

# **UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO**

Instituto de Física  
Instituto de Química  
Instituto de Biociências  
Faculdade de Educação

## **HISTÓRIA, SOCIOLOGIA, MASSA E ENERGIA. UMA REFLEXÃO SOBRE A FORMAÇÃO DE PESQUISADORES EM FÍSICA.**

**MARCÍLIA ELIS BARCELLOS**

**ORIENTADOR: PROF. DR. JOÃO ZANETIC**

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e a Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Banca examinadora:

Prof. Dr. João Zanetic (IFUSP)

Prof. Dr. Manoel Robilotta (IFUSP)

Prof. Dr. Demétrio Delizoicov (UFSC)

**São Paulo**

**2008**

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

Barcellos, Marcília Elis

História, sociologia, massa e energia - uma reflexão sobre a formação de pesquisadores em física.  
São Paulo, 2008.

Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo.  
Instituto de Física, Depto. de Experimental

Orientador: Prof. Dr. João Zanetic

Área de Concentração: Ensino de Ciências

Unitermos: 1. Ensino; 2. Ensino superior;  
3. Física; 4. Filosofia da ciência; 5. História da ciência.

USP/IF/SBI-030/2008

*Não quero ser triste.  
Como um poeta que envelhece lendo Mayakovsky na loja de conveniência  
Não quero ser alegre  
Como um cão que sai pra passear com o seu dono alegre sob o sol de domingo  
Nem quero ser estanque  
Como quem constrói estradas e não anda  
Quero no escuro  
Como cego tatear estrelas distraídas*

*Zeca Baleiro*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha mãe por ter propiciado toda a educação que tenho hoje. Além disso, ela foi a pessoa que possibilitou que eu viesse e São Paulo dando todo o apoio e subsídio apesar de ter o coração apertado por ver o primeiro filhote abandonar o ninho.

Dedico esse trabalho ao meu pai, que infelizmente não está mais aqui, para presenciar o fim dessa jornada que ele acompanhou quase inteira. Tenho certeza que está orgulhoso onde quer que esteja.

Não posso deixar de agradecer à prof. Ivanilda Higa, que me pegou praticamente pela mão e me trouxe até a USP. Se não fosse por ela e pela prof. Tânia Braga da UFPR eu não estaria aqui hoje.

Agradeço ao meu querido orientador que me deu em primeiro lugar o privilégio de trabalhar com ele. Alguns meses em contato com a academia já foram suficientes para que eu percebesse a sorte que tive ao ser orientada pelo João Zanetic. Isso porque o João sempre me deu muita liberdade para realizar a pesquisa e ao mesmo tempo foi um orientador extremamente presente e cuidadoso.

Algumas outras pessoas foram muito importantes durante esse trabalho, principalmente no duro começo em São Paulo. Agradeço as queridas Léia e à Lídia que moraram comigo e também à Mariana. Agradeço à Soraia que

me acolheu tão bem na sala 316 do corredor de ensino e à Renatinha pelos conselhos e pelo carinho durante toda a duração desse mestrado.

Ainda cabe aqui agradecer a todos os meus vizinhos do Jardim Bonfiglioli que tornaram a minha estadia em São Paulo muito mais rica e prazerosa, além de me ajudarem a manter a “saúde mental”, com momentos de descontração e consolo. Em especial fica meu agradecimento à Grazi e à Lívia.

Alguns agradecimentos são até difíceis de expressar dada a importância que essas pessoas têm na realização desse trabalho. Agradeço a Eugênia, uma verdadeira irmã que eu encontrei em São Paulo, pelo apoio incondicional, pelo ombro e por tudo que me ensinou. Agradeço à Soninha, que deu uma de mãe várias vezes, além de ser uma daquelas amigas sábias e companheiras. Agradeço à Ligia, minha complementar na dualidade onda-partícula, por toda a cumplicidade, amizade, pelas vivências acadêmicas e nem tão acadêmicas. Agradeço ao Ivã por ter sido um grande amigo o tempo todo, inclusive nas horas mais ingratas.

Agradeço à prof. Maria Regina Kawamura por ter estado tão perto compartilhando sua experiência e sabedoria. Agradeço também de forma especial ao prof. Menezes pela atenção e carinho, e ao prof. Cristiano pelo seu companheirismo ao deixar tantas vezes a porta da sala aberta emprestando seus ouvidos e proporcionando risadas e mais risadas.

Tenho que registrar também meu obrigado a todos os colegas do corredor pelas conversas, cafés e choradeiras sem as quais esse trabalho não seria o mesmo. Obrigado à Roseline, ao Breno, ao Betão, à Fernanda, à Anne, ao Fábio Marineli, ao Glauco, à Jackie, ao Chicão, à Luciana, à Gisele, ao Milton, à

Thaís Cirilo, à Aninha e em especial ao Esdras pelos socorros computacionais.

Dentre os professores que contribuíram para esse trabalho estão a prof. Susana Salém, que comprou essa idéia abriu o espaço em sua disciplina para a aplicação da proposta, e os professores que durante seus cursos contribuíram com idéias e experiências de forma direta e indireta. O meu agradecimento ao prof. Osvaldo Pessoa Jr., ao prof. Robilotta e ao prof. Villani. Pelas contribuições dadas no exame de qualificação agradeço também ao prof. Demétrio Delizoicov.

Já no fim, pela ordem cronológica, mas não por ser menos importante, fica o meu agradecimento ao Fred que apareceu na minha vida e deu todo o seu apoio e carinho na hora mais difícil, a da conclusão desse trabalho.

Agradeço ao Ailton e à Camila pelos apoios técnicos e pela sempre pronta compreensão, e também a CAPES pelo apoio financeiro.

## Resumo

Neste trabalho apresentamos uma reflexão crítica sobre a formação de pesquisadores em física. Nossas perspectivas são em parte reproduzidas em uma proposta de ensino que é elaborada e analisadas sobre a ótica da obra de Bruno Latour, autor que se situa no campo dos estudos sociais da ciência. Essa proposta foi trabalhada com alunos dos terceiro semestre de Bacharelado em Física do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP). A intervenção educacional foi inspirada também na problematização do conhecimento segundo a perspectiva dos estudos de Paulo Freire.

A proposta tem como eixo central um estudo histórico da relação massa energia,  $E=mc^2$ . Esse estudo contempla obras de historiadores da ciência e de físicos, e se refere aos períodos pré e pós-relativísticos, além de buscar fazer uma ponte com a história da física nuclear.

Um dos nossos objetivos é compreender melhor como a história da ciência pode ser um instrumento para estimular futuros pesquisadores a refletir sobre a prática científica.

Como forma de enriquecer a análise e a proposta que fazemos, esse trabalho traz também algumas entrevistas com pesquisadores docentes do IFUSP. As entrevistas e sua análise constituem uma breve investigação sobre a relação entre ensino e pesquisa na universidade e sobre a presença ou não de reflexões sobre a prática e a natureza da ciência por parte destes pesquisadores docentes.

Acreditamos que esse tipo de abordagem é importante nos cursos de bacharelado, pois ela pode favorecer a formação de um futuro pesquisador crítico, autônomo e consciente, que reflita sua prática, seus objetivos e os impactos de sua atividade.



## **Abstract**

The present record contains a critical reflection about research training programs in physics. Our purposes are in some measure supported on a teaching plan developed and analyzed under Bruno Latour's ideas, an author immersed in the social studies about science. This proposal was implemented with students of the third period of a physics graduation course of the Institute of Physics of the University of São Paulo. The education intervention was also inspired on Paulo Freire's idea of problematization of knowledge.

The core of this proposal is a historical analysis about the relation mass-energy,  $E=mc^2$ . This study is based on works of historians of science and physicians and involves the period pre and pos theory of relativity. Furthermore, it intends to establish a relation with the history of nuclear physics. With all this, one of our objectives is to comprehend better how history of science can be a strategy to stimulate future reflections about scientific work by researchers.

As a way to enrich this analysis and this proposal, this record also presents some interviews with researchers on physics of the Institute of Physics. The interviews and its analysis constitute a brief examination about the relation between teaching and researching in the university and the presence of considerations about scientific work and the nature of science in the arguments of these researchers.

We believe that this kind of approach is important in physics

graduation courses, since it can foster the formation of a critical, independent and conscious researcher that ponders over his actions, intentions and the impacts of his activities.

## Sumário

<b>Resumo.....</b>	<b>7</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>9</b>
<b>Introdução .....</b>	<b>13</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>15</b>
<b>Um olhar freiriano sobre a educação científica.....</b>	<b>15</b>
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>25</b>
<b>Situando essa pesquisa em um universo maior .....</b>	<b>25</b>
2.1 História da Ciência e Ensino de Ciências.....	25
2.2 Filosofias e Epistemologias no Ensino de Ciências.....	28
2.3 Ensino de Física no âmbito do Ensino Superior .....	33
2.4 Os trabalhos de Latour e o ensino de ciências .....	38
<b>CAPÍTULO 3.....</b>	<b>41</b>
<b>E=mc<sup>2</sup> – Um recorte.....</b>	<b>41</b>
3.1. E=mc <sup>2</sup> ? Elementar... ..	42
3.1.1. Partindo da cinemática – teorema do trabalho energia .....	42
3.1.2. Einstein em 1905 .....	44
3.1.3. Dedução de Einstein em 1906 .....	46
3.1.4 Dedução de Einstein em 1946 .....	48
3.1.5 Considerações sobre a massa e a energia interpretadas segundo o formalismo tensorial e a Teoria da Relatividade Geral. ....	49
3.2. Significados, Significados e Significados .....	51
<b>CAPÍTULO 4.....</b>	<b>56</b>
<b>Um pouco de história.....</b>	<b>56</b>
4.1. Quase chegando a E=mc <sup>2</sup> .....	57
4.2. Einstein e a relação massa energia.....	60
4.2.1. Dois artigos em 1905.....	60
4.2.2. Outras considerações do próprio Einstein.....	63
4.3. A comunidade científica e E=mc <sup>2</sup> .....	64
4.4. E=mc <sup>2</sup> e a física nuclear .....	68

<b>CAPÍTULO 5</b> .....	<b>71</b>
<b>Filosofando ou sociologizando?</b> .....	<b>71</b>
5.1. Um pouco de “filosociologia” .....	77
5.1.1. A referência circulante .....	77
5.1.2. ‘Verdades Tácitas’ da Ciência.....	80
5.1.3. Humanos e não humanos no conflito entre construção e realidade .....	83
5.1.4. O conceito de caixa preta.....	87
5.1.5. Alguns comentários marginais .....	88
5.2. Um pouco de filosofar .....	91
<b>CAPÍTULO 6</b> .....	<b>98</b>
<b>Na sala de aula</b> .....	<b>98</b>
6.1. A disciplina .....	98
6.2. As intervenções.....	102
6.3. Os dados – Uma análise .....	103
6.3.1. Atividade 1.....	104
6.3.2. Atividade 2.....	106
6.3.3. Atividade 3 – a discussão.....	109
<b>CAPÍTULO 7</b> .....	<b>115</b>
<b>Fazer Ciência e Ensinar Ciência: Algumas Relações</b> .....	<b>115</b>
7.1 Tendências e Divergências.....	117
7.2 Docentes e Pesquisadores: Algumas outras visões.....	130
<b>Considerações Nada Finais</b> .....	<b>134</b>
<b>Referências</b> .....	<b>137</b>
<b>Anexo I</b> .....	<b>142</b>
<b>Anexo II</b> .....	<b>143</b>
<b>Anexo III</b> .....	<b>144</b>
<b>Anexo IV</b> .....	<b>145</b>
<b>Anexo V</b> .....	<b>151</b>

## Introdução

Este é um trabalho de pesquisa em ensino de física que visa refletir sobre o ensino de graduação para a pesquisa em física. Portanto, um dos eixos no qual este trabalho se centra é a formação inicial de pesquisadores em física e o que se pode pretender nela.

Apresentamos no capítulo 1 nosso olhar para a formação de futuros pesquisadores em física influenciados pela leitura da obra de Paulo Freire, principalmente seu livro “Extensão ou Comunicação”, onde ele enfatizava o diálogo problematizador entre educador e educando, contrariando a prática tradicional de transmissão meramente técnica de conteúdo científico. Esse olhar implica em pensarmos a formação de um pesquisador crítico, com a perspectiva de que seja um cientista que reflita sua própria prática e seja consciente de suas ações sobre o mundo e com ele.

Para tal, elaboramos uma proposta de ensino que tem como principal objetivo incentivar o estudante de bacharelado em física (possível futuro cientista) a pensar sobre a construção da ciência. Dos vários olhares possíveis sobre o trabalho científico, optamos por nos apoiar também nos estudos sociais da ciência, mais especificamente na obra de Bruno Latour. Ao fazermos opção por esse referencial teórico, nossa intenção era testar conceituações presentes em suas obras mais recentes, onde esse autor apresenta um olhar diferenciado

sobre a prática científica que parecia se ajustar com nossas expectativas de análise do curso de bacharelado. Embora esse referencial teórico esteja presente na revisão bibliográfica apresentada no capítulo 2, apresentamos suas principais conceituações no capítulo 5.

Para propiciar aos alunos a oportunidade de tal reflexão, fazemos uso da história da ciência como meio de estimular o pensar sobre o fazer científico e a prática da ciência.

Para orientar esse mergulho na história da ciência e estimular outras formas de reflexão, optamos por trabalhar com a relação  $E=mc^2$ , problematizando os significados da massa e da energia presentes na equação e discutindo como esses significados foram construídos. Apresentamos um breve apanhado conceitual e histórico sobre a equação  $E=mc^2$  nos capítulos 3 e 4, juntamente com algumas observações de natureza epistemológica.

No capítulo 6, apresentamos a elaboração e aplicação de uma proposta de ensino sobre a relação massa energia e sua construção histórica por meio de uma série de atividades desenvolvidas numa disciplina do curso de bacharelado em física do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (ifusp). A aplicação e a análise da proposta são realizadas, tendo como pano de fundo a obra sociológica de Bruno Latour e a perspectiva educacional de Paulo Freire.

Por fim, no capítulo 7, apresentamos ainda uma pesquisa que fizemos com vários docentes universitários, evidenciando algumas relações entre fazer pesquisa, ensinar e analisamos a natureza dos vários aspectos que influem nessas atividades.

## CAPÍTULO 1

### Um olhar freiriano sobre a educação científica

“O novo nasce do velho através da transformação criadora.”

Paulo Freire

Este capítulo é uma reflexão sobre o que entendemos por formação científica crítica. Primeiramente, nos pomos a dialogar, de maneira breve, sobre a prática científica e o que se pode pretender nela tanto dos pontos de vista do sujeito e da comunidade científica quanto do ponto de vista da sociedade. Esta reflexão está baseada na obra de Paulo Freire, principalmente no seu livro “Extensão ou Comunicação?”, que é o trabalho em que este apresenta, mais claramente seu posicionamento de natureza epistemológica.

Passemos a essa discussão, primeiramente, refletindo sobre o sujeito histórico. Os homens, de acordo com a visão humanista de Paulo Freire, têm a vocação ontológica de serem sujeitos e não objetos, são *“homens que trabalham para sua própria realização humana”* (Freire 1992, p. 16).

Quando pensamos no sujeito histórico, no que se refere à prática educacional em qualquer nível de ensino, concordamos com as premissas ética,

estética, ideológica, metodológica, entre outras, que dão corpo ao par educador-educando de Paulo Freire, que rompe com a prática da pura “transmissão do conhecimento” que domina aquilo que ele chama de “educação bancária”. Estendendo essa concepção para a atividade científica, podemos dizer que um cientista se realiza como ser humano através de ações criativas, críticas, admirando a realidade, ou seja, objetivando-a de acordo com a cultura científica e aprendendo-a como campo de sua **ação-reflexão**.

Como mais um ingrediente, para refletir sobre a formação de pesquisadores em física, tema central deste trabalho, cabem essas palavras de Paulo Freire:

*“(...) quanto mais intimamente se exerça a capacidade de aprender tanto mais se constrói e desenvolve o que venho chamando “curiosidade epistemológica”, sem a qual não alcançamos o conhecimento cabal do objeto.” (Freire, 1997, p.27)*

Do ponto de vista da comunidade científica, a atividade científica deve ser uma atividade de contribuição para a **produção de conhecimento** físico, para que exista também mais conhecimento na sociedade como um todo. A educação bancária estimula a reprodução e não a criação. Se nada é criado a prática científica é nula do ponto do vista epistemológico.

Partindo dessas duas premissas **idealizadas**, da formação para o sujeito e da formação para a comunidade científica e para a sociedade, é que iremos problematizar a formação de pesquisadores em física.

Começamos esta reflexão chamando a atenção para uma questão de ordem lingüística. Não se pode pensar em **transformar homens comuns em cientistas**. Transformar o homem em qualquer coisa significa negá-



lo como um ser de transformação do mundo, e isso implica em negar a formação e constituição de conhecimentos autênticos e negar também reflexões verdadeiras àqueles que são objetos da transformação.

A negação da transformação como ação educativa genuína nos leva a condenar também a extensão. Com poucas exceções, podemos dizer que na educação do pesquisador predomina o que Paulo Freire chama de extensão, que se opõe à comunicação. Extensão é o que se entende no ato de estender algo a alguém. Estender algo que é o objeto (conteúdo) a quem apenas o receba. Há sim algo de dinâmico na palavra extensão porém **o conteúdo estendido se transforma em algo estático**. A extensão é uma forma de persuasão e não de educação dialógica.

