas a essa pesquisa, você estará colaborando com a mesma e, além disso, ao ter participação na análise de alguns dados você se envolverá de modo direto com uma abordagem de pesquisa na educação em física.

De modo algum este instrumento pretende avaliar rendimento estudantil.

A identificação, tem como propósito fazer uma comparação entre as respostas às questões do momento e as que esperamos obter em uma futura atividade com o grupo.

Queremos agradecer, muito sinceramente, a sua disposição em nos acompanhar nesta pesquisa.

José Luis Michinel

---

**Nome:** \_\_\_\_\_

#### Questões

- 1) De acordo com sua preferência, ordene os temas de ciências (da Física, da Química, etc), que já estudou, em forma decrescente (do que mais gostou para o que menos gostou).

---

---

---

- 2) a) Alguns cientistas e professores acham que a termodinâmica é um tema importante que deve ser bem conhecido pelos envolvidos nas áreas de ciências. Você concorda com eles? Por que?

---

---

---

---

b) Você já estudou esse tema na Universidade? Gostou?

---

---

c) Gostaríamos que nos desse sua opinião sobre que assuntos de Termodinâmica deveriam ser abordados no Ensino Superior e de que maneira.

---

---

---

3) Por favor, conte-nos de maneira resumida o que você sabe sobre energia.

---

---

---

4) Você acredita que a maioria dos temas de física ainda sofrerão modificações, ou sua conceituação já é definitiva? Se possível, dê exemplos de assuntos que já estão “prontos” e de outros que sofrerão “mudanças”.

---

---

---

5) a) Na sua opinião, quais das atividades indicadas embaixo são as melhores para se aprender física? Coloque-as em ordem decrescente, das que acha melhor para a que acha menos útil. Atividades: assistir aulas, escrever, fazer exercícios, ler, resolver problemas, solucionar questões, ver vídeos, trabalhar em laboratório.

1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_  
4 \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_ 6 \_\_\_\_\_  
7 \_\_\_\_\_ 8 \_\_\_\_\_

b) Gostaríamos de saber qual é a importância da leitura na sua vida cotidiana. Se você gosta ou não de ler, se lê como lazer e/ou para estudo e que tipo de livros/ revistas/ jornais lê

---

---

---



## Anexo 1B

### Questionário inicial aplicado à turma EL643 (2000)

Por favor, responda as duas questões abaixo antes de ler o texto proposto para esta semana em EL643.

Nome \_\_\_\_\_

1. Elegemos o tema *energia* para nosso estudo sobre certas compreensões de temas estudados em física. Gostaríamos de saber:

Você estudou esse tema no ensino: fundamental? \_\_\_ médio? \_\_\_ universitário? \_\_\_ outro? \_\_\_ nunca estudou o tema? \_\_\_.

Você considera que entre outros temas estudados na física, *energia* é um assunto importante? Justifique essa opinião.

---



---



---

Suponha que você tem de contar a alguém o que a física diz sobre a *energia*. Por favor, resuma o que diria a essa pessoa.

---



---



---

No que se baseou para fazer esse resumo?

---

2. São muitas as atividades com as quais é possível aprender ciência. Ordene as seguintes, daquela com a qual você acha que aprende mais para aquela com a qual você aprende menos: assistir aulas expositivas; escrever; fazer exercícios; ler; participar de discussões em grupo; resolver problemas; solucionar questões; trabalhar em laboratório; ver vídeos.

1 \_\_\_\_\_ 2 \_\_\_\_\_ 3 \_\_\_\_\_  
 4 \_\_\_\_\_ 5 \_\_\_\_\_ 6 \_\_\_\_\_  
 7 \_\_\_\_\_ 8 \_\_\_\_\_ 9 \_\_\_\_\_

Desde que é aluno universitário, você costuma ler: muito \_\_\_ regular \_\_\_ pouco \_\_\_ nada \_\_\_

Com \_\_\_\_\_ que \_\_\_\_\_ finalidade \_\_\_\_\_ você \_\_\_\_\_ lê?

Que \_\_\_\_\_ tipo \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ leitura \_\_\_\_\_ você prefere? \_\_\_\_\_

3. O que você gostaria que fosse discutido nesta disciplina sobre o tema *energia*? E sobre a *leitura* como atividade escolar? E sobre a *pesquisa* que se faz na educação em ciência?

---



---



---

4. Você é graduado em física? Sim: \_\_\_ Não: \_\_\_. Se a sua resposta for não, qual a última disciplina que fez na física:

---

## Anexo 2A



### Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Educação

Campinas, agosto de 1999.