Cabe aqui fazer um paralelo com a conotação que Kuhn dá à persuasão. Kuhn menciona a “técnica da argumentação persuasiva”, que segundo ele é “muito eficaz no interior dos grupos muito especiais que constituem a comunidade dos cientistas” (Kuhn 2005, p.128). Eficaz então como meio de extensão de uma nova idéia. Não negamos aqui a importância de tal prática, mas incentivamos que o indivíduo a pratique de maneira consciente, reconhecendo que se trata **apenas de uma dimensão da construção do conhecimento**.

A prática educativa extensionista nos leva a encarar o conhecimento como objeto de uma mera transmissão, não gerando nenhuma produção de conhecimento no âmbito dessa prática. Isso porque o ato de conhecer exige do homem uma postura impaciente, inquieta e indócil. Não é possível produzir conhecimento nem do ponto de vista do sujeito nem da comunidade **apenas** por meio de persuasão.

Questionamos a formação científica que predomina nas universidades brasileiras. Basta dar uma olhada nos manuais clássicos de ensino superior (aliás, que não são usados apenas no Brasil), para perceber uma forte tendência a convencer o estudante. Em especial, ao se tratar de física moderna, os estudantes são, diríamos, persuadidos a aceitar idéias completamente novas e adversas às que já têm. Kuhn, em um artigo que antecipava algumas idéias que seriam publicadas em seu livro “A estrutura das revoluções científicas”, escreveu estas palavras sobre a educação científica de pesquisadores:

*“Talvez que a característica mais extraordinária da educação científica, característica que é levada a um ponto desconhecido noutros campos da atividade criativa, seja a de fazer, através de manuais, obras escritas especializadas para estudantes. Até que ele esteja preparado, ou quase preparado para fazer sua dissertação, o estudante de Química, Física, Astronomia, Geologia, ou Biologia, raramente é posto ante o problema de conduzir um projeto de investigação, ou colocado ante os produtos diretos da investigação conduzida por outros – isto é, as comunicações profissionais que os cientistas escrevem para seus colegas. As coleções de “textos originais” jogam um papel limitado na educação científica. Igualmente o estudante de ciência não é encorajado a ler os clássicos da história de seu campo – obras onde poderia encontrar outras maneiras de olhar as questões discutidas nos textos, mas onde também poderia encontrar problemas, conceitos e soluções padronizadas que a sua futura profissão há muito pôs de lado e substituiu.”* (Kuhn, 1974, p. 56-57).

Na obra “A estrutura das revoluções científicas” Kuhn argumenta que não é necessário utilizar história e filosofia da ciência para formar um físico. Contudo ele não caracteriza que tipo de físico quer formar, e ressalta que a maioria dos físicos faz o que ele define como “ciência normal”<sup>1</sup>. Ainda nesse

---

<sup>1</sup> Thomas Kuhn define como ciência normal o exercício da atividade científica que visa solucionar problemas que são gerados dentro paradigma vigente e que esse mesmo paradigma possa responder.

mesmo livro ele menciona que em momentos de “crise”<sup>2</sup> da ciência normal é preciso buscar alternativas fora do paradigma, e que essa alternativa pode ser, inclusive, um olhar para a história da ciência.

Podemos citar aqui a reflexão trazida por Batista (2004), que se encontra alinhada com nossa percepção sobre o ensino de física no âmbito do ensino superior. Ela afirma que:

*“...temos a complexidade na compreensão do conhecimento físico como processo de construção. Um processo que, como tal, se dá guardando uma estrita relação com a própria evolução humana, qual seja, plena de racionalidade, mas também de conflitos, impasses, saltos e cortes conceituais. Essa complexidade fica majorada se os conhecimentos são apresentados de forma dogmática, restritos a uma aprendizagem das leis e fórmulas que as exprimem e, daí, o seu uso, com uma finalidade utilitária de aplicação em uma profissão. Desse modo, tem-se a impressão de que a ciência está acabada, com nada mais a se descobrir, quando, na verdade, estamos nos primeiros passos do conhecimento do mundo exterior.” (Batista, 2004, p.463)*

Pérez et. A (2001) afirmam que há um certo equívoco em considerar que ter uma formação científica seria sinônimo de poder transmitir uma imagem adequada do conhecimento científico. Esses autores comentam que estudos têm mostrado que a visão que se transmite aos estudantes no ensino universitário são visões empírico- indutivistas de ciência. Os autores afirmam ainda que essa incoerência se deve ao fato de que este ensino é reduzido basicamente à apresentação de conhecimentos previamente elaborados, sem dar oportunidade aos estudantes de contatarem e explorarem atividades na perspectiva de um ensino do tipo investigativo.

Ilustrando o que Pérez et al afirmam, trazemos um trecho de um

---

<sup>2</sup> Segundo Kuhn a crise é o surgimento de algum problema para o qual não se encontra solução dentro do paradigma.

artigo publicado em uma revista **de ensino de física** que ressalta uma visão de ciência ingênua e bastante presente nos meios universitários<sup>3</sup>.

*“As ciências naturais, a Física principalmente, têm suas estruturas construídas sobre bases sólidas recobertas por uma malha teórica que liga todos os elementos ao complexo total. É uma ciência empírica que, naturalmente se apóia nos dados da observação e constrói sua estrutura teórica por meio do método indutivo.” (Baptista, 2002, p.2)*

Em nossa pesquisa, sob o foco do conteúdo específico, iremos analisar o que acontece quando o conteúdo de relatividade restrita é ensinado. Geralmente a teoria da relatividade, mais especificamente a mecânica relativística, é simplesmente estendida aos estudantes sobre a mecânica newtoniana não problematizada. A extensão é o processo que pretende basicamente substituir uma forma de conhecimento por outra.

O conhecimento novo da relatividade restrita se sobreporia ao conhecimento antigo, sendo apresentado como um saber incontestável, como a maioria dos temas de física.

Em oposição à educação extensionista, Paulo Freire sugere a educação dialógica. A prática dialógica está centrada na problematização. Cabe ao professor não o papel de estender, mas sim de problematizar o conteúdo. A dúvida gerada pela problematização será o ingrediente primário ao pensar criticamente e ao produzir interpretações próprias. Será o momento de transformar a curiosidade ingênua em curiosidade epistemológica.

A problematização consiste em uma reflexão que alguém exerce sobre um conteúdo, fruto de um ato ou sobre ele, para agir melhor com os demais

---

<sup>3</sup> Uma discussão mais detalhada e um estudo empírico sobre isso será apresentada no cap. 7

sobre a realidade.

Como estamos tratando de física cabe nos perguntarmos como é possível dialogar com saberes “incontestáveis”. Para responder a essa pergunta, temos que explicitar a concepção de saber a que nos referimos. Trata-se do saber como uma busca permanente. E cabe aí discutir a dimensão histórica, a inserção do saber no tempo e sua instrumentalidade. Assim, **qualquer saber pode ser problematizado**.

Nesse caso valorizamos o saber que busca explicar a razão das fórmulas ao invés de memorizar mecanicamente seu uso. Falamos de um saber que está no filosofar e não no saber filosofia. Nas palavras de Freire: “***um saber que reflete o mundo e os homens, no mundo e com ele, explicando o mundo, mas, sobretudo, tendo que justificar-se na sua transformação***” (Freire 1992, p. 55). Na educação dialógica não cabem, portanto, proprietários, administradores ou portadores do saber.

Na formação do físico isso seria evidenciar como o saber reflete o mundo, que mundo é esse e como os homens se relacionam, produzem e transformam o mundo com esse saber. Na física isso seria, por exemplo, evidenciar como uma lei física reflete algo do mundo, e como ela se relaciona com os homens através da sua história, sendo por tanto um saber problematizado.

Segundo Paulo Freire “nenhum pensador ou cientista produz sem ter sido desafiado frente a um saber problematizado (...) se (porventura) encontra o que não buscava, ainda assim partiu de uma problematização” (Freire 1992, p. 54, grifos nossos). A atividade criadora não se desenvolve em meio ao

formalismo oco, mas sim na práxis<sup>4</sup> dos homens uns com os outros, mediatizados pelo processo de construção do saber.

Sendo assim, para que um ensino científico seja dialógico, não podemos abrir mão da dimensão histórica e problematizadora. Isso porque qualquer ação sobre a natureza, inclusive a científica, não pode ser apenas na natureza porque é cultura e história submetidas aos seus próprios resultados. Coisas não se comunicam, não contam sua história.

No contexto do ensino da física moderna, fica clara a existência de dois conhecimentos. Um saber que é o da física clássica, com toda a cultura e história que traz, e outro saber que é o da relatividade. Qual seria a alternativa a estender a relatividade como um conhecimento mais moderno e apto a substituir a mecânica newtoniana? Seria problematizarmos esse novo saber. ***“Basta que estejam em jogo formas de conhecimento para que não se possa deixar de lado uma reflexão filosófica” (Freire 1992, p.27).***

É assim que justificamos que a história e a filosofia da ciência devam fazer parte da cultura científica e, portanto, devem estar presentes na formação de pesquisadores. Uma história que problematize o conhecimento físico, e que seja, além de uma ponte à filosofia, um convite a filosofar.

Contra esse ensino que prioriza apenas a apresentação final da ciência (suas fórmulas e expressões matemáticas) ao estudante, situa-se também o filósofo e historiador da ciência Ludovico Geymonat quando se pergunta:

*“É possível um desenvolvimento da especialização sem a contrapartida de um fechamento no especialismo? Trata-se de um quesito de máxima importância,*

---

<sup>4</sup> Práxis humana é o processo pelo qual o conhecimento transita entre as dimensões teórica e prática, ganhando significado através da compreensão reflexiva da teoria usada para transformar a realidade.

*não só para a filosofia da ciência como também para os destinos da cultura e da civilização.” (Geymonat, 1987, p.52)*

Com esse fechamento a ciência se desvincula da filosofia e daí ela se afasta da cultura. E Geymonat completa dizendo que *“daqui nasceu a famosa separação das “duas culturas” (a científica e a humanista)”* (Geymonat, 1987, p.53) , como preconizada por C.P. Snow.

Podemos ainda, fazendo um paralelo com as noções de Delizoicov (2001), observar dois distintos aspectos da história como elemento problematizador.

O primeiro trata de uma escolha adequada do problema (Delizoicov, 2001, p.132). No caso específico deste trabalho escolhemos a gênese da equação massa energia, julgando-a um problema com potencial de despertar no aprendiz o interesse na elaboração de determinadas reflexões.

O que estamos tratando de forma mais ampla e mais enfática nesse trabalho é o outro aspecto da problematização (Delizoicov, 2001, p.133). É a dimensão que se preocupa em levar os conflitos gerados pela reflexão para um contexto mais amplo, convidando os estudantes a pensarem sobre as contradições presentes e como transpor isso para a ciência contemporânea pensando sobre a prática de pesquisa, visando à formação de um pesquisador crítico-transformador de sua própria realidade.

Sendo um elemento problematizador nessas dimensões, colocamos a história e a filosofia como possíveis caminhos para uma educação mais dialógica e menos extensionista, que contribua para a formação crítica e libertadora de jovens cientistas conscientes da dimensão humana de sua prática

e de sua inserção num contexto histórico cultural mais amplo.



## **CAPÍTULO 2**

### **Situando essa pesquisa em um universo maior**

“O problema social da ciência é justamente não estar na cultura.”

M. Bazin

A fim de situar este trabalho no contexto da pesquisa em ensino de ciências apresentaremos uma revisão bibliográfica organizada em algumas seções. Visto a escassez de trabalhos de natureza semelhante a esse, ou seja, voltados à formação de pesquisadores em Física, estendemos essa revisão a trabalhos com semelhanças por: discutirem a importância da história da ciência no ensino, trazerem discussões de cunho epistemológico e suas implicações no ensino de ciências, relatarem experiências de pesquisa voltadas ao ensino superior e ainda os trabalhos que citam Bruno Latour, cujos conceitos serão testados no desenvolvimento deste trabalho.

#### **2.1 História da Ciência e Ensino de Ciências**

Encontramos uma vasta literatura sobre o uso de história e filosofia da ciência no ensino. O trabalho de Matthews (1994) é citado em muitos artigos como um dos marcos da aproximação dos estudos de história da ciência e do ensino de ciências. Segundo esse autor podemos sistematizar as

contribuições que a história da ciência pode trazer ao ensino de ciências da seguinte maneira:

- *A História promove uma melhor compreensão das concepções e métodos científicos.*
- *A abordagem histórica conecta o desenvolvimento do raciocínio individual com o desenvolvimento das idéias científicas.*
- *A História da Ciência é de grande valor intrínseco.*
- *A História é necessária para se entender a natureza da ciência.*
- *A História contribui para neutralizar os dogmas que são comumente encontrados nos textos de ciências e nas aulas.*
- *A História, examinando a vida e o tempo individualmente dos cientistas, humaniza o assunto da ciência, tornando-o menos abstrato e mais motivador para os estudantes.*
- *A História da ciência permite que conexões sejam feitas entre diferentes tópicos e disciplinas da ciência, bem como outras disciplinas acadêmicas; a história expõe a natureza interdependente e integrada das realizações humanas.*

*(Matthews apud Pagliarini, 2007, p. 22)*

Mattos (2004) sistematiza algumas vertentes:

- A dos trabalhos que defendem o uso da história para a compreensão dos aspectos intrínsecos da ciência, o que corresponde a pensar a atividade humana de compreensão da natureza, e os limites da linguagem usada para expressá-la.

- A vertente que chama a atenção para o aspecto cultural da história da ciência enfatizando o desenvolvimento histórico de valores humanos evidenciando relações entre o fazer ciência e a prática da cidadania.

- A vertente que se apropria da história com o intuito de ensinar

conteúdos específicos, revelando obstáculos para a construção dos conhecimentos científicos.

Nossa pesquisa tem mais afinidade com as duas primeiras vertentes. Daremos ênfase em aspectos intrínsecos, uma vez que estamos preocupados com a formação de pesquisadores, público que estará em contato íntimo com esses aspectos. Temos também o intuito de promover a cidadania do futuro cientista por meio de reflexões sobre as interações entre ciência e sociedade.

Batista (2005) discute uma abordagem histórica dos trabalhos de Einstein para ensinar ciência. Ela destaca que uma abordagem histórico-filosófica recria um ambiente que permite compreender a origem do problema e o porquê de certas rupturas com outras bases originais da ciência. Argumenta ainda que assim o aprendiz estará apto a ter uma visão mais crítica, ampliada e consistente da atividade científica.

Essa mesma autora em outro trabalho traz a seguinte reflexão:

*“O que acreditamos é que o ensino das ciências físicas deve dar significado à evolução humana, para fazer compreender e admirar o grande esforço coletivo de adaptação e transformação representado pela nossa ciência. A redução da Física à pura técnica, em certos casos; à técnica experimental e, em outros, à técnica matemática para a dedução lógica de conseqüências dos axiomas da teoria, evita questionamentos conceituais no seu ensino e gera uma formação limitada, estreita e acrítica. Assim, a investigação e o ensino da Física não devem ignorar simetricamente os avanços e os contrastes históricos que deram origem às idéias científicas atuais.” (Batista, 2004, p.463)*

Consideramos nossa proposta também bastante alinhada com essa visão.

Nessa revisão bibliográfica não nos deteremos muito nos

trabalhos que defendem o uso da história da ciência para detectar obstáculos epistemológicos (Arruda e Villani, 1996). Apesar de essa ser uma tendência bem presente na literatura, essa perspectiva não se aproxima tanto do uso que pretendemos fazer da história da ciência.

## **2.2 Filosofias e Epistemologias no Ensino de Ciências**

Encontramos na literatura de ensino de física certa polêmica em relação ao status epistemológico que deve ser conferido implícita ou explicitamente ao conhecimento científico, particularmente ao seu conteúdo de verdade e ao seu relacionamento com a realidade.

Alguns autores se mostram muito preocupados com a vertente construtivista e com as vertentes relativistas e idealistas. Argumentam que esse tipo de abordagem enfraquece o conhecimento científico na medida em que o coloca no mesmo nível das formas consideradas pseudocientíficas. Acrescentam ainda que isso pode desqualificar um dos principais intuítos do ensino de ciências.

Vemos essa tendência na fala de Westphal e Pinheiro (2004) que, apoiados na epistemologia de Mario Bunge, criticam abordagens que poderiam relativizar o conhecimento científico:

*“Abordagens diferentes podem gerar certa relativização do conhecimento científico e, a conseqüente diminuição de seu conteúdo de verdade, fazendo com que o aprendiz considere este conhecimento científico só em função das atividades escolares e que, assim, possa ser levado à falta de interesse, mantendo, de maneira cada vez mais arraigada, suas concepções espontâneas em detrimento do conhecimento científico que lhe é oferecido.” (Westphal e Pinheiro, 2004, p.595)*

Pietrocola (1999) também critica fortemente abordagens que possam enfraquecer o status de verdade do conhecimento científico, como fica claro na citação:

*“Nesta direção deve-se ficar atento às conseqüências do excesso de valorização às situações de confronto de idéias na concepção científica do movimento construtivista, pois isto pode infligir à ciência o perfil de uma atividade revestida de certa arbitrariedade pela falta de explicitação de critérios de cientificidade. Isto acaba por gerar uma certa relativização do conhecimento científico, diminuindo com isto seu conteúdo de verdade. Esta característica aliada ao enfraquecimento do papel do domínio empírico em particular, já abordado anteriormente, acaba por transmitir uma concepção de ciência menos comprometida com a apreensão de uma realidade exterior. Esta concepção pode gerar uma expectativa negativa nos estudantes para com a pertinência do ensino de ciências, pois não compensaria o investimento de anos de estudos de ciências caso isto não pudesse reverter em incremento à forma de se relacionar com o mundo exterior. Caso a realidade deste mundo não pudesse ser atingida e tudo que sabemos sobre ela fosse fruto de padrões mais ou menos arbitrários, por que se deveria substituir concepções pessoais sobre o mundo por outras científicas?” (Pietrocola, 1999, p.6)*

Não compactuamos dessa visão, pois acreditamos que o status de verdade da ciência deva ser também problematizado junto aos estudantes. Na nossa visão, problematizar a realidade pondo estudantes a par de uma discussão filosófica atual e pertinente, não poderia de maneira alguma desmerecer a ciência ou afastá-los da ciência. Acreditar que um estudante de ensino médio possa desacreditar a ciência pela problematização dos conceitos de verdade e de realidade, a ponto de equiparar as ciências às suas concepções não científicas, é, a nosso ver, tão absurdo como imaginar que esse estudante possa querer construir um *ipod* com suas concepções espontâneas.

Cabe aqui até um comentário interessante de Karl Popper, que preferia falar de verossimilitude com relação às ciências naturais do que de

verdade:

*“Nestas últimas seções esbocei o (...) conceito de verossimilitude que nos permita falar, sem o receio de dizer disparates, de teorias que são melhores ou piores aproximações da verdade. Não sugiro, sem dúvida, que possa haver um critério para aplicabilidade desta noção, assim como nenhum há para a noção de verdade. Mas alguns de nós (por exemplo, o próprio Einstein) às vezes gostam de dizer coisas tais como que temos razão em conjecturar que a teoria da gravidade de Einstein não é verdadeira, mas é uma aproximação melhor da verdade do que a de Newton. Ser capaz de dizer tais coisas com boa consciência parece-me um desiderato importante da metodologia das ciências naturais” (Popper, 1975, p.308)*

Valorizamos e cremos na importância do conhecimento científico por sua funcionalidade, racionalidade e pela forma de organização única que possui, permitindo um frutífero diálogo inteligente com o mundo. Cabe aqui uma reflexão do astrônomo americano William Campbel (1862-1938), citado por Bachelard (1977, p. 35):

*“Será que os físicos (nada digo dos matemáticos ou dos filósofos) acreditam na realidade de certa coisa por outra razão que não seja o fato de que essa coisa resulte da concepção de uma lei ou teoria verdadeiras? Teremos alguma razão de afirmar que as moléculas são reais, senão pelo fato de que a teoria molecular é verdadeira – verdadeira no sentido de predizer exatamente e interpretar as previsões em termos de idéias aceitáveis?”<sup>5</sup>*

Não há por que temer a problematização que procura mostrar as contradições de um saber tão presente na vida de todos. Ou teria a ciência escolar deixado a ciência tão longe das pessoas que essas devem ter medo de questioná-la? O medo de problematizar a existência de uma realidade externa e imutável e o grau de verdade do conhecimento científico relativa a ela retrata, a nosso ver, uma enorme deficiência que o ensino de ciências tem ao não ensinar

---

<sup>5</sup> “Theory and experiment in Relativity”. *Nature*, 17/02/1921.

de que forma a ciência está presente e como ela modifica e influi na vida de todos.

Geymonat, numa análise realista baseada em uma vertente marxista historicista, afirma que:

*“(...) devemos renunciar explicitamente a atribuir à própria realidade um caráter estático. Assim como da estaticidade do real se deduz a estaticidade da verdade, do caráter não estático senão dinâmico desta se obtém o caráter dinâmico de realidade” (Geymonat, 1980, p.110)*

Embora não estejamos completamente de acordo com as conclusões do trabalho de Rosa (2005), como ficará claro logo adiante, é interessante aqui contrapor a citação a seguir às opiniões de Westphal, Pinheiro e Pietrocola:

*“A expectativa de vida aumentou e a mortalidade infantil diminuiu. Ser contra a penicilina, um produto da ciência, como ser contra o rádio, a televisão, o motor à explosão e tudo que a tecnologia deu, parece ser estéril. Negar as leis de Newton e a teoria da relatividade de Einstein seria tão equivocado quanto mistificar a ciência sem procurar ver suas contradições e suas limitações.” (Rosa, 2005, p.3)*

Nossa visão está ainda mais alinhada com a apresentada por Terra (2002), que discute a postura do professor anarquista epistemológico. Ele defende que o conhecimento científico deve ser apresentado como uma forma de pensamento, como um modo de ver o mundo e de tomar decisões. Nessa concepção não há espaços para dogmatismos e sim para o diálogo. Para ele, há de se crer na ciência, a ponto de que seja suficiente apresentar idéias científicas, mostrando suas potencialidades, para que o estudante decida por acatá-la. Se a ciência é o que realmente diz que é, não é necessário doutriná-la, basta ensiná-

la. Nesta visão o estudante é livre para escolher a melhor opção de conhecimento para ele.

*“... o professor anarquista de ciências, ainda que admire e ame a ciência acima de tudo, deverá aceitar, por mais que isso lhe seja doloroso, que alunos seus adotem visões não científicas do mundo, cabendo-lhe apenas zelar para que eles conheçam os fundamentos de todas as idéias científicas estudadas. Se um aluno quiser aceitar como verdadeira a teoria geocêntrica, que o faça, pois ele é livre para isso, mas ele não poderá se furtar a discutir e a saber expor a teoria heliocêntrica que o professor lhe apresentou simultaneamente com a geocêntrica.” (Terra, 2002, p. 217)*

Partilhamos de idéia semelhante em relação às concepções que os estudantes venham a ter sobre o status de verdade do conhecimento científico, sobre a crença ou não na existência de uma realidade externa pré-existente e determinada, sobre o relacionamento do conhecimento científico com essa realidade e sobre a crença ou não no método científico.

Nessa linha de análise realista cabe ainda citar o trabalho de Greca e Freire Jr. (2004), que discute algumas tendências pós-modernas da filosofia e suas implicações sobre o ensino de ciências:

*“Se partirmos da idéia, tão difundida no ensino de ciências, da necessidade de evitar uma visão rígida, aproblemática e ahistórica da ciência (FERNÁNDEZ et al., 2003) e, relacionado com isto, evitar transmitir uma visão deformada e descontextualizada, socialmente neutra da ciência, que em nada contribui à formação de cidadãs e cidadãos mais responsáveis, é necessário tentar perceber que elementos podem trazer estas análises pós-modernas para enriquecer uma imagem mais realista do fenômeno multifacetado que é a ciência contemporânea, em vez de simplesmente negá-las ou atacá-las. Consideramos que isto só pode contribuir para um melhor relacionamento entre ciência e sociedade, parecendo-nos um antídoto melhor contra tendências irracionalistas. Isto é, consideramos que esta postura é preferível a uma em que, em nome de uma defesa cega da ciência, não leve em consideração o legado crítico da Filosofia, da História e da Sociologia da Ciência. E esta postura não é, como às vezes parece resultar de alguns trabalhos, uma*



*invenção pós-moderna, senão que de alguma forma foi estimulada pelo binômio Ciência – sociedade em usos militares e civis que têm posto em risco a sobrevivência do planeta desde meados do século passado.” (Greca e Freire Jr. ,2004, p.347)*

O artigo discute várias posições de autores que defendem e condenam os estudos pós-modernos, mas finaliza com uma interpretação que sintetiza bem nossas expectativas:

*“Certamente muito se tem avançado na incorporação destes temas no ensino e na pesquisa em educação em ciências; a nossa aposta é que este avanço não seja freado por preconceitos em relação a esta nova camada de filósofos, historiadores e sociólogos da ciência. Consideramos que estas correntes de pesquisa, independentemente do problemático de certos de seus pressupostos, têm a contribuir à nossa compreensão da ciência e dos processos históricos, e à formação de cidadãos mais responsáveis. Acreditamos, portanto, ser necessário repensar em nossas pesquisas e no ensino a visão de ciência desde uma postura mais ampla que aquela fornecida pela própria história interna da ciência.” (Greca e Freire J.r, 2004, p.358)*

### **2.3 Ensino de Física no âmbito do Ensino Superior**

Há uma vasta literatura sobre ensino de física no âmbito do ensino superior, porém em sua ampla maioria voltada à formação de professores. Não nos aprofundaremos na análise da formação de professores, mas mencionaremos alguns estudos que têm, de certa forma, áreas de intersecção com o tema deste trabalho.

Entre os poucos trabalhos que se referem ao ensino da prática de pesquisa no ensino superior está o de Senra (2000). Sua reflexão surgiu da sua prática como docente. Ele questiona se uma disciplina seria a maneira ideal de ensinar a prática de pesquisa. Conclui que é possível ensinar, mas não no sentido mais amplo da configuração do conhecimento, e sim como algo

fortemente indicativo. Comenta que a prática de pesquisa é uma tarefa social embora tenha momentos de solidão, e por isso tenta, na disciplina, envolver os estudantes na prática de pesquisa, fazendo-os sentirem-se criadores. Isso vai na mesma direção da convicção que motiva nossa pesquisa.

O autor ainda defende que além de ensinar o método científico é necessário e importante estimular uma prática científica que provoque o exercício da perplexidade, da criatividade, da mentalidade crítica e da argumentação. Discutindo sua ementa, ele ressalva que em sua disciplina aborda “os vários métodos científicos” e não “o método científico”.

Oliveira e Queiroz (2005) apresentam uma discussão sobre as habilidades da comunicação científica. Afirmam que a expressão em linguagem científica é uma ferramenta valiosa. Citam um levantamento feito pelo *Journal of Chemical Education* sobre os artigos que relatam experiências de aprimoramento da linguagem científica. Em seguida comentam o uso de artigos científicos originais, de revisão, de divulgação e de cunho didático, numa disciplina chamada Comunicação e Expressão em Linguagem Científica I. Essa disciplina é ministrada no Instituto de Química da USP São Carlos e é considerada inovadora no Brasil.

Dumrauf (2001), apresenta uma pesquisa realizada na Universidad Nacional de La Plata, Argentina. Essa proposta se baseia em uma experiência didática inovadora de uma oficina de ensino de física como parte de um curso universitário de Física Geral para alunos de Biologia e Geologia. O principal foco de análise foram os docentes envolvidos e a investigação se deu principalmente por meio de entrevistas.

A autora comenta a preocupação com a iniciação de cientistas, dado que os docentes expressam comumente descontentamento com limitações à criatividade, que as condições científicas locais impõem. Assim se forma um abismo entre a concepção de ciência que os docentes dizem ter e o que realmente fazem em seus laboratórios. Cria-se então uma imagem ideal de ciência que vai contra o que é o sistema científico.

Primeiramente os docentes relatam que são os grupos de pesquisa dos países economicamente mais poderosos que definem as linhas de pesquisa. Os grupos dos países mais fracos devem se adaptar. Relatam também que idéias demasiadamente originais necessitam ser fortemente argumentadas e por isso demandam muito mais trabalho, logo nem sempre é possível adotá-las. Relatam ainda que a originalidade das idéias é limitada, uma vez que as idéias devem ser originais, porém sem se chocar a pontos fixos. Os docentes ainda dizem que levar adiante uma linha de pesquisa sem muita originalidade dá segurança e reconhecimento por que se sabe muito sobre o que se está fazendo, mas esse saber é como saber para trás, pois não gera coisas novas. O sentimento dos docentes fica bem evidente na seguinte frase: *“Bueno, hay que publicar. Y? Como publicáis? Adaptándote”* (Dumrauf, 2001, p.4).

A investigação aponta que a continuidade dessa prática de pesquisa está garantida pelo sistema tradicional de ensino, uma vez que os cursos são voltados à adaptação. Nesses cursos passa-se adiante a idéia de que o valor principal do mundo científico é a adaptação e não a criação, e essa ciência não criativa desagrada os interessados.

Os docentes que participaram dessa experiência didática afirmam

que uma mudança no ensino aponta para uma mudança na ciência com a quebra do sistema de adaptação. Uma experiência didática inovadora pode se converter em uma ferramenta potencialmente transformadora da estrutura científica.

Segundo o artigo é possível fazer isso buscando um espaço de criatividade em aula trabalhando, além dos conteúdos conceituais das disciplinas, com tarefas concretas que englobam aspectos relacionados à criatividade em ciência, à interdisciplinaridade, à necessidade do trabalho em equipe e à inclusão da dimensão humana no trabalho científico. Com isso se pretende trabalhar com uma visão de “ciência em processo”. O fazer científico pode se dar em pequenos trabalhos de investigação criativa. Essa necessidade de incorporar aspectos relacionados com a geração do conhecimento científico pode ser recriada em aula pela metodologia dos docentes, na tentativa de estabelecer um ambiente de aprendizagem autêntico. A autora afirma que a necessidade de gerar tal ambiente no ensino de ciências surgiu pela influência da área de estudos sociais da ciência, mencionando como referência central o trabalho de Bruno Latour.

Embora essa expectativa como um todo possa ser considerada de certa forma quase ingênua, ela nos dá indicativos que vão na direção daquilo que acreditamos. Embora saibamos que o ensino por si só nunca poderia dar conta de transformar a estrutura científica, cremos que ele possa sim dar alguma contribuição significativa.

Algumas reflexões sobre o trabalho científico, como a de Rosa (2005), podem também dar corpo ao tipo de formação que consideramos importante. Cabe aqui a seguinte problematização proposta por ele:

*“Em que grau há responsabilidade do cientista sobre o fruto do seu trabalho e o quanto ele tem consciência do significado do que produz nas suas pesquisas? Isso exige uma abertura da consciência do cientista quanto ao alcance e à limitação da ciência. O pesquisador geralmente escolhe seu assunto sem consciência do que dele pode resultar, acreditando sinceramente estar autonomamente decidindo movido pelo desafio, pela curiosidade ou pelo interesse de resolver problemas úteis à sociedade.” (Rosa ,2005, p.4)*

Nessa perspectiva, uma experiência interessante de ensino de ciências é trazida por Marulanda (2008), que propõe uma abordagem CTS (ciência, tecnologia e sociedade) na formação de engenheiros. Ele descreve uma proposta de curso na qual são abordadas questões éticas e filosóficas, questões sobre política científica e tecnológica e participação pública. Essa abordagem se dá através do estudo de sistemas tecnológicos locais relacionados, por exemplo, com água potável, saúde, agricultura, transporte e etc.

Outro estudo é trazido por El-Hani (2006), na perspectiva da formação de pesquisadores em biologia. Desse artigo extraímos a seguinte citação:

*“Pesquisadores por sua vez, não podem ignorar as relações complexas entre as ciências, a tecnologia e a sociedade, e, tampouco, as dimensões históricas, filosóficas e culturais da ciência e da tecnologia, necessitando de bases seguras para decisões de ordem ética, metodológica, etc. que devem tomar no contexto de sua prática científica” (Zimen, apud El-Hani, 2006, p.4)*

El-Hani também sinaliza que “a formação de professores e pesquisadores tipicamente se limita aos aspectos teóricos e práticos das várias ciências e não fornece referenciais históricos e filosóficos **necessários para sua prática profissional**” (El-Hani, 2006, p.5, grifos nossos). Ele faz ainda nesse artigo uma sistematização de aspectos da natureza da ciência comuns a vários

filósofos chegando a um conjunto de características que delineia uma visão não ingênua de ciências. Essa visão embasa uma proposta explícita de ensino sobre a natureza da ciência no contexto do ensino superior.

## **2.4 Os trabalhos de Latour e o ensino de ciências**

Numa experiência feita com estudantes de Iniciação Científica de Química, Queiroz (2004) tenta estabelecer relações entre o “fazer ciência” e o “compreender a ciência”. O compreender a ciência seria ter a percepção da construção do conhecimento científico. O artigo compara as atividades dos estudantes com as que Latour descreve na obra “Vida de Laboratório”. O artigo conclui que os estudantes adquirem, por meio da iniciação científica, a compreensão implícita de como se faz ciência. Outra conclusão é que há também um grande progresso no entendimento e no uso da linguagem científica por parte dos estudantes.

Carvalho e Mion (2005) fazem um paralelo entre Bruno Latour e Paulo Freire por meio de da formação de professores. Usando o conceito de Rede Sócio Técnica de Latour, o artigo propõe a formação de um professor crítico reflexivo. Isso seria a base para a libertação dos oprimidos de seu estado de sujeição científica e tecnológica, uma vez que a base para a produção do conhecimento em rede é a cultura. Reproduzimos uma citação de Bazin, que assume a postura de que a ciência só pode ser algo que possibilite ao homem modificar o mundo se estiver ideologicamente associada a um conteúdo político:

*“Se a ciência não é neutra, cabe a nós torná-la ideologicamente ativa, levá-la a ser dominada pelas massas para libertar os homens e mulheres de todos os mitos cientistas exploradores. Uma primeira medida consiste em extirpar o mito das caixas pretas, dos aparelhos misteriosos, intocáveis sobre os quais não se fazem perguntas” (Bazin apud Carvalho e Mion 2005 2005, p. 6).*

Carvalho et al (2005) ainda apresentam em outro trabalho uma reflexão sobre crescimento acelerado da comunidade científica versus a estagnação das instituições de ensino, lembrando que a comunidade científica é concebida no processo escolar. Isso corresponderia a dar às massas o poder de questionar o campo da ciência.