Disciplina: Problemas de Ensino II de física  
Cod. disciplina: EL631

*“.. toda ciência seria supérflua, se a forma de manifestação  
e a essência das coisas coincidissem imediatamente.”  
Karl Marx*

Nome: \_\_\_\_\_

Questões:

Com base na leitura que você fez do texto de **D. Halliday** responda as seguintes questões:

- 1) Comente de maneira geral como acha o texto (dificuldades na leitura, de que trata etc)

---

---

---

---

- 2) Quais são as idéias sobre calor e energia que o autor apresenta?

---

---

---

---

- 3) À luz da leitura que você fez deste texto (caso esta tenha sido a primeira vez, indique-nos) mudou alguma coisa no que você já sabia sobre o calor e a energia? Explícite quais.

---

---

---

---

## Anexo 2B



### Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Educação

Campinas, 13 de setembro de 1999.

Disciplina: Problemas de Ensino II de física

Cod. disciplina: EL631

*“.. toda ciência seria supérflua, se a forma de manifestação  
e a essência das coisas coincidissem imediatamente.”*

*Karl Marx*

Nome: \_\_\_\_\_

Questões:

Com base na leitura que você fez do texto de **M. Nussenzveig** responda as seguintes questões:

1) Comente de maneira geral como acha o texto (Dificuldades na leitura, de que trata etc)

---

---

---

---

2) Quais são as idéias sobre calor e energia que o autor apresenta?

---

---

---

---

3) À luz da leitura que você fez deste texto (caso esta tenha sido a primeira vez, indique-nos) mudou alguma coisa no que você já sabia sobre o calor e a energia? Explícite quais.

---

---

---

---

4) O autor apresenta diferenças com o texto de D. Halliday, em relação ao tema? Quais são estas diferenças?

---

---

---



## Anexo 3A



### Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Educação

Campinas, 10 agosto de 1999.

Disciplina: Didática da Física  
Cod. disciplina: EL643

*“.. toda ciência seria supérflua, se a forma de manifestação  
e a essência das coisas coincidissem imediatamente.”  
Karl Marx*

Nome: \_\_\_\_\_

Questões:

Com base na leitura que você fez do texto de **P. Tipler** responda as seguintes questões:

1) Comente de maneira geral como acha o texto (Dificuldades na leitura, de que trata, etc)

---

---

---

---

2) Quais são as idéias sobre energia que o autor apresenta?

---

---

---

---

3) As idéias do autor, nesse texto, acrescentaram alguma coisa no que você já sabia sobre a energia? Explícite quais coisas?

---

---

---

---

## Anexo 3B



### Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Educação

Campinas, 10 agosto de 1999.

Disciplina: Didática da Física  
Cod. disciplina: EL643

*“.. toda ciência seria supérflua, se a forma de manifestação  
e a essência das coisas coincidissem imediatamente.”*

*Karl Marx*

Nome: \_\_\_\_\_

Questões:

Com base na leitura que você fez do texto de **M. Planck** responda as seguintes questões:

1) Comente de maneira geral como acha o texto (Dificuldades na leitura, de que trata, etc)

---

---

---

---

2) Quais são as idéias sobre energia que o autor apresenta?

---

---

---

3) As idéias do autor, nesse texto, acrescentaram alguma coisa no que você já sabia sobre a energia? Explícite quais coisas?

---

---

---

4) Quais são as diferenças, quanto a forma e conteúdo dos textos, entre o dito por este autor e o dito por o autor da outra leitura?

---

---

---

## Anexo 4A



### Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Educação

Campinas, 25 agosto de 1999.

Disciplina: Prática de Ensino II de Física  
Cod. disciplina: EL873

*“.. toda ciência seria supérflua, se a forma de manifestação  
e a essência das coisas coincidissem imediatamente.”  
Karl Marx*

Nome: \_\_\_\_\_

Questões:

Com base na leitura que você fez do texto de **R. Feynman** responda as seguintes questões:

1) Comente de maneira geral como acha o texto (Dificuldades na leitura, de que trata, etc)

---

---

---

---

2) Quais são as idéias sobre energia que o autor apresenta?

---

---

---

---

3) As idéias do autor, nesse texto, acrescentaram alguma coisa no que você já sabia sobre a energia? Explícite quais coisas?

---

---

---

---



## Anexo 4B



### Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Educação

Campinas, 25 agosto de 1999.

Disciplina: Prática de Ensino II de Física  
Cod. disciplina: EL873

*“.. toda ciência seria supérflua, se a forma de manifestação  
e a essência das coisas coincidissem imediatamente.”  
Karl Marx*

Nome: \_\_\_\_\_

Questões:

Com base na leitura que você fez do texto de **I. Prigogine** responda as seguintes questões:

1) Comente de maneira geral como acha o texto (Dificuldades na leitura, de que trata, etc)

---

---

---

---

2) Quais são as idéias sobre energia que o autor apresenta?

---

---

---

3) As idéias do autor, nesse texto, acrescentaram alguma coisa no que você já sabia sobre a energia? Explícite quais coisas?

---

---

---

4) O autor apresenta diferenças frente à física clássica, em relação ao tema. Quais são estas diferenças?

---

---

---

---

## Anexo 5A

Campinas, 31 de outubro de 2.000.

Disciplina: Didática da Física

Cod. disciplina: EL643

*“.. toda ciência seria supérflua, se a forma de manifestação e a essência das coisas coincidissem imediatamente.”*

*Karl Marx*

Nome: \_\_\_\_\_

Com base na leitura que você fez do texto de **R. Feynman** responda as seguintes questões:

1. Comente como acha o texto (dificuldades na leitura, de que trata?, que parte chamou mais a sua atenção e por que? etc)
2. Quais são as idéias sobre energia que o autor apresenta? Que acrescentaria você em relação à significação da energia?
3. À luz da leitura que você fez deste texto (caso esta tenha sido a primeira vez, indique-nos), mudou alguma coisa no que você já sabia sobre a energia? Explícite quais.

## Anexo 5B

Campinas, 07 de novembro de 2.000.

Disciplina: Didática da Física

Cod. disciplina: EL643

*“.. toda ciência seria supérflua, se a forma de manifestação e a essência das coisas coincidissem imediatamente.”*

*Karl Marx*

Nome: \_\_\_\_\_

Com base na leitura que você fez do texto de **I. Prigogine e I. Stengers** responda as seguintes questões:

4. Comente como acha o texto (dificuldades na leitura, de que trata?, que parte chamou mais a sua atenção e por que? etc)
5. Quais são as idéias sobre energia que os autores apresenta? Que acrescentaria você em relação à significação da energia?
6. À luz da leitura que você fez deste texto (caso esta tenha sido a primeira vez, indique-nos), mudou alguma coisa no que você já sabia sobre a energia? Explícite quais.
7. Este texto apresenta diferenças, em relação ao tema da energia, com o texto de Feynman trabalhado a semana passada? Quais são estas diferenças?

## Anexo 6



### Universidade Estadual de Campinas Faculdade de Educação

Campinas, 30 de agosto de 1999.

Nome \_\_\_\_\_

Por favor, anote aqui o que você considera mais importante sobre o tema energia?

---



---



---

Mostramos seis textos com visões sobre energia. Gostaríamos que você os ordenasse segundo o poder que têm para explicar a energia (do de maior para o de menor poder explicativo - numere os textos de 1 a 6, sendo 1 o que mais explica). Se não concordar, ou se tiver dúvidas sobre algum dos textos, anote sua discordância ou dúvida atrás do próprio texto. Também gostaríamos que justificasse aqui o porquê da ordenação que você escolheu para os textos.

---



---



---

Agradecemos sua colaboração.

V. A energia muda de uma forma a outra, relacionando-se ao processos de transformação. A experiência permite a observação, determinação e medida dos distintos tipos de energia. É o caso, por exemplo, de experiências com o calorímetro na educação secundária ou universitária. Como neste exemplo, atos simples de medidas e uso de relações matemáticas, também simples, permitem o cálculo das quantidades de energia que passam de um corpo a outro.

III. A energia transformada num operador (que agindo sobre uma função de onda dá a equação de

Schöedinger:  $\mathbf{H}_{op} \psi = \frac{ih}{2m} \frac{\partial^2 \psi}{\partial t^2}$ , onde  $\psi$  é a função própria do operador Hamiltoniano,  $\mathbf{H}_{op}$ , e seus

valores próprios são os valores dos níveis de energia do sistema) desempenha um papel central na mecânica quântica.  $\mathbf{H}_{op}$  dá por seus valores próprios os níveis de energia do sistema. Mas estes valores próprios são discretos. A equação de Schöedinger representa também a evolução temporal do sistema.

A energia é uma função continua quando se propaga, mas é discreta quando se emite ou absorve. Os quantas de energia permitem compreender a aritmética fundamental da matéria e da irradiação e superam as visões estreitas dos modelos onda e de partículas. A energia se faz complexa, é Energia e é Massa.

VI. A energia é como um combustível, que pode ser armazenado, transportado e gasto. Ela tem a ver com o movimento e a impulsão dos corpos (vivos ou inanimados). Ela regula todos os processos. A vida é energia. Veja-se o caso dos doentes, são pessoas com pouco ânimo e energia reduzida ou no caso extremo dos mortos que têm uma perda completa da energia vital. Sem energia não há vida e as coisas não trabalham, não funcionam.