Vianna e Carvalho (2001) relatam uma experiência onde a proposta epistemológica de Bruno Latour é levada ao conhecimento de professores de biologia. O artigo defende a transmissão da visão epistemológica do professor para o estudante. As autoras defendem que os professores precisam conhecer mais a ciência que ensinam. Nessa proposta os professores são postos em contato com pesquisadores, numa tentativa de relacionar a pesquisa científica à pedagogia e à prática docente.

Santos e Queiroz (2005) propõem o uso de artigos científicos como uma ferramenta para que os estudantes desenvolvam habilidades necessárias à carreira profissional no ensino superior. Para eles o entendimento sobre a natureza da ciência é um dos atributos de um indivíduo alfabetizado cientificamente. Defendem ainda a idéia de que conhecer as formas de trabalho e como os cientistas chegam às descobertas torna os indivíduos mais críticos. O artigo discute a proposta aplicada na disciplina de “Comunicação e expressão em linguagem científica II” (ministrada no IQ da USP São Carlos). Foram discutidos

com os estudantes alguns artigos de autores atuais. Em seguida foi aplicado um questionário. Com as respostas foram estabelecidas relações entre o entendimento dos estudantes e os de Bruno Latour. Os autores concluem que após as atividades os estudantes mostraram identificar algumas características importantes do saber científico.

Na mesma linha, Zanon e al (2005) levam para o curso de “Comunicação e expressão da linguagem Científica I” um texto de Bruno Latour, com o objetivo de modificar a imagem do papel do cientista nas inscrições literárias (artigos). O artigo comenta a falta de semelhança entre o laboratório didático e o laboratório de pesquisa. A idéia é promover nos estudantes, por meio do texto de Latour, a consciência da relevância de argumentar para defender suas idéias. Os estudantes dificilmente olham para o laboratório como um produtor de artigos. Segundo os autores isso se modifica após a leitura do texto de Latour.



## CAPÍTULO 3

### **$E = mc^2$ – Um recorte**

Para nos aprofundarmos na idéia de uma formação científica em que a história e a filosofia estejam presentes, faremos um recorte mais específico. Primeiramente, a escolha é um tema de Física Moderna, pois esse tema traz, de alguma forma, a ruptura com um conhecimento já estabelecido para o indivíduo. Dessa maneira, podemos explorar de forma mais explícita a pluralidade de formas de conhecimento.

Dentre os temas de física moderna, escolhemos a relatividade pois, além de propiciar essa ruptura, é um dos primeiros temas de física moderna que os estudantes têm contato nos cursos de física tradicionais.

Para estabelecer um recorte ainda mais específico, elegemos  $E=mc^2$  por ser uma equação extremamente popular e por se tratar de um tema que pode ser encontrado em uma diversidade enorme de tipos de materiais. Essa equação é muito comum nas leituras de divulgação científica, aparece em manuais de ensino médio, superior e em livros de Física específicos que envolvem uma matemática muito mais avançada. Essa diversidade de níveis e linguagens em que podemos encontrar discussões sobre  $E=mc^2$  torna o tipo de

análise que pretendemos realizar extremamente rica.

Ainda podemos justificar a escolha do ponto de vista da peculiaridade dessa equação. É extremamente simples matematicamente; é decorrente da teoria da relatividade restrita, mas engloba resultados e aplicações extremamente amplos; além de envolver dois conceitos primários em Física, a massa e a energia. Esses conceitos, apesar de amplamente utilizados, são difíceis de definir, e passíveis de várias interpretações bem distintas, ao longo da história.

O que dizer então dos conhecimentos envolvidos nessa “simples” expressão?

### **3.1. E=mc<sup>2</sup>? Elementar...**

Por se tratar de uma expressão, como já dissemos anteriormente, muito difundida e até um símbolo da Física, podemos encontrar na literatura várias maneiras de deduzi-la.

Vieira et al (2004) trazem um artigo resumindo algumas das principais maneiras de deduzir E=mc<sup>2</sup>. Ele apresenta e discute quatro deduções:

#### **3.1.1. Partindo da cinemática – teorema do trabalho energia**

Usando a força definida por:

$$F = \frac{dp}{dt} \tag{1}$$

Classicamente podemos calcular o trabalho pelo teorema do trabalho energia sendo:

$$W = \int_0^x F dx = \int_0^x \frac{dp}{dt} dx = \int_0^p v dp \quad (2)$$

Sabendo que o momento linear é dado por  $p = mv$ , temos que:

$$W = m \int_0^v v dv = \frac{1}{2} mv^2 \quad (3)$$

ou seja:

$$K = \frac{1}{2} mv^2 \quad (4)$$

No caso relativístico temos o momento linear dado por:

$$p = \frac{mv}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (5)$$

Basta então calcular o trabalho pela expressão (2). Teremos então que:

$$W = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2 \quad (6)$$

A energia cinética será dada também por:

$$K = \frac{mc^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - mc^2 \quad (7)$$

De onde podemos concluir que:

$$K + mc^2 = E \quad (8)$$

Onde E é a energia total do sistema.

Podemos concluir então que esse sistema possui uma energia cinética e uma energia de repouso  $E_0$  dada por:

$$E_0 = mc^2 \tag{9}$$

**3.1.2. Einstein em 1905. (adaptação feita por Villani (1981) apud Vieira et al (2004))**

Partimos de um corpo A emitindo certa quantidade de energia Q (fig. 1). No referencial S podemos descrever a conservação da energia por:

$$E_1 = E_2 + Q \tag{10}$$

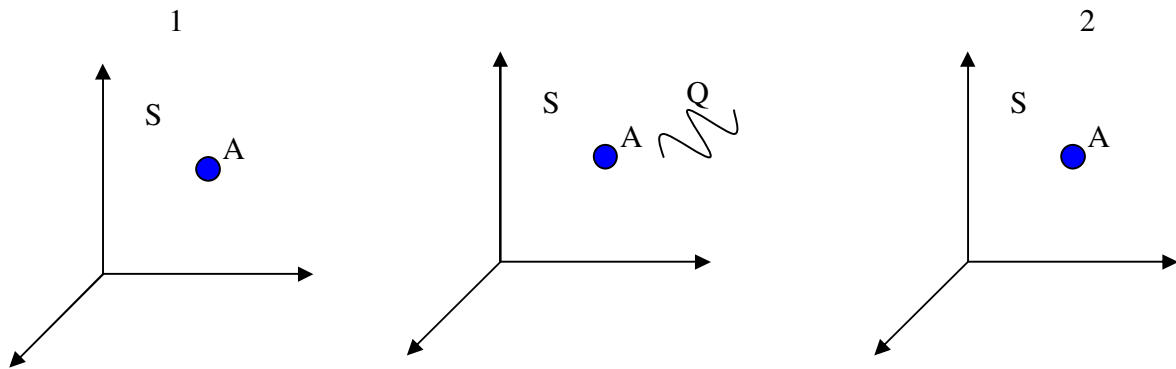


Fig. 1

Considerando agora a mesma situação para um referencial S' movendo-se em relação a S com velocidade v podemos escrever:

$$E'_1 = E'_2 + Q' \tag{11}$$

Para um observador situado em S, a partícula A' em S' terá energia cinética  $K_1$ . Essa energia será dada pela diferença entre  $E_1$  e  $E'_1$ . De maneira análoga podemos dizer que a energia cinética  $K_2$  será dada pela diferença entre  $E_2$  e  $E'_2$ . Subtraindo (11) de (10) temos:

$$(E'_1 - E_1) = (E'_2 - E_2) + (Q' - Q) \tag{12}$$

Que pode ser escrita como:

$$K_1 - K_2 = Q' - Q \quad (13)$$

Das transformações relativísticas da energia sabemos que:

$$Q' = \frac{Q}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (14)$$

Dessa maneira podemos escrever a equação (13) como:

$$K_1 - K_2 = Q \left[ \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1 \right] \quad (15)$$

Como a energia Q é constante, e se fizermos a aproximação de

$\frac{v^2}{c^2} \ll 1$  podemos usar a expressão binomial  $(1+x)^n = 1+nx$  para módulo de x pequeno. Assim, chegamos à expressão:

$$K_1 - K_2 = \frac{Q}{c^2} \cdot \frac{v^2}{2} \quad (16)$$

Usando a expressão da energia cinética, temos;

$$\frac{m_1 v^2}{2} - \frac{m_2 v^2}{2} = \frac{Q}{c^2} \cdot \frac{v^2}{2} \quad (17)$$

Aqui na verdade já estamos supondo uma variação de massa no lado esquerdo da equação, pois a velocidade v é constante. Sendo assim podemos escrever:

$$\Delta m = \frac{Q}{c^2} \quad (18)$$

Assim a emissão de uma energia Q está associada a uma diminuição da massa do corpo de  $\Delta m$ . Nas palavras de Einstein “A massa de um

*corpo é uma medida do seu conteúdo energético; se a energia sofrer uma variação igual a Q, a sua massa sofrerá, no mesmo sentido, uma variação igual a  $Q/9 \cdot 1020$ , se a energia for medida em ergs e a massa em gramas" (Einstein Annalen der Physik 18, 639 1905)*

Portanto escrevemos:

$$E = mc^2 \tag{19}$$

### 3.1.3. Dedução de Einstein em 1906

Nessa dedução vamos considerar um cilindro oco emitindo um pulso de uma extremidade a outra. O sistema pulso mais cilindro é, por tanto, um sistema isolado, onde o momento se conserva e a posição do centro de massa permanece imóvel (fig.2).

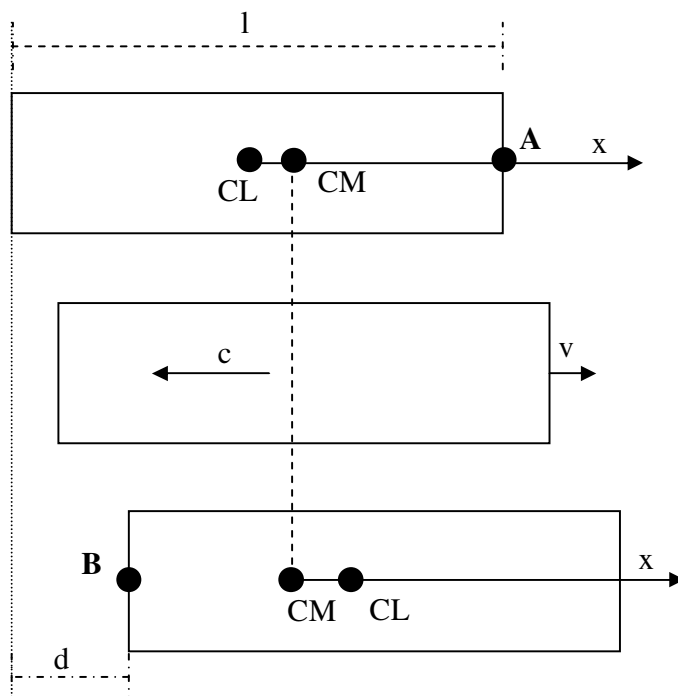


Fig.2

Sabemos que o momento do pulso é dado por  $p = \frac{E}{c}$ . O momento do cilindro escrevemos como  $(M - m)v$  chamando  $M$  a massa do sistema caixa mais pulso e  $m$  a massa do pulso. Usamos a expressão do momento clássico estimando que  $v \ll c$ . Assim temos a conservação dada por:

$$(M - m)v - \frac{E}{c} = 0 \quad (20)$$

Igualando o tempo gasto no recuo do cilindro com o tempo do pulso ao atravessá-lo, temos:

$$\frac{d}{v} = \frac{l - d}{c} \quad (21)$$

Precisamos ainda usar o fato de o centro de massa se manter imóvel. Podemos perceber que a distância percorrida pelo ponto CL é  $d$ . Sendo assim a distância de CL a CM é dada por  $\frac{d}{2}$ . Podemos então escrever a expressão;

$$x_{cm} = 0 = \frac{(M - m)\frac{d}{2} - m\left(\frac{l}{2} - \frac{d}{2}\right)}{M} \quad (22)$$

Da expressão acima podemos extrair a igualdade:

$$(M - m)d = m(l - d) \quad (23)$$

Substituindo  $(l - d)$  da expressão (23), na expressão (21) obtemos a expressão para a velocidade:

$$v = \frac{mc}{(M - m)} \quad (24)$$

Por fim basta substituir a expressão (24) na expressão da

conservação do momento (20) e obtemos:

$$E = mc^2$$

### 3.1.4 Dedução de Einstein em 1946

Consideremos um corpo B num referencial S emitindo um pulso de radiação na direção de y simultaneamente nos dois sentidos. Para um referencial S' com velocidade v na direção de x em relação a S (fig.3) temos a emissão do pulso percebido com um certo ângulo  $\alpha$  (fig.4).

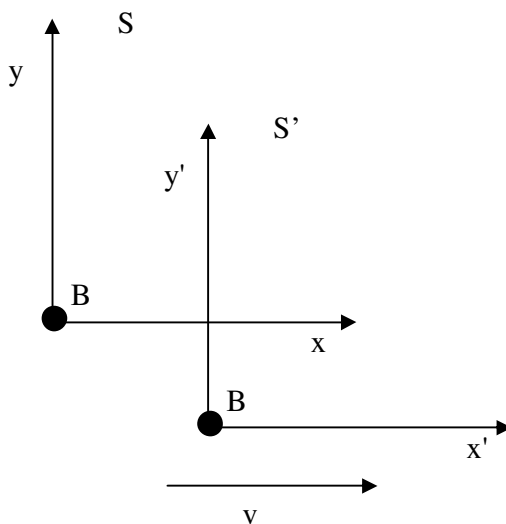


Fig.3

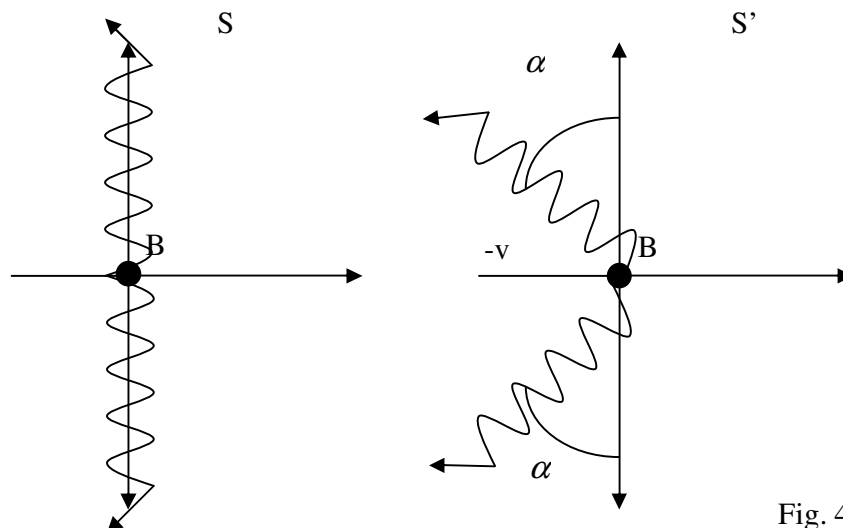


Fig. 4



Do ponto de vista de  $S'$  antes da emissão o momento é dado por:

$$P_i = -mv \quad (25)$$

Depois da emissão o momento fica;

$$P_f = -m'v - \frac{\Delta E}{c} \text{sen } \alpha \quad (26)$$

Pois sabemos do eletromagnetismo que o momento do pulso é dado por  $\frac{\Delta E}{c}$  e que o movimento se dá na direção  $x$ . Portanto multiplicamos por  $\text{sen } \alpha$ .

A conservação do momento exige que  $P_i = P_f$  temos a igualdade:

$$mv = m'v + \frac{\Delta E}{c} \text{sen } \alpha \quad (27)$$

$$(m - m')c^2 = \Delta E \quad (28)$$

De onde tiramos:

$$\Delta E = \Delta mc^2 \quad (29)$$

E finalmente podemos escrever:

$$E = mc^2$$

### **3.1.5 Considerações sobre a massa e a energia interpretadas segundo o formalismo tensorial e a Teoria da Relatividade Geral.**

Cabe aqui uma breve discussão sobre o significado que a massa e a energia adquirem no formalismo tensorial usado tanto na Relatividade Geral quanto, para abordagens de problemas mais complexos de dinâmica, na Relatividade Especial.

A equação de campo de Einstein é expressa pela relação entre dois tensores:

$$G_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu} \quad (30)$$

À esquerda temos o tensor que nos explicita a forma do espaço tempo. À direita da equação temos um tensor de 16 componentes, das quais 9 são componentes de pressão e torção, 6 são referentes a densidades de momentos e fluxos de energia e apenas uma é relacionada à densidade de energia.

Um dos sentidos que o conceito de massa tinha antes da relatividade geral acaba desaparecendo nesse formalismo, pois em muitos casos momento e velocidade são vetores não paralelos, assim não faz sentido definir uma constante de proporcionalidade.