**II.** A teoria quântica relativista do elétron livre formulada por Dirac prevê que os valores permitidos para a energia total relativista de um elétron é:  $E = \pm \sqrt{c^2 p^2 + m_0^2 c^4}$ , dando origem, então, a dois tipos de energia uma positiva e outra negativa. Dirac identificou o elétron e o pósitron como os portadores, respectivamente, destas energias. Os processos que envolvem a produção deste tipo de energia identificam-se hoje como de produção e aniquilação de pares, que são processos onde os fótons, de radiações de alta energia - raios X de alta energia ou raios  $\gamma$ , perdem sua energia na interação com a matéria, dando origem a pares de partículas com energia com signos opostos. A primeira evidência empírica destes processos foi obtida por Anderson, em 1933, durante uma pesquisa sobre raios cósmicos.

**IV.** Não se vê a energia simplesmente como uma serie de formas (mecânica, química, elétrica etc.) isoladas e cada uma delas atrelada a um processo particular. Mas sim relacionadas umas com outras através da conservação da energia. Isto último pressupõe também a conservação do sistema, que é isolado. O hamiltoniano clássico,  $H_{op}$ , que tem como valores próprios os valores de energia (contínuos) do sistema, é um invariante do movimento: que exprime a energia total do sistema em termos das variáveis canônicas - posição,  $q$ , e momento,  $p$  - e conserva um valor constante para toda a evolução dinâmica de um sistema isolado. No caso particular de sistemas termodinâmicos esta invariância de  $H_{op}$  se exprime por meio da primeira lei da termodinâmica:  $\Delta E = W + Q$ .

**I.** Para um sistema integrável, a energia não é o único invariante. Quer dizer, que o sistema está restringido em seu movimento numa fração muito pequena da superfície de energia constante. Na microfísica os fenômenos se produzem quando um sistema passa de um estado energético a outro emitindo ou absorvendo energia. É esta diferença de níveis de energia a que dá possibilidade ao processo. Estas diferenças de níveis de energias se mantêm para permitir novos processos.

Os energistas, como Ostwald, queriam dar o mesmo estatuto a todas as energias. Para eles a queda de um corpo entre dois níveis de altitude constituía a aplicação de uma diferença produtora essencialmente da mesma natureza da passagem de calor entre dois corpos de temperaturas diferentes: essa assimilação eliminava a distinção entre um processo *idealmente reversível*, como um movimento mecânico, e um processo *intrinsecamente irreversível*, como a difusão de calor. Os energistas em lugar de ver *na conservação da energia* uma propriedade apenas de casos ideais, mas que seria a única suscetível de um tratamento rigoroso, eles fizeram da conservação da energia uma propriedade de toda transformação físico-química, mas viram *na conservação das diferenças de energia* (necessária a toda transformação porque só uma diferença de energia pode produzir uma outra diferença) um caso "apenas ideal", mas que só ele pode ser objeto de ciência rigorosa.

## Anexo 7

### Roteiro de questões para entrevista com alunos da turma EL873.

#### Questões

- 1) Para que você lê?, qual é sua intencionalidade quando lê?
- 2) Quando vá estudar como é sua relação com a leitura que estuda. Quando lê com outro propósito o faz do mesmo jeito? (exemplo como leu os textos entregados na atividade feita durante a pesquisa).
- 3) Se tiver que dar uma nova aula para os estudantes do curso de 2º grau que lhes diria sobre a energia? E se a aula for para seu turma?
- 4) Em verdade a energia é uma coisa abstrata? Acha que sua visão e noção de energia mudou. A que acha que se deveu?
- 5) A que deve que não encontrou nos textos lido outras idéias da energia? E os seis textos?
- 6) Porque não leu para a aula correspondente o texto de Prigogine? Leu o texto depois?
- 7) Analisemos o que aconteceu na primeira aula. Acha que mudou sua visão? Porque acha que mudou?
- 8) Ordena estes textos por abrangência. Porque assim?

## Anexo 8

### Pauta para a entrevista com alunos da turma EL643 (2000): F, G, I

Disciplina: Didática da Física

Cod. disciplina: EL643

Tendo em vista que você assistiu a todas as atividades planejadas para este trabalho pedagógico, em relação com a leitura de textos divergentes de energia, realizado com a turma de EL643, quis realizar esta entrevista para ter a sua opinião em relação aos distintos aspectos trabalhados (significação de energia e da leitura, atividades realizadas etc) e as possibilidades educativas destes.