Não entraremos mais a fundo nessa discussão, pois nossa proposta é abordar o tema com um público que não necessariamente tem o domínio desse formalismo matemático.

Além disso, não cremos que o fato da Teoria da Relatividade Geral praticamente abandonar o conceito de massa, invalide a pertinência das várias deduções mostradas anteriormente, bem como seus fins didáticos. Também cremos que uma discussão conceitual no nível das deduções apresentadas é problematizadora e pertinente.

### 3.2. Significados, Significados e Significados

Na seção anterior verificamos algumas maneiras de deduzir matematicamente a equação  $E = mc^2$ . Nesta seção será explorado o significado dessa equação. Para isso trazemos trechos de alguns livros, artigos e páginas da internet que de alguma maneira buscam explorar o significado dessa relação.

Começamos expondo a definição escrita pelo próprio Einstein, em 1905, no artigo que publica logo após apresentar a relatividade restrita discutindo mais a questão relativa à inércia da energia. Nas palavras de Einstein:

*“A massa de um corpo é uma medida de seu conteúdo de energia(...)A radiação transporta inércia entre os corpos que a emitem e a absorvem”. (Einstein, apud Stachel, 2005, p.186)*

Temos aqui mais uma citação de Einstein fazendo referência a  $E = mc^2$ , mais tarde, já em sua obra “*Escritos da Maturidade*”.

*“É costume expressar a equivalência entre a massa e a energia pela fórmula  $E=mc^2$ (...)E é a energia contida num corpo estacionário e m é sua massa. A energia pertencente à massa m é igual a essa massa...”(Einstein 1956 p.53)*

Como curiosidade e esclarecimento cabe aqui mencionar o significado presente em um texto de G. J. Whitrow, de 1967, que se originou de um programa da BBC, de Londres, comemorativo do cinquentenário da relatividade geral:

*“A dependência da massa em relação com a velocidade conduziu Einstein a uma notável unificação de conceitos. Chegou à conclusão de que a massa e a energia de um corpo estão intimamente associadas. Correspondente a qualquer aumento no conteúdo de energia de um corpo, há um aumento equivalente em sua massa. Em um trabalho curto, publicado depois de 1905, Einstein*

*demonstrou igualmente que, se um corpo emite uma energia E na forma de radiação, sua massa diminui uma quantidade M tal que  $E = Mc^2$ .*

*Essa unificação de massa e energia foi uma das conseqüências mais importantes da teoria especial da relatividade de Einstein. Supunha que a matéria pode ser considerada como energia altamente concentrada. Essa hipótese tem recebido notável confirmação na física nuclear e resolveu o problema da origem da radiação solar. O enorme desprendimento de energia nas reações nucleares se deve à conversão de uma pequena quantidade de massa em uma grande quantidade de energia liberada equivalente.*

*Para Einstein o principal valor de seu descobrimento acerca da massa e da energia não residia em suas aplicações práticas. O ponto vital era que havia chegado a ele como conseqüência do princípio da relatividade.” (Whitrow, G.J. 1967, p.37)*

Citamos aqui, para fazer um contraponto, duas citações de manuais clássicos de ensino superior:

*“(…) é a base da relação  $E=mc^2$  que afirma que energia de repouso pode ser convertida livremente em outras formas de energia.” (Halliday e Resnick 1995 p.138)*

*“Eventualmente nós dizemos que “energia é transformada em massa” ou massa é convertida em energia ou que massa e energia são intercambiáveis (permutáveis). O que melhor entendemos é que massa e energia são atualmente equivalentes. Massa é mais uma forma de energia e nós usamos o termo massa energia e energia transformada.” (Thornton e Rex 2000 p. 63)*

Nas três próximas citações temos trechos retirados de obras que se aproximam mais da categoria divulgação científica.

*“Massa e energia são a mesma coisa.” (Bodanis 2000 p.85)*

*“... veremos como ocorrem “conversões totais de massa energia”, na aniquilação de pares de partículas materiais, providas de massa inercial; ou vice versa; na criação desses pares.” (Menezes 2005 p.130)*

*“Por vezes se interpreta essa fórmula dizendo que a massa e a energia, são dois aspectos de uma mesma entidade física. Essa interpretação não é*

*inteiramente correta, uma vez que os conceitos de massa e de energia têm estatutos físicos diferentes. A energia é uma entidade dotada de existência própria, capaz de assumir formas diferentes em todos os domínios da física... A massa, em contrapartida, refere-se a duas noções bem específicas: a resistência à aceleração e a capacidade de exercer e sofrer força gravitacional. Assim, podemos prescindir do conceito de massa e dizer simplesmente que a energia – sob todas as suas formas – tem a capacidade de resistir à aceleração e de participar das interações gravitacionais. Não podemos, porém, fazer o inverso e reduzir o conceito de energia ao conceito de massa. Desse ponto de vista, a fórmula de Einstein corrobora uma das teses centrais dos energetistas: a energia, e não a matéria (isto é, massa), é o conceito físico fundamental.” (Bem Dove, 1996)*

Temos agora citações retiradas de artigos publicados em revistas de ensino de física que se propõem a discutir explicitamente alguns significados da equação.

*“A "conversão" de massa em energia (ou vice-versa) é um conceito problemático, embora infelizmente apareça em enorme número de obras. Pode-se converter energia cinética em energia potencial, no sentido de que uma delas vai diminuindo, e vai surgindo uma quantidade equivalente da outra. Converter massa em energia significaria, de modo equivalente, que haveria fenômenos em que a massa iria desaparecendo e iria surgindo uma quantidade equivalente de energia, ou vice-versa. Isso não ocorre. Afirmar a conversão de massa em energia é o mesmo que partir da equação  $E=hv$  e afirmar que a energia pode ser convertida em frequência, ou vice-versa”. (Roberto Martins 1998).*

*“A relação  $E = mc^2$ , no seu domínio de validade, indica que há uma energia  $E$  associada a qualquer massa  $m$ , e vice-versa. Não se trata de uma conversão. Um elétron de massa  $m$  tem uma energia total  $E = mc^2$ ; a equação não diz que o elétron pode ser criado a partir de energia pura, como por exemplo radiação eletromagnética (não pode) nem que ele pode se transformar em energia pura (não pode). Há outras leis que impedem isso (conservação do número leptônico, da carga, etc.)”. (Roberto Martins 1998)*

Por fim, temos a seguir dois trechos de textos disponíveis na internet. O primeiro traz também uma discussão sobre o significado da relação e

o segundo traz uma explicação que envolve a física nuclear.

*“Dizer que massa pode ser convertida em energia e justificar o dito com a equação  $E = mc^2$  é um ato tão legítimo quanto dizer que velocidade ( $v$ ) pode ser convertida em quantidade de movimento ( $p$ ) e justificar o dito com a equação  $p = mv$ . Na Física, isso não tem qualquer sentido. A afirmação de que massa pode ser convertida em energia envolve, talvez, a confusão entre os conceitos de massa e matéria, por um lado, e energia e radiação eletromagnética, por outro. Matéria é uma coisa. Radiação eletromagnética é uma coisa. Assim, matéria pode ser convertida em radiação eletromagnética como acontece, por exemplo, no processo de aniquilação de uma partícula pela sua anti-partícula, com o conseqüente aparecimento de radiação  $\gamma$ . O processo inverso também existe. Agora, embora seja verdade que matéria pode ser convertida em radiação eletromagnética e vice-versa, não é isso que a equação  $E = mc^2$  significa.” (Disponível em <http://www.ufsm.br/gef/MasEne.htm>)*

*“Freqüentemente ouvimos dizer que a equação  $\Delta E = (\Delta m) \cdot c^2$  tornou possível a Fabricação da bomba atômica. Porém, isso não é verdade, como veremos a seguir:*

*Um dos tipos de bomba atômica é construído a partir da fissão (fragmentação) do núcleo do átomo de urânio. Um nêutron atinge o núcleo de urânio tornando-o instável. Com isso o núcleo de urânio se divide em dois núcleos menores com emissão de dois ou três nêutrons e alguns fótons. Nesse processo, uma parte da energia potencial armazenada no núcleo (elétrica e nuclear) transforma-se em radiação e energia cinética dos fragmentos que resultam após a fissão. Não há alteração no número total de prótons e nêutrons, isto é, não há conversão de matéria em radiação, mas apenas transformações de energia. Se quisermos, podemos calcular as variações de massa e energia e, com isso, confirmar a validade da equação de Einstein. No entanto, não precisamos da equação para construir (e explodir) a bomba.” ([http://atomico.no.sapo.pt/08\\_10.html](http://atomico.no.sapo.pt/08_10.html))*

Segundo Baierlein (2007), existem duas escolas de interpretações sobre a relação massa energia:

*“Proporcionalidade: Inércia e energia são conceitualmente diferentes e têm definições operacionais diferentes. Invariavelmente, uma mudança na inércia acompanha uma mudança na energia.*

*Identidade: Em algumas noções intrínsecas, inércia e energia são idênticas. Essa visão é motivada naturalmente pelas relações em quatro dimensões da relatividade especial". (Baierlein, 2007, p.331)*

Pela contraposição dos trechos acima fica claro que a interpretação da expressão  $E = mc^2$  não é tão simples quanto sua dedução. Existem claras divergências envolvendo os significados dessa relação. Chamamos a atenção inclusive aos conceitos e interpretações que surgem e se justificam no campo da física nuclear.

Em nossa leitura, toda essa polêmica que envolve a expressão pode ser um convite a mergulhar na história e tentar entender onde e quando surge a expressão  $E = mc^2$  e como ela foi parar na física nuclear. Acreditamos que essa análise possa dar subsídios para compreender a existência dessa pluralidade de significados.

## CAPÍTULO 4

### Um pouco de história

*A palavra 'descoberta', em si mesma, deve ser condenada. Isso porque descoberta é o equivalente a ter consciência de uma coisa que já está formada; isso leva à prova, que já não tem mais o caráter de 'descoberta', mas, em última instância, dos meios que a propiciaram... Na verdade, a descoberta não é uma ação criativa.*

*Einstein*

Percebendo que atribuir significados à relação  $E = mc^2$  não é uma tarefa tão simples, não podemos afirmar que todos os significados que  $E = mc^2$  pode assumir sejam responsabilidade de Einstein. Muito menos podemos afirmar que ele fez tudo isso em 1905.

Assim, para mergulhar na história da relação iremos explorar quatro momentos, que para nós são muito relevantes para compreender a construção de  $E = mc^2$ . Esses quatro grandes grupos de fatos históricos são: a história antes de 1905 que remete a  $E = mc^2$ ; os artigos de Einstein; o contexto de justificação dessa idéia na comunidade científica após a publicação de Einstein e, por fim, uma seqüência de fatos que levaram essa expressão vinda da



teoria da relatividade (e portanto da teoria eletromagnética) ao contexto da física nuclear.

Explorando dessa maneira, pretendemos trazer uma visão de história mais completa e menos ingênua, fugindo da pseudo-história, muito presente em manuais didáticos e em alguns dos livros de divulgação consultados nessa pesquisa. No caso dos trabalhos de Einstein foram consultadas fontes originais. Os outros dados históricos são de fontes secundárias. Aqui é necessário enfatizar que este não é um trabalho de história da física, mas de aplicação dessa história no ensino de ciências, assim, a não ser no que se refere aos trabalhos de Einstein, não recorreremos à leitura de textos originais e sim aos trabalhos de historiadores que trabalharam com esse tema.

#### **4.1. Quase chegando a $E=mc^2$**

Podemos encontrar contribuições que fazem referência a algum tipo de relação entre massa e energia, em dois dos principais ramos da Física do séc. XIX, o eletromagnetismo e a termodinâmica.

Maxwell, em 1873, faz uma previsão teórica de que as ondas deveriam exercer pressão sobre os corpos que absorvem radiação (Martins 1989). Em 1876, Bártoli, através de estudos termodinâmicos deduz que a luz deve exercer uma pressão de radiação sobre superfícies refletoras (Martins 1989).

Por meio de estudos de natureza eletromagnética, Thomson e Fitzgerald, em 1881, chegam à expressão para a energia da carga elétrica em

movimento, dada por  $W = \frac{e^2 v^2}{3ac^2}$  (Martins 1989).

Boltzmann, em 1884, aperfeiçoa e generaliza os resultados obtidos por Bártoli usando elementos da teoria eletromagnética. (Martins 2005)

Em 1889, Heaviside usando o cálculo de operadores chega a equações mais exatas acerca da massa de elétrons em movimento. (Martins 1989)

J. Thomson, em 1893, define a densidade de momentum do campo eletromagnético como sendo  $\vec{g} = \frac{\vec{S}}{c^2}$ . (Martins 2005)

Larmor, em 1895, conclui que toda matéria é constituída apenas por cargas. Assim, toda a inércia de um corpo seria de origem eletromagnética. (Martins 1989)

No ano seguinte, Searle define a massa eletromagnética adicional em função da massa do elétron. A expressão a que chega é

$$W = \frac{e^2 c^2}{2R} \left( \frac{c}{v} \log \frac{c+v}{c-v} - 1 \right). \text{(Martins 1989)}$$

Em 1897, Thomson e Searle chegam a uma importante conclusão: não é possível acelerar uma carga além da velocidade da luz. (Martins 1989)

Entre o ano de 1897 e o seguinte Thomson e Lenard fazem experimentos com raios catódicos e com radiações de alta energia. Os resultados obtidos confirmam as previsões de Thomson. (Martins 1989)

Ainda em 1897, Lenard faz medidas da relação e/m para raios

com velocidade até  $c/3$ . (Martins 2005)

Em 1900, Poincaré propõe uma relação massa energia para a

radiação livre:  $\rho = \frac{\mathcal{E}}{c^2}$ . (Martins 2005)

No ano seguinte, Lorentz, usando a termodinâmica, chega ao

momento da radiação na cavidade do corpo negro dado por:  $p = \frac{2\mu_0 e^2}{2a} v$ . Nesse

mesmo ano Kauffman, em seus experimentos com raios  $\beta$ , detecta a variação na massa do elétron. (Martins 2005)

Ainda em 1901, Lebedev, Nichols e Hull confirmam

experimentalmente os resultados previstos por Boltzmann, e Wien divulga sua expressão para a variação da massa com a velocidade:

$$m = \frac{1}{v} \frac{dw}{dv} = \frac{2}{3} \frac{e^2}{Rc^2} \left(1 + \frac{10}{12} \frac{v^2}{c^2}\right). \text{(Martins 1989)}$$

Em 1902, Abraham propõe um modelo para calcular as variações

transversais e longitudinais da massa. (Martins 1989)

Em 1904, Bucherer conclui que os elétrons se contraem pelo

movimento, enquanto Lorentz apresenta uma nova versão, depois considerada correta para a variação da massa com a velocidade. (Martins 1989)

Nesse mesmo ano Hasenöhrle estudando as propriedades entre

massa e energia para uma caixa com radiação acelerada, conclui que tudo se comporta como se a massa fosse maior. Daí chega à expressão:

$$m = \frac{4}{3} \frac{E}{c^2}. \text{(Martins 1989)}$$

Vemos assim que o eletromagnetismo teve uma enorme

importância nos estudos sobre massa e energia que abriram caminho para a proposição de Einstein em 1905. Isso é discutido por Jammer (1961), que afirma que o eletromagnetismo muda o significado da massa dentro da física.

Para o paradigma newtoniano um corpo físico é primeiramente tudo o que é com base em sua natureza intrínseca, invariável e permanente onde a massa é sua expressão física e a massa inercial sua medida quantitativa. O eletromagnetismo coloca o campo como sede da energia e não mais o corpo físico. A matéria não é mais o ditador dos eventos físicos, e julgar que a massa inercial é a medida da quantidade de matéria perde todo o sentido. Isso se mostra bem representado na seguinte frase de Jammer : "*... a matéria não faz o que faz porque é o que é, e sim é o que é porque faz o que faz.*" (Jamer, 1961, p.153)

Diante desse cenário podemos finalmente passar à figura de Einstein.

## **4.2. Einstein e a relação massa energia**

### **4.2.1. Dois artigos em 1905**

Segundo Stachel (2001), o trabalho de Einstein sobre a relatividade brotou de seu interesse pela termodinâmica e pela óptica. Na época, ele estava supostamente familiarizado com o princípio de relatividade da mecânica. Supõe-se, também, que tivesse o conhecimento dos trabalhos de Maxwell e Hertz e que já por volta de 1899 tivesse idéias semelhantes às de Lorentz, apesar de não haver evidência de que ele houvesse, efetivamente, lido os trabalhos de Lorentz. As evidências apontam que em 1902 Einstein já teria tido

contado com os trabalhos de Drude, Helmholtz , Hertz, Lorentz, Voight, Wien e Flopl.

O primeiro artigo de Einstein apresenta uma nova cinemática consistente com a eletrodinâmica de corpos em movimento. Ele começa comentando a teoria eletrodinâmica de Maxwell e apresentando, por meio de um exemplo, a conjectura da não existência de um referencial absoluto. Usa ainda como argumento as tentativas mal sucedidas de detectar o éter luminífero.

O artigo começa fazendo uma discussão e apresentando um conceito de simultaneidade baseado em exemplos detalhados. Em seguida são apresentados os dois postulados que irão sustentar a teoria.