- 1) Diga-me sua opinião em relação a todas e cada uma das atividades realizadas<sup>1</sup>.
- 2) Visto este processo em sentido retrospectivo, poderia identificar algum momento em que aconteceu algo que produziu mudança no que você sabia? indique-nos quais momentos e quais mudanças.
- 3) Em sua opinião estes textos são divergentes? Porque?
- 4) Qual é a idéia de texto divergente que buscamos passar ? ou porque se diz que eles são divergentes?
- 5) A que deve que não encontrou nos textos lido outras idéias da energia?
- 6) Olhe estes seis textos com visões sobre energia. Gostaria que você os ordenasse segundo o poder que têm para explicar mais completamente a energia (do de maior para o de menor poder explicativo - numere os textos de 1 a 6, sendo 1 o que mais explica). Se não concordar, ou se tiver dúvidas sobre algum dos textos, diga sua discordância ou dúvida. Também gostaria que justificasse o porquê da ordenação que você escolheu para os textos.
- 7) Estudou em instituições públicas e/ou privadas?
- 8) Quais são os autores dos livros de textos utilizados nas seguintes disciplinas:

Física Geral I	
Física Geral II	
Mecânica Geral I	
Termodinâmica	

<sup>1</sup> Se o entrevistado precisa informação em relação a quais foram as atividades, indicar quais foram: 1) Questionário inicial, 2) leitura de texto de Feynman, 3) questionário em relação com esta leitura, 4) discussão do texto, 5) leitura de Prigogine/ Stengers, 6) questionário relacionado com a leitura, 7) discussão do texto, 8) questão em relação a “o que a discussão sobre o texto de Prigogine/Stengers mudou sobre a idéias de sua leitura”, 9) Apresentação de resultados.

V. A energia muda de uma forma a outra, relacionando-se aos processos de transformação. A experiência permite a observação, determinação e medida dos distintos tipos de energia. É o caso, por

exemplo, de experiências com o calorímetro na educação secundária ou universitária. Como neste exemplo, atos simples de medidas e uso de relações matemáticas, também simples, permitem o cálculo das quantidades de energia que passam de um corpo a outro.

**III.** A energia transformada num operador (que agindo sobre uma função de onda dá a equação de Schrödinger:  $\mathbf{H}_{op} \psi = \frac{ih}{2\pi} \frac{\partial \psi}{\partial t}$ , onde  $\psi$  é a função própria do operador Hamiltoniano,  $\mathbf{H}_{op}$ , e seus valores próprios são os valores dos níveis de energia do sistema) desempenha um papel central nesta mecânica.  $\mathbf{H}_{op}$  dá por seus valores próprios os níveis de energia do sistema. Mas estes valores próprios são discretos. A equação de Schrödinger representa também a evolução temporal do sistema. Mas existe a impossibilidade da determinação simultânea de grandezas complementarias (Ex: E e t).

A energia é uma função continua quando se propaga, mas é discreta quando se emite ou absorve. Os quantas de energia permitem compreender a aritmética fundamental da matéria e da irradiação e superam as visões estreitas dos modelos onda e de partículas. A energia se faz complexa, é Energia e é Massa.

**VI.** A energia é como um combustível, que pode ser armazenado, transportado e gasto. Ela tem a ver com o movimento e a impulsão dos corpos (vivos ou inanimados). Ela regula todos os processos. A vida é energia. Veja-se o caso dos doentes, são pessoas com pouco ânimo e energia reduzida ou no caso extremo dos mortos que têm uma perda completa da energia vital. Sem energia não há vida e as coisas não trabalham, não funcionam.

**II.** A teoria quântica relativista do elétron livre formulada por Dirac prevê que os valores permitidos para a energia total relativista de um elétron é:  $E = \sqrt{c^2 p^2 + m_0^2 c^4}$ , dando origem, então, a dois tipos de energia uma positiva e outra negativa. Dirac identificou o elétron e o pósitron como os portadores, respectivamente, destas energias. Os processos que envolvem a produção deste tipo de energia identificam-se hoje como de produção e aniquilação de pares, que são processos onde os fótons, de radiações de alta energia - raios X de alta energia ou raios  $\gamma$ , perdem sua energia na interação com a matéria, dando origem a pares de partículas com energia com signos opostos. A primeira evidência empírica destes processos foi obtida por Anderson, em 1933, durante uma pesquisa sobre raios cósmicos.

**IV.** Não se vê a energia simplesmente como uma serie de formas (mecânica, química, elétrica etc.) isoladas e cada uma delas atrelada a um processo particular. Mas sim relacionadas umas com outras através da conservação da energia. Isto último pressupõe também a conservação do sistema, que é isolado. O hamiltoniano clássico,  $\mathbf{H}_{op}$ , que tem como valores próprios os valores (contínuos) de energia do sistema, é um invariante do movimento: que exprime a energia total do sistema em termos das variáveis canônicas - posição, q, e momento, p - e conserva um valor constante para toda a evolução dinâmica de um sistema isolado. No caso particular de sistemas termodinâmicos esta invariância de  $\mathbf{H}_{op}$  se exprime por meio da primeira lei da termodinâmica:  $E = W + Q$ .

**I.** Nem todas as energias têm o mesmo estatuto; por exemplo, a queda de um corpo entre dois níveis de altitude não constitui a aplicação de uma diferença produtora essencialmente da mesma natureza da passagem de calor entre dois corpos de temperaturas diferentes. Isto é, existem diferenças qualitativas importantes entre algumas energias que levam à distinção entre um processo idealmente reversível, como um movimento mecânico, e um processo intrinsecamente irreversível, como a difusão de calor. Daí que a conservação da energia é uma propriedade apenas de casos ideais, mas que não é uma propriedade de toda transformação físico-química. Nos sistemas reais é a conservação das diferenças de energia a necessária a toda transformação porque só uma diferença de energia pode produzir uma outra diferença. Assim se pode afirmar que para um sistema integrável, a energia não é o único invariante. Quer dizer, que o sistema está restringido em seu movimento numa fração muito pequena da superfície de energia constante.

Na microfísica os fenômenos se produzem quando um sistema passa de um estado energético a outro emitindo ou absorvendo energia. É esta diferença de níveis de energia a que dá possibilidade ao processo. Estas diferenças de níveis de energias se mantêm para permitir novos processos. Y este processo, como na macrofísica, é intrinsecamente irreversível.

**Anexo 9**

**TREATISE ON  
THERMODYNAMICS**

BY

**DR. MAX PLANCK**

PROFESSOR OF THEORETICAL PHYSICS IN THE UNIVERSITY OF  
BERLIN

*TRANSLATED WITH THE AUTHOR'S SANCTION*

BY

**ALEXANDER OGG, M.A., B.Sc., PH.D., F. INST. P.**  
PROFESSOR OF PHYSICS, UNIVERSITY OF CAPETOWN, SOUTH  
AFRICA

THIRD EDITION

*TRANSLATED FROM THE SEVENTH GERMAN EDITION*

DOVER PUBLICATIONS, INC.  
NEW YORK





Campinas, agosto 1999.

## **Tratado de Termodinâmica**

**Max Planck (1858-1947)**

**Tradução não autorizada do Inglês por José Luis Michinel**

Parte II

### **O Primeiro Princípio Fundamental de Termodinâmica**

Capítulo I.

Exposição Geral.

§ 55. A *Primeira Lei* da termodinâmica não é mais que o princípio de conservação da energia aplicado a fenômenos que envolvem a produção ou absorção de calor. Dois modos levam a provar dedutivamente este princípio. Podemos aceitar como certo a visão mecânica da natureza, e assumir que todas as mudanças nela podem se restringir a movimentos de pontos materiais, entre os quais atuam forças que têm uma energia potencial relacionada a elas. Então, o princípio da energia é simplesmente o bem conhecido teorema da mecânica, da energia cinética, o qual é generalizado para incluir todos os processos naturais. Também podemos, como se faz neste trabalho, deixar aberta a questão referente à possibilidade de restringir todos os processos naturais à visão de movimento mecânico e partir do fato, já testado por séculos pela experiência humana, repetidamente verificada, *que não é possível, por meios mecânicos, térmicos, químicos, ou por qualquer outro, obter movimento perpétuo*. Por exemplo, é impossível construir uma máquina a qual possa funcionar e produzir continuamente, num ciclo, trabalho ou energia cinética a partir de nada. Não tentaremos mostrar como este fato simples, produto da experiência, bastante independente da visão mecânica da natureza, serve para provar o princípio da energia de forma geral, principalmente pela razão de que a validade do princípio da energia não está hoje em dia em discussão. Será diferente, contudo, no caso da *segunda lei* da termodinâmica, na qual a prova, no estado atual do desenvolvimento de nosso conhecimento, não pode ser cuidadosamente apresentada. A validade geral desta lei é ainda, de tempos em tempos, questionada e seu significado é interpretado de maneira diversa, inclusive pelos que estão de acordo com o princípio.