Dos postulados seguem as noções das transformações relativísticas apresentando novas noções de tempo e espaço. Em seguida aparecem as transformações de coordenadas relativísticas. Na seção que sucede, são discutidas as implicações físicas de tais transformações: a dilatação do tempo e a contração de corpos rígidos.

Na seqüência aparece como ficam as transformações de velocidades entre sistemas, segundo a teoria apresentada, e as conseqüências disso para as equações de Maxwell-Hertz e suas forças. Ainda discute as conseqüências para o Efeito Doppler.

É em outra seção que Einstein comenta as transformações apresentadas para a luz, discutindo como ficam a energia e a freqüência, também para outras radiações em espelhos perfeitos. Ainda comenta os efeitos para as equações de Maxwell-Hertz considerando correntes de convecção.

Por fim apresenta e discute em detalhes a dinâmica do elétron e

suas variações de massa (longitudinal e transversal), generalizando, em seguida, essas variações para qualquer ponto material ponderável. Dessa seção resulta a expressão da energia extraída de um campo eletrostático. Einstein ainda apresenta em tópicos as considerações finais sobre o movimento do elétron.

O artigo seguinte intitulado “A inércia de um corpo depende de seu conteúdo de energia?” tem o intuito de explorar melhor a relação que aparece como produto da sua eletrodinâmica, a respeito da relação entre a massa e a energia.

Para tanto ele lança mão de uma discussão sobre a energia de um sistema de ondas planas, sujeito às transformações sugeridas em seu artigo anterior. Fazendo algumas manipulações chega à conclusão de que um corpo emitindo certa energia tem sua massa decrescida numa razão proporcional ao inverso da velocidade da luz ao quadrado. É possível extrair do fim do texto as seguintes palavras: *“Se um corpo libera a energia  $E$  na forma de radiação sua massa é diminuída em  $E/c^2$  (...) a massa de um corpo é uma medida de seu conteúdo de energia (...) a radiação transporta inércia entre os corpos que a emitem e a absorvem”*. (Einstein 1905 apud Stachel, 2001, p. 186).

Em suas conclusões, Einstein deixa a entender que a massa inercial está associada com todas as formas de energia. Porém, efetivamente estabelece o resultado apenas para a emissão de radiação eletromagnética. Em 1906 e 1907 ele tenta fornecer elementos mais gerais a favor da equivalência completa, mas não obtém a generalidade total que aspirava (Stachel 2001).

#### 4.2.2. Outras considerações do próprio Einstein

Para enriquecer a reflexão que faremos na seqüência deste trabalho, gostaríamos de aqui acrescentar ainda algumas considerações do próprio Einstein.

Sobre a formulação da teoria da relatividade e a formulação de  $E=mc^2$ :

*“A teoria da relatividade nasceu da necessidade, de contradições sérias e profundas na velha teoria, para as quais não parecia ter saída. A força da nova teoria está na consistência e simplicidade com que resolve todas as dificuldades, usando apenas umas poucas suposições muito convincentes.” (Einstein e Infeld, 1966, p.158) [Original de 1938]*

*“Após dez anos de estudo, o princípio surgiu, resultado de um paradoxo com o qual me defrontara quando tinha dezesseis anos: se um raio luminoso for perseguido a uma velocidade  $c$  (velocidade da luz no vácuo), observamos esse raio de luz como um campo eletromagnético em repouso embora com oscilação espacial. Entretanto, aparentemente não existe tal coisa, quer com base na experiência, quer de acordo com as equações de Maxwell. Desde o início tive a intuição clara de que, segundo o ponto de vista desse observador, tudo devia acontecer de acordo com as mesmas leis aplicáveis a um observador que estivesse em repouso em relação à terra. Pois, como poderia o primeiro observador saber ou determinar que está em estado de movimento rápido uniforme?” (Einstein, 1982, p.55,) [Original de 1946]*

Sobre a sua atividade científica:

*“Cem vezes por dia, eu relembro a mim mesmo que minhas vidas interiores e exteriores são baseadas nos trabalhos de outras pessoas vivas e mortas. Relembro-me também que preciso me esforçar para dar na mesma medida em que recebi e continuo recebendo.” (Einstein apud Calaprice 1998, p.38) [Original de 1930]*

Sobre a investigação do mundo:

*“Aos quatro ou cinco anos experimentei esse sentimento [pensamento de estranheza], quando meu pai mostrou-me uma bússola... Me lembro que essa experiência causou-me uma impressão profunda e duradoura. Devia haver algo escondido nas profundezas das coisas...” (Einstein 1982, p.18) [Original de 1946]*

*“Além de mim, fora de mim, estava um mundo imenso, que existe independente dos seres humanos e que se apresenta a nós como um enorme e eterno enigma, em parte acessível à nossa observação e ao nosso pensamento.” (Einstein 1982, p.15) [Original de 1946]*

Sobre Ciência e Sociedade:

*“Há duas maneiras da Ciência afetar as atividades humanas. A primeira todos conhecem... a Ciência produz formas de ajuda que vem transformando completamente a existência humana. A segunda maneira tem caráter educativo – trabalha sobre a mente. Embora possa parecer menos óbvia num exame superficial, não é menos incisiva que a primeira. O efeito prático mais evidente da Ciência é que torna possível a invenção de coisas que enriquecem a vida, embora ao mesmo tempo a compliquem.” (Einstein apud Mário Schenberg, 1983, p. 118) [Original de 1935/1936]*

#### **4.3. A comunidade científica e $E=mc^2$**

Algum tempo depois da publicação do artigo, Einstein recebeu uma carta de Planck pedindo esclarecimentos sobre ele. Os dois se corresponderam durante o outono de 1905. Foi o próprio Planck que, por meio de vários artigos, desenvolveu mais conseqüências do princípio da relatividade. Isso chamou atenção da comunidade científica para a teoria. (Stachel 2001)

Em seguida, Kaufmann fez uma citação do artigo em seu trabalho sobre a massa dos elétrons nos raios  $\beta$ . Também foi ele quem fez a primeira distinção teórica clara sobre as bases da teoria de Einstein e de Lorentz. Drude citou Einstein em seu trabalho sobre óptica e Roentgen pediu cópia de seus trabalhos para proferir uma palestra sobre as equações do movimento do elétron.



Alguns dos ouvintes da palestra ficaram impressionados. (Stachel 2001)

Em 1907, Einstein se correspondia com Planck, Laue, Wien e Minkowski. Nesse mesmo ano Planck, havia estendido a validade da relação para a termodinâmica e para a mecânica. (Ostermann, 2004)

Por volta de 1908 a teoria era amplamente discutida na língua alemã, compreendida essencialmente como uma outra versão da teoria do elétron de Lorentz. Nesse sentido, o próprio Einstein tentava destacar que sua teoria não era um sistema fechado, mas sim um princípio heurístico e que poderia estabelecer relações entre leis, que seriam independentes de outro modo. (Stachel 2001)

A respeito de seu outro artigo, o que discutia as relações entre a massa e a energia, o argumento utilizado por Einstein foi criticado por Planck, em 1907, quando o mesmo oferecia uma outra argumentação a partir das transferências de calor. (Stachel 2001)

A descoberta da relação massa energia foi inclusive, de forma equivocada, atribuída ao próprio Planck e depois reiterada a Einstein por Stark. (Stachel 2001)

Foram os experimentos com raios  $\beta$  de Kaufmann que trariam alguma perspectiva de confirmação experimental. Em 1905, ele afirmou que seus resultados não eram compatíveis com as previsões sobre a massa energia de Lorentz e Einstein. Esse fato desencorajou Lorentz de aprofundar seus estudos. Porém, Planck, analisando cuidadosamente a experiência, concluiu que esta não poderia ser considerada a refutação definitiva, pois não se tratava de

observações tão acuradas. As previsões favoreciam as teorias de Abraham e Bucherer, porém o próprio Einstein foi cauteloso ao observar as hipóteses fundamentais do experimento. (Stachel 2001)

Em 1909, Tolman e Lewis foram responsáveis pela modificação do momentum newtoniano. O mesmo Tolman que, em 1912, irá dar uma interpretação à massa relativística. (Ostermann 2004)

Entre 1911 e 1912, Laue obtém generalizações mecânicas a partir da relação de Thomson para o momento eletromagnético (Martins 2005). Ainda em 1912, Lorentz apresenta uma formulação mais clara e coerente.

Segundo Stachel é apenas em 1916 que os resultados de Guyle e Lavanchy apareceram como indícios experimentais favoráveis às previsões relativísticas que, a partir daí, foram aceitas de forma mais geral.

Na tabela 1 temos um quadro histórico que sistematiza os principais momentos históricos discutidos até aqui, divididos nas áreas da física em que predominavam<sup>6</sup>.

Eletromagnetismo e Óptica	Termodinâmica	Mecânica
<b>1873 – Maxwell</b> Previsão teórica de que as ondas deveriam exercer pressão sobre os corpos que absorvem radiação. <sup>(1)(2)</sup>	<b>1876 – Bartoli</b> Deduz que a luz deve exercer uma pressão de radiação sobre uma superfície refletora <sup>(1)(2)</sup>	
<b>1881 – Tomson e Fitzgerald</b> Energia da carga elétrica em movimento <sup>(1)</sup> $W = \frac{e^2 v^2}{3ac^2}$		

<sup>6</sup> As informações da tabela são retiradas das seguintes fontes:

- (1) Martins, Roberto. A Relação massa-energia e energia potencial. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 6, págs 56-80, jun 1989.
- (2) Martins, Roberto. Física e História. *Revista Ciência e Cultura*; vol.57 n 3, p.25-31. jul set São Paulo 2005.
- (3) Ostermann, Fernanda. Relatividade restrita no ensino médio: Os conceitos de massa relativística e de equivalência massa energia em livros didáticos de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 21, págs 83-102, abril 2004.

Eletrromagnetismo e Óptica	Termodinâmica	Mecânica
<b>1884 – Boltzmann</b> Usando elementos da teoria eletromagnética, aperfeiçoa e generaliza os argumentos da teoria de Bartoli <sup>(2)</sup>		
<b>1889 – Heaviside</b> Equações mais exatas a cerca da massa de elétrons em movimento usando o cálculo de operadores <sup>(1)</sup>	<b>1901 – Lorentz</b> Momento da Radiação na cavidade <sup>(2)</sup> $p = \frac{2\mu_0 e^2}{2a} v$	
<b>1893 – J. Thomson</b> Define a densidade de momentum do campo eletromagnético <sup>(2)</sup> $\vec{g} = \frac{\vec{S}}{c^2}$	<b>1904 – Hasenohrl</b> Estuda as propriedades entre massa e energia para caixa com radiação acelerada. Tudo se comporta como se a massa fosse maior. Chega à expressão: <sup>(1)(2)</sup> $m = \frac{4}{3} \frac{E}{c^2}$	
<b>1895 – Larmor</b> Toda a matéria é constituída apenas por cargas, sendo toda a inércia de um corpo de origem eletromagnética <sup>(1)</sup>	<b>1907 – Planck</b> Trabalhos que vêm a estender a relatividade para a mecânica e a termodinâmica <sup>(3)</sup>	
<b>1896 – Searle</b> Definição de uma massa eletromagnética adicional em função da massa do elétron. <sup>(1)</sup> $W = \frac{e^2 c^2}{2R} \left( \frac{c}{v} \log \frac{c+v}{c-v} - 1 \right)$		<b>1909 - Tolman e Lewis</b> Modificação do momentum Newtoniano <sup>(#)</sup>
<b>1897 – Thomson e Searle</b> Concluem que é impossível acelerar uma carga até a velocidade da luz. <sup>(1)</sup>		<b>1911 1912 – Laue</b> Obtem as generalizações a partir da relação de Tompson <sup>(2)</sup>
<b>1897 e 1898 – Thomson e Lenard</b> Fazem as experiências de raios catódicos e radiação de alta energia. Resultados confirmam de forma satisfatória as previsões de Thomson <sup>(1)</sup>		<b>1912 – Tolman</b> Interpretação da massa relativística <sup>(3)</sup>
<b>1898 – Lenard</b> Faz medidas de e/m para raios com velocidade até $c/3$ <sup>(2)</sup>		<b>1912 – Lorentz</b> Formulação mais geral, clara e coerente <sup>(2)</sup>
<b>1900 – Poincaré</b> Propõem a relação da massa energia para radiação livre <sup>(2)</sup> $\rho = \frac{\mathcal{E}}{c^2}$		
<b>1901 – Kaufmann</b> Experimentos com raios beta detectam a variação da massa do elétron. <sup>(2)</sup>		
<b>1901 – Lebedev, Nichols e Hull</b> Confirmação experimental dos resultados previstos por Boltzmann <sup>(1)</sup>		
<b>1901 – Wien</b> Variação da massa com a velocidade <sup>(2)</sup> $m = \frac{1}{v} \frac{dw}{dv} = \frac{2}{3} \frac{e^2}{Rc^2} \left( 1 + \frac{10}{12} \frac{v^2}{c^2} \right)$		
<b>1902 – Abraham</b> Modelo para calcular as variações transversais e longitudinais da massa <sup>(1)</sup>		
<b>1904 – Bucherer</b> Elétron que se contrai pelo movimento <sup>(1)</sup>		
<b>1904 – Lorentz</b> Equação "correta" para a variação da massa com a velocidade <sup>(2)</sup>		

Eletromagnetismo e Óptica	Termodinâmica	Mecânica
<p><b>1905 – Einstein</b>  Publicação dos artigos, entre os quais o que introduziu o que chamamos hoje de relatividade. Aparece como consequência o fato de que a luz deve transportar momentum pela relação:  <math>K = mc^2(\gamma - 1)</math>  Em seguida publica outro artigo no qual discute e chega efetivamente na relação correspondente à<sup>(3)</sup>:  <math>E_0 = mc^2</math></p>		

Tabela 1 – quadro histórico

#### 4.4. $E=mc^2$ e a física nuclear

Podemos ver nos textos didáticos que uma área na qual a relação híbrida massa energia<sup>7</sup> aparece com frequência é a física nuclear.

Foi Marie Curie quem batizou de radioatividade os fenômenos observados por Becquerel. Ele observou a emissão espontânea de radiação por sais de urânio. Em 1900, Marie e Pierre Curie apresentam uma comunicação em Paris intitulada "As novas substâncias radioativas e os raios que emitem". Nesse trabalho falam sobre a natureza química da substância e seus espectros ópticos. Apresentam, como o grande problema ainda não resolvido, a origem da energia emitida e a natureza das radiações (Segrè, 1987).

Por volta de 1907, a origem da energia dessas radiações ainda continuava a ser um dos grandes mistérios nesta área. Rutherford, juntamente com os Curie, mediu essa energia e chegou a valores elevados (Segrè, 1987).

Vemos claramente as dificuldades que esses físicos experimentais encontravam por não estarem embasados sobre uma teoria sólida. A teoria da estrutura atômica estava engatinhando junto com a teoria quântica.

Segundo Arruda e Villani (1996), a equação  $E=mc^2$  é a primeira

<sup>7</sup> Menezes (2005, p.30 e 131) trata massa-energia como conceito "híbrido" e "quase que um conceito novo".

aplicação da relatividade a um processo quântico. Isso porque em 1909 na conferência de Salzburg, Einstein deduz a expressão simplesmente considerando a emissão da radiação numa terminologia mais compatível com a teoria emissiva.

Pela teoria da relatividade, com o aumento da velocidade a massa aumenta. Mas a associação desse conceito com a quantidade de matéria, segundo Jammer (1961), é um processo distinto, assim como o é na teoria eletromagnética da matéria.

Ainda segundo esse mesmo autor, em 1913, Paul Langevin aplica pela primeira vez a relação massa energia na física nuclear, em sua explicação para a derivação dos números inteiros do peso atômico. Lenz, Sommerfeld e Smeakal foram os primeiros a entender a importância geral dessa relação na física nuclear.

Segrè menciona que, em 1917, a emissão da luz já não era considerada do ponto de vista maxweliano. Einstein, em um artigo publicado no mesmo ano, usa para a radiação eletromagnética as mesmas leis estatísticas que se aplicam ao decaimento radioativo. A teoria do átomo de Bohr já existia então, mas o mecanismo de emissão de luz a partir do átomo continuava a ser um mistério.

Por volta de 1913, J.J. Thomson abre caminho para a espectroscopia de massa que foi muito aperfeiçoada por F.W. Aston que, por volta de 1919, propôs que os pesos relativos eram números inteiros tomando-se  $1/16$  de  $O^{16}$  prótons e elétrons<sup>8</sup>. Nesse modelo, os prótons conferiam a massa e os elétrons ajustavam a carga, por serem muito mais leves e não alterarem a

---

<sup>8</sup> Nesse modelo prótons e elétrons existem no núcleo do átomo

massa nuclear. Aqui, as divergências ordinárias da regra do número inteiro já são interpretadas como a perda de massa que ocorre quando partículas livres se unem, segundo a lei  $E=mc^2$ . Para Aston, o valor parcial das massas se deve à energia de coesão nuclear. Na verdade esse fato se deve principalmente às misturas isotrópicas de que são feitos os elementos químicos.

O aperfeiçoamento da técnica da espectroscopia de raio X deu base para o estudo da estrutura de sólidos e moléculas. As medições precisas de massa, unidas a  $E=mc^2$ , proporcionam dados sobre a energia liberada ou absorvida em reações nucleares.