§ 56. A energia de um corpo, ou sistema de corpos, é uma magnitude dependente das condições instantâneas do sistema. Com o

propósito de encontrar uma relação num estado dado, é necessário escolher um selecionado (por exemplo: 0 °C e pressão num estado dado, referido ao estado *algébrica dos equivalentes mecânicos de sistema quando este passa, de algum normal*. A energia de um sistema é, brevemente, como a faculdade para produzir energia de um sistema adquira diferentes estado dado ao estado normal, seja efetivamente incluído na definição anterior. Será necessário de completitude, explicar o termo “efeito externo”.

§57. O efeito externo será, por exemplo, em levantar uma carga carregada atmosférica, ou produzindo energia mecânica é, simplesmente, igual ao trabalho sobre o corpo externo (carga, atmosfera) deslocamento ocorre na direção da força; a carga é elevada, a atmosfera é recuada, no sentido oposto.

Mas se o efeito externo é de esquentado os corpos do entorno do sistema (calorimétrico, etc.) - então, seu equivalente em calorias que produz o mesmo aumento de temperatura no entorno, multiplicado por uma constante, é o trabalho mecânico, *calor*. Esta proposição, a qual aparece também por meio do princípio de conservação da energia, o qual pode ser experimentalmente comprovado.

§58. O princípio de conservação da energia é exclusivamente, que a energia de um sistema em um estado normal fixo, tem um valor constante substituindo a definição dada em §57 *equivalentes mecânicos dos efeitos externos quando este passa do estado dado ao estado normal*. Considerando

forma, produz um efeito total definido, medido em unidades mecânicas, que é a soma - o "valor-trabalho" do efeito externo - que representa a energia do sistema no estado dado.

§59. A validade do principio de conservação da energia pode ser verificado experimentalmente transferindo, de vários modos, um sistema desde um estado dado a outro certo estado, o qual pode ser, aqui, nomeado o estado normal, e então testando se o equivalente mecânico do efeito externo, calculado como indicado em §57, dá a mesma soma em cada caso. Especial cuidado deve ter-se para que os estados final e inicial do sistema sejam os mesmos cada vez e que nenhum dos efeitos externos seja passado por alto ou tomado em conta mais de uma vez.

§60. Como uma primeira aplicação discutiremos o famoso experimento de Joule, no qual os efeitos externos produzidos por cargas que caem desde uma certa altura são comparados, primeiro, considerando que só se efetua trabalho mecânico (por exemplo: elevando uma carga) e segundo, que só se gera calor por atrito (mediante o uso de um adequado aparelho mecânico). As posições final e inicial das cargas podem ser tomadas como os dois estados do sistema, o trabalho e o calor produzido, como os efeitos externos. O primeiro caso, quando as cargas somente produzem trabalho mecânico, é simples, e não requer experimento. Seu equivalente mecânico é o produto da soma dos pesos e a altura desde a qual caem, independentemente da natureza do aparelho usado para executar o trabalho mecânico (nível, roldana, etc.) e da carga levantada. Esta independência é uma condição do principio de conservação da energia (§58). O segundo caso requer da medida precisa do incremento da temperatura experimentado pelas substâncias do entorno (água, mercúrio), como consequência do atrito, assim como também de suas capacidades caloríficas, para a determinação do número de calorías que produzem, em elas, o mesmo aumento da temperatura. É, por suposto, totalmente imaterial a visão que podemos ter com relação aos detalhes da geração de calor por atrito, ou com relação à última forma de calor assim gerada. O importante é que o estado produzido, no líquido, por atrito é igual ao estado produzido pela absorção de uma determinada quantidade de calorías.

Joule, de acordo com o principio da conservação da energia, igualou o trabalho mecânico, correspondente à caída das cargas, com o equivalente mecânico do calor produzido por atrito e encontrou que o equivalente mecânico de um grama-caloría é, sob qualquer circunstancia, igual ao

trabalho realizado para elevar uma carga 423,55 metros. Que todos os experimentos substanciais calorimétricos, e diferentes te conduz a provar a certeza do principio de

§61. Com o propósito de determinar em unidades absolutas, devemos ter em conta feitas com um termômetro de mercúrio temperatura ambiente, 1° do ter aproximadamente 1/1,007 de 1° no ter escala do termômetro de gás correspondem  $423,55 \times 1,007 = 427$  grm.metros.

Podem-se considerar, também, a elevação de um grama a uma determinada diferentes quantidades de trabalho em di do trabalho realizado é obtido multiplicado produto da massa e a aceleração da gravidade massa. A tabela seguinte dá o equivalente calorías:

Unidades de calor referidas ao termômetro de gás.	Alturas correspondentes em metros, para a qual elevado em um lugar média.
15° caloría	427
zero caloría	430

Os números da última coluna 98.100, para reduzir de grammas a dinâ resultados de Joule tem sido substancia cuidadosas medidas de Rowland e outros

§62. A determinação do equivalente expressar as quantidades de calor em er A vantagem disto é que uma quantidade seu equivalente mecânico, mas igual matemática para a energia é grandemente será usada em todas as seguintes equaç todo caso, ser feito dividendo por 4,19 x

§63. Algumas proposições ad exposição do principio da energia. A

depende das condições instantâneas do sistema. Para encontrar a diferença de energia,  $U_1 - U_2$ , que acompanha a transição do sistema do estado 1 ao estado 2, temos que medir, de acordo com a definição da energia em §58,  $U_1$  e  $U_2$  por o equivalente mecânico dos efeitos externos produzidos ao passar do estado dado ao estado normal. Mas, se arrumamos as coisas para que o sistema passe do estado 1, através do estado 2, ao estado normal, é evidente, então, que  $U_1 - U_2$  é simplesmente o equivalente mecânico do efeito externo produzido ao passar de 1 a 2. A diminuição da energia de um sistema como consequência de qualquer mudança é, então, o equivalente mecânico do efeito externo que resulta de essa mudança; quer dizer, o *incremento da energia* de um sistema, que experimente qualquer mudança, é igual ao equivalente mecânico do calor absorvido e o trabalho realizado para produzir a mudança:

$$U_2 - U_1 = Q + W$$

$Q$  é o equivalente mecânico do calor absorvido por o sistema, por exemplo por condução, e  $W$  é a quantidade de trabalho realizado sobre o sistema.  $W$  é positivo se a mudança ocorre em direção das forças externas. A soma  $Q + W$  representa o equivalente mecânico de todas as operações térmicas e mecânicas dos corpos, do entorno, sobre o sistema. Nós sempre usaremos  $Q$  e  $W$  com este sentido.

O valor de  $Q + W$  é independente da forma de transição de 1 a 2 e também, evidentemente, da seleção do estado normal. Quando a diferença de energia de um mesmo sistema é considerado, não é necessário escolher um estado normal. Então, na expressão para a energia do sistema ficará indeterminada uma quantidade constante adicional.

§ 64. A diferença  $U_2 - U_1$  pode também ser vista como a energia do sistema no estado 2, referindo o estado 1 como o estado normal. Isto é, se o último é escolhido,  $U_1 = 0$ , visto que consideramos que nenhuma mudança de energia do sistema ocorre ao passar do estado 1 para o estado normal, e  $U_2 - U_1 = U_2$ . O estado normal é, portanto, nomeado algumas vezes o estado zero.

§ 65. Os estados 1 e 2 podem ser idênticos, nos casos que o sistema mude de 1 a 2 passando através de um nomeado *ciclo de operações*. Neste caso,  $U_2 = U_1$  e  $Q + W = 0$

O equivalente mecânico do efeito externo é zero, ou o efeito calorífico externo é igual em magnitude, e oposto em signo, ao trabalho externo. Esta proposição mostra a impraticabilidade do movimento perpétuo, o qual

necessariamente pressupõe a existência completos.

§ 66. Se nenhum efeito externo (ou mudança de estado do sistema, ou conservação da energia). As quantidades dependem, podem experimentar mudanças elas têm que obedecer a condição  $U = \text{constante}$

Um sistema o qual muda sem ser nomeado um *sistema perfeito ou isolado* possível encontrar nenhum sistema perfeito as interações entre todos os corpos e conservação da energia não pode ser sistema real. Com tudo, é importante obter do sistema o qual se considera que ex poder de fazer os efeitos externos têm comparação com as mudanças de energia. Qualquer efeito externo particular pode ser que o produz, assim como o que o re estudo. No caso de um gás que está sen está afundando até um nível menor, se o externo é igual ao trabalho efetuado por sistema incrementa. Se, contudo, o carga sistema, todos os efeitos externos são e permanece constante. A expressão para termo que representa a energia potencial de energia potencial relacionada com o trabalho ganho de energia interna do gás. Todo tratamento.

## Anexo 10

### Título, autor e endereço na Internet das imagens que ilustram a tese

<b>Título</b>	<b>Autor</b>	<b>Galeria</b>	<b>URL</b>
La Lecture (Woman Reading)	Pablo Picasso	AllPosters.com	www.allposters.com
Reading from all sides	Joysmith Brenda	JB Gallery	www.jbgallery.com
Self Portrait with chat noir	André Kertész	Jane Corkin Gallery	www.janecorkin.com
The Letter	Fernando Botero	Art-Poster.com	www.art-poster.com
Two Girls Reading	Pierre Renoir	AllPosters.com	www.allposters.com