A partir daí os estudos sobre as radiações emitidas pelo núcleo, a radiação gama e o decaimento beta, trouxeram conflitos sobre a conservação da energia. A redução do peso na formação do núcleo era chamada de "defeito de massa". Ainda para fechar o balanço energético na emissão de partículas foi preciso introduzir o nêutron e o neutrino, por Chadwick e Pauli, respectivamente.

A descoberta do pósitron se seguiu após ter sido previsto por Dirac, em 1930, na primeira fusão da relatividade com a mecânica quântica. Fermi foi um dos principais responsáveis pela descoberta do nêutron lento, que seria de grande importância na construção da reação em cadeia.

Jammer menciona que Bainbride, em 1933, discute em detalhes o meio para conseguir a precisão das prematuras medidas quantitativas das reações nucleares, confirmando a relação massa energia. O autor ainda atribui a resposta final a Blackett e Occhialini no seu famoso experimento de produção e aniquilação de pares. Em 1934, Klemperer demonstra que 1 pósitron e 1 elétron podem se aniquilar produzindo  $2m_0c^2$  (=106 eV).

## **CAPÍTULO 5**

### **Filosofando ou sociologizando?**

“If you want to know  
about ornithology, don't ask birds.”

Feynman

Na seqüência deste trabalho vamos olhar para “o pouco de história” tratado no capítulo anterior à luz da obra de Bruno Latour, influente sociólogo estudioso da ciência. No limite entre as concepções filosóficas e sociológicas da ciência, entre o realismo e o construtivismo e outros conflitos evidenciados por Latour, tentaremos explicitar o que seria a “fabricação” da equação da relação massa energia.

A sociologia da ciência é um campo de estudos bastante amplo que muitas vezes vem batizado de diversas maneiras, como por exemplo “estudos sociais da ciência” e “antropologia da ciência” (Stengers, 2002, p.11). Inicialmente os estudos dessa natureza se limitavam a analisar os impactos da ciência na sociedade e também a relação do entorno social com o desenvolvimento de certas áreas da ciência em determinadas épocas. Isso levou

a analisar como a política, a religião e a situação econômica de uma dada sociedade influem na prática científica da mesma.

Podemos situar a origem desse tipo de investigação em diferentes momentos da história. Um desses momentos poderia ser aquele quando surge o livro “The social function of science”, em 1939, do físico John D. Bernal, motivado pela preocupação por ele demonstrada dos usos que a ciência teria na previsível segunda guerra mundial.

O recorte da sociologia que usaremos neste trabalho se aproxima mais de uma tendência que surgiu apenas a partir da década de 70, o chamado Programa Forte da Sociologia, que se propunha defender o estudo sociológico dos conteúdos científicos. O olhar que esse programa traz é responsável pela ruptura do limite sociologia/filosofia (Palácios 1994). Isso ocorre quando os conhecimentos do campo da sociologia são utilizados em estudos que penetram o conhecimento científico em si, uma área que era geralmente restrita aos estudos filosóficos. Segue a descrição feita por Palácios do olhar de um sociólogo da ciência que identifica o Programa Forte:

“O sociólogo deve investigar o conhecimento científico, do mesmo modo que formula e desenvolve hipóteses para explicar as origens sociais das ideologias políticas ou as raízes das crenças religiosas. Neste movimento, são revisitados os clássicos da sociologia do conhecimento e procura-se estender as indagações e métodos à análise da ciência.” (Palácios 1994, p. 177)

Uma das principais críticas ao Programa Forte da Sociologia da Ciência se refere à indeterminação do que seriam as variáveis sociais. Algumas causas sociais, como o interesse, na qual é difícil delimitar o que é individual e o que é coletivo, são questionadas por abalar as pretensões iniciais do Programa



Forte (Palácios 1994).

Numa linha de investigação intermediária, Piaget e Garcia, no livro “Psicogênese e História da Ciência”, introduzem o termo “sociogênese do conhecimento”. A sociogênese está ligada à negociação entre indivíduos que possuem um “quadro epistêmico”. Para esses autores certas escolhas do indivíduo estão impregnadas de ideologia, que é traduzida por um quadro epistêmico. E nele é impossível dissociar as contribuições sociais das cognitivas. Isso fica evidente no seguinte trecho desse livro:

“Uma vez constituído um determinado quadro epistêmico, torna-se impossível dissociar a contribuição proveniente da componente social daquela que é intrínseca ao sistema cognitivo. Assim constituído, o quadro epistêmico começa a atuar como uma ideologia que condiciona o desenvolvimento posterior da ciência.” (Piaget e Garcia, 1987, p. 234)

Talvez a análise que estamos aqui propondo, a respeito da relação massa energia, se aproxime um pouco da sociogênese do conhecimento, mas não entraremos especificamente no mérito da questão conhecimento cognitivo versus componente social. Mesmo assim é pertinente citar uma das considerações finais do artigo de Palácios (1994):

“O fato de um rato de laboratório aprender sozinho o caminho que leva ao alimento constitui, por certo, um exemplo de conhecimento em que não houve qualquer intervenção de qualquer causa social. Bloor<sup>9</sup> adverte que subterfúgio nenhum seria admissível com o objetivo de não reconhecer possibilidades semelhantes para o ser humano, as quais seriam certamente superiores às do rato. No entanto, o conhecimento que é objeto da sociologia não deve ser concebido com referência a situações limite desse tipo, que possuem interesse, por exemplo, para as pesquisas de inteligência artificial. Para a sociologia do conhecimento, importam os casos paradigmáticos do conhecimento humano,

---

<sup>9</sup> David Bloor é citado diversas vezes por Palácios ao longo do artigo. BLOOR, David, (1976) Knowledge and Social Imagery. Londres: Routledge.

entre os quais, certamente, devem ser incluídos o senso comum da atividade cotidiana e o conhecimento científico. Em ambos os casos estaríamos lidando com instituições sociais” (Palácios, 1994, p. 198)

Uma das críticas pertinente aos estudos que se identificam com o Programa Forte da Sociologia está relacionada com uma certa falta de consistência desses estudos do ponto de vista filosófico. Analisando o caso do próprio Bruno Latour, talvez sua obra, se submetida a uma meta-análise, se contradiga enquanto teoria filosófica. Não consideramos, porém, que esse tipo de análise tenha algum impacto sobre o uso que aqui fazemos da obra de Latour. Não é nosso interesse aqui argumentar nesse sentido, nem entrar no mérito dessa discussão. Também não pretendemos nos posicionar claramente entre o relativismo e o realismo, do ponto de vista puramente epistemológico, embora essa polêmica permeie este capítulo.

Centramo-nos mais nas obras “A esperança de Pandora” e “Ciência em Ação”, duas publicações mais recentes, nas quais o autor recua um pouco em sua postura construtivista, respondendo a muitas críticas que recebeu por “Vida de Laboratório”. Julgamos que alguns conceitos propostos, como a caixa preta, por exemplo, são extremamente interessantes para o caso da análise da equação  $E = mc^2$ . Além disso, acreditamos que conseguimos corroborar com sua obra, uma visão de ciência que consideramos adequada ao tipo de ensino que estamos propondo, que leve à problematização do saber, como indicamos no capítulo 1.

Barros (1998) classifica Latour como um relativista extremamente radical. A principal crítica de Barros é quanto ao possível uso de posturas

relativistas no ensino de ciências. Para ele, adotar uma postura relativista no ensino de física, não é adequado. Os argumentos trazidos por ele são bem semelhantes aos discutidos na seção 2.2 do capítulo 2. Nessa mesma seção argumentamos porque não compactuamos com esse tipo de visão. O trabalho de Bruno Latour, principalmente a obra “Vida de Laboratório”, tem muitas características do Programa Forte da Sociologia, porém suas obras mais recentes, e efetivamente utilizadas neste trabalho, procuram responder a muitas delas. Assim não o classificamos como tendo uma postura relativista extremamente radical.

Contrapondo a leitura que Barros (1998) faz da obra de Latour traremos, por exemplo, a visão de Videira (2006) que menciona Latour como um dos representantes dos *Science Studies* mais conhecido na França:

“Algumas de suas características mais marcantes, além daquelas mencionadas acima, são: a) adoção de um moderado relativismo metodológico, o que permitiria evitar o comprometimento com a teoria científica em análise; b) defesa de um realismo moderado, **pois se aceita o construtivismo, ainda que não social**; c) a biografia científica pode ajudar a esclarecer os processos de formação e transmissão do conhecimento científico; d) o conhecimento é produzido localmente, ou seja, em espaços e tempos específicos, sempre através das ações de sujeitos; e) em seu local de formação, o conhecimento não é válido universalmente; sua universalidade é construída durante o processo de transmissão e recepção em outros locais; f) não existe método científico universal.” (Videira, 2006, p.37, grifos nossos)

Como já foi afirmado anteriormente acreditamos que qualquer conhecimento deve ser problematizado. Não cremos que o uso de posturas, como a trazida pela obra de Bruno Latour, no ensino de ciências, seja prejudicial. Ressaltamos que nossa proposta é a de problematizar a realidade apresentando

aos alunos elementos de posturas não realistas. Doutrinar uma postura relativista, por exemplo, seria, a nosso ver, tão “anti-freiriano”, quanto afirmar a existência de uma realidade imutável, externa e determinada.

Na perspectiva da sociologia da ciência, que procura enxergar a prática científica como ela é, tentaremos propor uma reflexão acerca da ação criativa do cientista e do papel do mundo exterior, por meio da história da ciência no aparecimento de uma nova "entidade" física.

Na obra “Esperança de Pandora”, Bruno Latour propõe uma discussão sobre o que é a realidade, argumentando sobre o limite entre realismo e anti-realismo, entre a objetividade e a subjetividade, e nos embates entre os sociólogos, os filósofos e os cientistas, no que ele denomina Guerra das Ciências.

O conflito entre a cultura científica e a não científica se dá na concepção de que a ciência só se torna pura depois que se livra de todas as contaminações da subjetividade e da política. Formam-se então os dois lados de um abismo cultural.

O conflito realista e anti-realista se dá na relação que existe entre sujeito e objeto. Nessa interface, procurando construir uma ponte para o abismo cultural citado acima, fica estabelecida a existência tanto de uma história social das coisas<sup>10</sup> quanto de uma história coisificada dos humanos.

Na obra "Ciência em Ação" (Latour, 2000), a história das coisas é narrada através de um olhar para a história da ciência, onde humanos criam coisas que ganham cada vez um grau maior de verdade tornando-se "caixas-

---

<sup>10</sup> Latour dá ao termo coisa um sentido diferente do usual (que seria a perspectiva realista). Na linguagem realista a coisa à que Latour se refere é a coisa interpretada pelos humanos.

pretas".

Há também, na obra de Latour, uma importante diferenciação entre Ciência e Pesquisa. A primeira agindo como se fosse desvinculada do coletivo, certa, fria e objetiva. Já a pesquisa não tem as mesmas características. Além de conectada indiscutivelmente com a sociedade (depende de financiamentos, instrumentos, credibilidade), é aberta e incerta. Usando as expressões humanos e não humanos a fim de evitar o par sujeito objeto, Latour define:

*“Se a Ciência prospera agindo como se fosse desvinculada do coletivo, a pesquisa é vista antes progressiva como uma experimentação coletiva daquilo que humanos e não humanos juntos podem suportar.” (Latour, 2001,p 34).*

## 5.1. Um pouco de “filosociologia”

Segue aqui uma breve descrição de alguns conceitos definidos por Latour, que tentaremos estender ao tema da massa energia.

### 5.1.1. A referência circulante

No conceito de Referência Circulante está a proposta de Latour de preencher a lacuna que existe entre o mundo e a linguagem. Ao tentar encontrar o mecanismo de correspondência entre as coisas e as palavras existe um hiato, que a referência tentará cobrir (fig. 5).

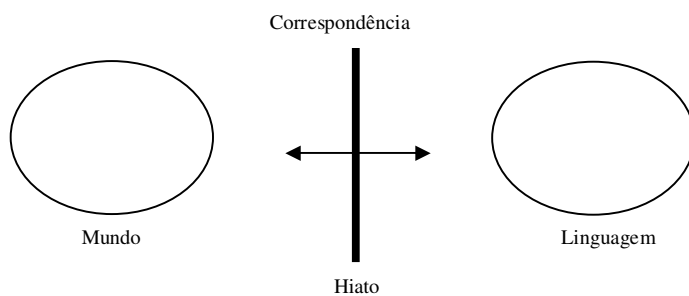


Fig 5

Esse mecanismo consiste em uma cadeia que compreende uma série de transformações, onde cada fragmento é um pequeno hiato entre matéria e forma (fig 6). A cadeia pode ser percorrida nos dois sentidos, visto a necessidade de transitar entre o referente e o referido (fig 7). Em cada etapa há um operador comum que pertence à matéria em um extremo e a forma no outro.

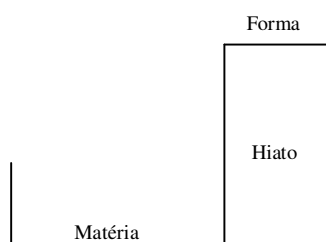


Fig 6 – elemento de representação

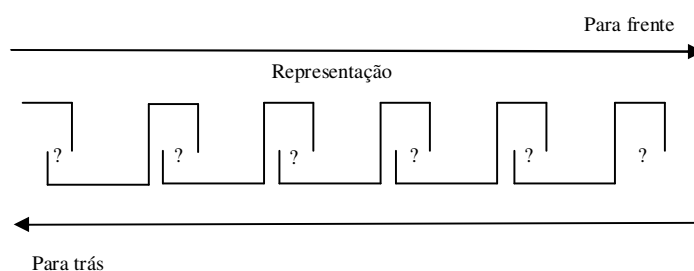


Fig. 7 – Cadeia de Elementos

Em cada passo da cadeia há um ganho e uma perda de informação. Para exemplificar olhemos para o caso no qual Latour ilustra o conceito de referência circulante, na obra “A Esperança de Pandora”.

Latour acompanha uma equipe de pesquisadores que investiga o espaço de transição entre a floresta e a savana na floresta amazônica, exemplificando o que ele caracteriza como etapas da referência circulante. Uma botânica brasileira e um pedólogo francês cada qual na sua área de atuação,

executam os procedimentos que iriam lhes permitir uma análise conclusiva sobre uma mudança da floresta.

A cientista botânica colhe amostras de vários tipos de vegetação, que irá dessecar, classificar, comparar e analisar em meio a um banco de dados contendo milhares de outras espécies. Cada etapa do procedimento é uma etapa da referência circulante. Em cada uma delas algumas informações são perdidas e outras são ganhas. A sucessão destas etapas constitui a distância entre o mundo (a planta intocada na floresta) e a linguagem (um conjunto de dados sistematizados que representam a floresta em uma folha de papel bidimensional usando algum tipo de codificação própria da área de conhecimento).

O mesmo pode ser descrito a partir da atividade dos pedólogos franceses. Fazendo mapeamento da área com auxílio de equipamentos próprios, recolhendo amostras do solo e fazendo medidas de profundidade que irão, várias etapas depois, se transformar em um mapa embebido de códigos e números que representam a floresta, eles constroem sua ciência.

Esse processo de sistematização é imprescindível para permitir ao cientista visualizar a resposta que ele procura. Embrenhado na imensidão da floresta jamais conseguiria ir à fundo nos processos que deseja investigar. É necessário, também, que a referência permita um caminho de volta no acesso à realidade, caso um novo estudo seja necessário.

Assim a referência circulante não estabelece as extremidades entre o mundo e a linguagem, mas descreve essa conexão através de uma seqüência de mediações, o que permite a aproximação que se queira, dependendo da relação entre o ganho e a perda de informação em cada etapa, e

o objetivo de quem a manipula.

Do nosso ponto de vista essa análise proposta por Latour não se assemelha com as posturas que reduzem a ciência à linguagem. Em vários momentos Latour enfatiza que a existência de um caminho de acesso à realidade que possa ser percorrido quantas vezes se queira é uma condição imprescindível. Existe sim um mundo sem o qual a linguagem não faria sentido, porém não temos claro qual é o ponto exato em que se situa a conexão linguagem-mundo, pois a cadeia não tem limites em nenhum dos extremos.

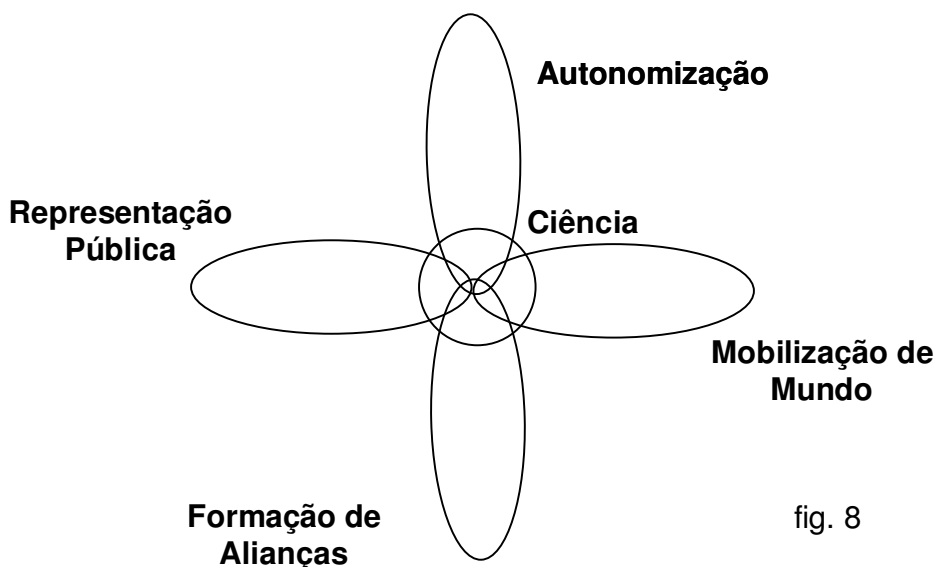
### **5.1.2. ‘Verdades Tácitas’ da Ciência**

Da pesquisa à ciência, uma ‘descoberta’ percorre um caminho. Os conceitos que hoje são praticamente conceitos tácitos entre especialistas de determinada área já foram conversas trepidantes na boca de outros cientistas. Para entender como se dá essa mudança progressiva, *onde humanos falando uns com os outros discorrem sobre as coisas com grau de verdade cada vez maior*, é preciso transitar entre fatores sociais (história externalista) e puramente epistemológicos (história internalista). Cabe aqui reproduzir um esquema de Bruno Latour onde ele sumariza sua compreensão da circulação conceitual envolvendo atores humanos e não humanos.

No processo que Latour chama de sistema circulatório de fatos científicos há a representação de cinco tipos de atividades ou circuitos necessários à existência da atividade científica. Primeiramente os instrumentos (mobilização do mundo), depois os colegas (autonomização), a formação de alianças e a representação pública. O quinto circuito representa a “ciência”



propriamente dita, localizada no centro de tudo isso onde estabelece vínculos e nós com todos esses elementos humanos e não humanos (fig.8). Nessa visão, uma separação entre história externalista e história internalista se mostra uma descrição incompleta.



A mobilização de mundo é uma questão que se dirige ao mundo. Isso implica torná-lo móvel, trazê-lo para o local da controvérsia, mantê-lo empenhado e fazê-lo suscetível de argumentação. É aqui que entra claramente o papel de uma tradição de pesquisa.

Ao invés de girar em torno dos objetos, os cientistas fazem os objetos girarem em torno deles. (Kant apud Latour 2001, p.119)

A autonomização é o meio pelo qual um grupo de pessoas se torna independente e engendra seus próprios critérios de avaliação e relevância. São os colegas que, se capazes de criticar e ao mesmo tempo utilizar os critérios, garantem o sucesso da pesquisa. Um especialista isolado é um paradoxo, ninguém pode se especializar sem a autonomização simultânea de um pequeno

grupo de pares. É preciso haver organizações, recursos, estatutos e regulamentos para manter juntas as massas de colegas.

São as alianças com grupos inicialmente distantes das pesquisas que se constituem em condições e instituições que oferecem “guarita” à realidade da pesquisa. As habilidades requeridas para atrair interesse alheio são distintas das requeridas para manusear instrumentos e conquistar colegas. Grupos grandes, ricos e competentes precisam ser mobilizados para que o trabalho científico se desenvolva em qualquer escala.

E por fim, a representação pública permite o fluxo puro das informações científicas com o mundo exterior das pessoas comuns. Esse circuito não é marginal aos outros pois também influi nas pesquisas científicas, quanto à distribuição de recursos e políticas empregadas. Aqui também podemos mencionar as polêmicas de natureza ética, que podem alterar de alguma forma o interior do mundo das pesquisas.

Como exemplo de aplicação desses circuitos propostos por Latour é conveniente mencionar resumidamente a análise que ele faz do planejamento de Frédéric Joliot, efetuado na época da segunda guerra mundial, para a construção de um reator atômico. A mobilização de mundo é dada por meio de instrumentos e equipamentos utilizados pela física nuclear de então. A autonomização se dá no intercâmbio que Joliot faz com seus colegas físicos e técnicos de laboratório. As alianças óbvias naquele período de conflito iminente envolvendo a França e demais países europeus, se dariam prioritariamente com as autoridades governamentais interessadas na possibilidade de desenvolvimento da bomba atômica. A representação pública, naquilo que fosse

possível, se daria por meio de divulgação restrita e ampla. E, finalmente, o núcleo do modelo representado pelo circuito que traz os vínculos e nós da construção do conceito pode ser compreendido por estas palavras de Latour:

“Um conceito não se torna científico por estar distanciado daquilo que ele envolve, mas porque se liga mais estreitamente a um repertório bem maior de recursos.” (Latour, 2001, p. 127)

### **5.1.3. Humanos e não humanos no conflito entre construção e realidade**

Embora partamos da compreensão de que o conhecimento científico seja fruto do diálogo inteligente que a humanidade tem realizado com a realidade e com o conhecimento elaborado histórica e socialmente, a problematização de Latour nos parece interessante.

Seria a realidade uma construção da mente humana? Essa é a pergunta, reformulada por Latour, que alimenta a guerra entre a concepção realista e a não realista. É preciso então determinar qual é o lugar das entidades descobertas pela ciência (numa concepção realista) ou construídas por ela (ante uma concepção construtivista).

Para Latour a resposta não se posiciona em nenhuma dessas posições extremas. Ao ‘descobrir’ uma substância, um cientista não está apenas achando uma porta para a realidade ainda fechada, nem simplesmente construindo a substância. Na visão apresentada por ele, a responsabilidade não é apenas da substância que se revela da realidade, nem apenas do cientista como uma espécie de criador. Analisando o caso de Pasteur e o seu fermento láctico Latour ilustra esse processo na obra “Esperança de Pandora”.

Latour relata que, na prática experimental de Pasteur, se revelam procedimentos experimentais que ele recebeu inteiramente prontos, de sua tradição de pesquisa. Isso se torna um argumento forte contra o fato de que a “criação do fermento” seja uma ação apenas do Pasteur enquanto humano. Por outro lado, o autor enfatiza que as condições que permitem ao fermento se desenvolver são propiciadas pelas ações de Pasteur, sendo assim ele o “criador do fermento”. A solução da contradição está no fato de admitir que há uma parcela de responsabilidade na existência do fermento, que cabe a Pasteur, e que, criado nas condições propiciadas por ele, o fermento passa a existir como organismo autônomo.

A entidade fermento foi, sem dúvida, concebida no laboratório, embebida das convicções, pretensões e manipulações do cientista. Porém, em certo momento há uma transferência de plano de referência, do plano de Pasteur, para o da entidade autônoma real fermento.

A interação entre o ente humano e o não humano produz novas entidades. Devido a uma série de procedimentos, as entidades não humanas se revelam aos humanos, entendendo que essa interação ocorre no espaço e no tempo, na maioria das vezes não de forma pontual, mas em um intervalo aproximadamente definível.

Quais são os participantes dessa interação? Aí é possível se atribuir quantos humanos e não humanos se queira. O laboratório, o cientista, a entidade, a comunidade científica, as comunidades externas etc. E se esses participantes estão em algum intervalo no espaço tempo, é possível lhes atribuir alguma historicidade?

Sim, historicidade dos humanos e dos não humanos. Geralmente falar sobre a história da ciência é falar das práticas científicas e dos cientistas. A proposta aqui é fazer também uma historicidade das coisas.

Se admitirmos que uma entidade não humana, hoje autônoma, foi criada em determinado lugar do tempo e do espaço por algum humano, onde e em que parte ela andava antes disso? A resposta é simples, mas um bocado estranha. Não andava. Entendamos por entidades os atores humanos e não humanos das interações descritas acima.

Voltando ao exemplo, a pergunta fica formulada como: o fermento existia antes de Pasteur? Não. A resposta é não. O segredo dessa resposta está no conceito de existência relativa.

“Existência relativa significa que acompanhamos as entidades sem as comprimir, enquadrar, espremer e seccionar com as quatro expressões adverbiais “nunca”, “em parte alguma”, “sempre” e “em toda parte”.” (Latour 2001, p.181)

Ressaltamos que aqui Latour se refere ao fermento como um agente não humano, no sentido do que ele chama de coisa em outros momentos. Ver nota de rodapé 10 na p. 76.

Antes da teoria de Pasteur sobre os microrganismos do ar e da contaminação, a teoria de Puchet explicava os mesmos fenômenos por meio da teoria da geração espontânea. Usar as expressões acima significa , hoje, dizer que a geração espontânea **nunca** existiu em **parte alguma** e os fermentos de Pasteur **sempre** existiram em **toda parte**. Assim qualquer historicidade das coisas (entidades não humanas) perde o sentido.

Admitindo a possibilidade de fazer a história das coisas podemos

pensar que as entidades não humanas surgem e se modificam por meio de suas relações com outras entidades. Essas relações podem ser do tipo associações ou substituições. Quanto mais relações uma entidade consegue estabelecer mais ganha realidade.

Assim, com o passar do tempo, as relações que a geração espontânea de Puchet conseguia fazer com outras entidades iam diminuindo. Já a hipótese de Pasteur dos germes transportados pelo ar, mais a cultura, mais a contaminação, ia cada vez fazendo mais relações com outras entidades. Dessa forma, a geração espontânea de Pouchet, vai se tornando cada vez menos real. Isso não quer dizer que ela nunca tenha existido.

Isso explica como as **coisas** aparecem e desaparecem na história das ciências. A sobrevivência de uma entidade depende da sua capacidade de fazer associações com outras entidades (humanas e não humanas).

E como ficam os fenômenos que eram observados antes que a entidade existisse para explicá-los? *Os estudos científicos documentam as modificações dos ingredientes que compõem uma articulação de entidades.* É necessário então *retroadaptar* o passado a partir das entidades novas. Pasteur retroadapta a sua própria microbiologia, estendendo a existência do fermento para antes do ano em que o fabricou no seu laboratório. Fenômenos passados são explicados, agora, a partir da entidade fermento. Isso significa ampliar a entidade, não só no espaço, mas também no tempo. Pode-se concluir que: a historicidade das coisas implica na existência de uma *ontologia variável*.

A análise feita por Latour não chega a tocar de maneira clara e

explícita o que seria a dimensão ontológica para o realismo crítico. Um realista crítico diria que a *ontologia variável* seria um conhecimento aproximado da realidade, pois o ontológico, como é definido pelo realismo, independe do humano. No contexto da obra de Latour fica claro que ele não afirma a existência dessa realidade completamente independente do humano, nem afirma que ela dependa só do humano.

Para compreender melhor essa posição seria necessário mergulharmos mais profundamente na obra desse autor, algo que não é objetivo maior deste trabalho. O que nos parece interessante do conceito proposto nessa secção, do ponto de vista do ensino, é a maneira como ele problematiza a existência da realidade.

#### **5.1.4. O conceito de caixa preta**

Uma caixa preta é um conceito ao qual é atribuído um grau inquestionável de verdade, justamente pelas associações que ele faz com outros conceitos e com elementos humanos, interessando os grupos de pessoas e as alianças que estas pessoas estabelecem. Mas tudo isso passa despercebido por quem manipula a caixa preta e obtém o que deseja.

Uma caixa preta tem que ser constituída de elementos autônomos. Tem-se uma caixa preta quando muitos elementos são levados a atuar como um só.

O cientista trabalha com caixas pretas. Sua tarefa está relacionada com fechar algumas caixas pretas e abrir outras. Ele pode estar trabalhando em alguma pequena engrenagem de uma caixa preta ainda aberta

ou, questionando conceitos anteriores e já consolidados, tendo que abrir outras caixas pretas.

Do mesmo modo, em qualquer atividade científica os cientistas podem usar muitas caixas pretas sem questioná-las ou alterá-las. Assim como uma pessoa pode dirigir um carro sem ter a menor idéia dos conceitos físicos envolvidos em seu funcionamento.

### 5.1.5. Alguns comentários marginais

O que vem a seguir está longe de ser um estudo comparativo entre dois autores. É apenas uma pequena pesquisa que nasceu em função de uma breve menção a Ludwik Fleck numa entrevista de Latour a Jean-Marc Lévy-Leblond, ocorrida em 2003.<sup>11</sup> Em resposta a uma pergunta de Lévy-Leblond, com relação à objetividade do fazer científico e às suas possíveis normas, veio uma longa fala de Latour da qual separamos o seguinte trecho:

“(...) não podemos nos contentar com uma reconstrução racional a posteriori. Existiria uma solução construtivista e empírica, que consistiria de: ensaiar em captar, na prática científica, a diversidade de julgamentos propostos pelos pesquisadores para distinguir os fatos bons e maus, as teorias boas e más. (...) Existe portanto, ao invés da distinção ciência/não ciência, uma prática extremamente rica e, se ousar dizer, um “faro” sutil que permitiria extrair da prática cotidiana dos pesquisadores uma normatividade da situação. Isso já seria um enorme progresso sobre o pretendido método científico. É isso o que fazia, no início da sociologia das ciências, Ludwik Fleck no seu livro pioneiro, enfim traduzido para o francês.<sup>12</sup> (...)”

---

<sup>11</sup> LÉVY-LEBLOND, J-M., LATOUR, B. “Il ne faut plus qu’une science soit ouverte ou fermée.” Entretien por la revue Rue Descartes: Jean-Marc Lévy-Leblond interroge Bruno Latour. Disponível em: <http://revolution.celeonet.fr/lofiversion/index.php?t3663.html>. Acesso em: 12/1/2008.

<sup>12</sup> Nas referências é mencionado o seguinte: Fleck, L. *Gênese and Development of a Scientific Fact*. Chicago, The University of Chicago Press (1935) (tradução francesa inexplicavelmente suspensa).



Deixamos claro em passagens anteriores nossa crença de que o modelo de investigação de Bruno Latour incorpora tanto elementos históricos internalistas e externalistas quanto elementos epistemológicos. Tanto é assim que encontramos citações ou referências bibliográficas de epistemólogos em suas publicações, como Kuhn e Bachelard. Agora, embora em seus livros ele não mencione o nome de Ludwik Fleck, cremos que de alguma forma esse médico/cientista social/epistemólogo está presente em sua obra. Pelo menos ele a conhece, como ficou claro no trecho da entrevista acima mencionada.

Assim, cremos que cabem aqui alguns comentários marginais sobre uma eventual incorporação, mesmo que oculta, de procedimentos de Fleck no sistema circulatório de fatos científicos desenvolvido por Latour. Talvez ele possa ter imitado o procedimento de Thomas Kuhn que, ao estudar o mecanismo de mudança teórica na física teria incorporado, segundo análise de Delizoicov et al (2002), categorias e conceitos teóricos de Fleck, emanados de sua investigação da construção do saber em Medicina/Saúde. A diferença é que Kuhn menciona explicitamente o nome de Fleck no prefácio de seu livro (Kuhn, 2005).

O que nos leva a essa conjectura? Em primeiro lugar algumas informações contidas no artigo mencionado no parágrafo anterior quando, por exemplo, é afirmado que Fleck construiu “*sua forma de pensar tendo como foco a prática laboratorial na qual estava atuando*” (Delizoicov et al, 2002, p. 55). Pois bem, os primeiros trabalhos de Latour nasceram, no início da década de 1970, quando ele atuava como antropólogo residente num laboratório de bioquímica na Califórnia, tendo como mentor o médico e bioquímico Roger Guillemin, que receberia o prêmio Nobel de medicina em 1978.

Noutra passagem do mesmo artigo encontramos a informação de que Fleck, ao trabalhar

”o modelo interativo do processo de conhecimento”, estaria afinado com uma “concepção construtivista da verdade”, onde o conhecimento estaria “intimamente ligado a pressupostos e condicionamentos sociais, históricos, antropológicos e culturais e, à medida que se processa, transforma a realidade.” (Delizoicov et al, 2002, p. 56)

Percebemos nessa citação uma série de condicionamentos também assinalados claramente por Latour em “A Esperança de Pandora” (2001). Em “Ciência em Ação”, Latour afirma que seu livro foi escrito com base no trabalho de:

“(…) historiadores da ciência e da tecnologia, economistas, sociólogos, professores de ciências, analistas de política científica, jornalistas, filósofos, cientistas e cidadãos interessados, antropólogos cognitivos ou psicólogos cognitivos (...)” (Latour, 2000, p. 34)

Outro elemento que nos enseja alguma semelhança do modo de proceder de Latour com o do Fleck diz respeito à presença da “circulação de fatos científicos” no modelo circulatório (figura 8, pág.81) do primeiro, que se aproxima da “*circulação intercoletiva de idéias*” e de práticas (Delizoicov, 2004, p. 166) do segundo.

Ainda outro paralelo possível está relacionado com os círculos esotérico (delimitado pelos pesquisadores de determinado campo científico) e exotérico (que seria constituído por leigos) que estruturam o estilo de pensamento, como definidos por Fleck. (Delizoicov, 2002, p. 60) Por outro lado, Latour menciona algo que guarda certa semelhança com essas idéias, como podemos perceber, por exemplo, na seguinte citação:

“Os estudos científicos *não* se situam, no debate clássico, entre história internalista e história externalista. Eles reconfiguram por completo as questões. Só o que se pode dizer é que as sucessivas cadeias de translação envolvem, num extremo, recursos *exotéricos* (que lembram mais o que lemos nos artigos diários) e, no outro, recursos *esotéricos* (que lembram mais o que lemos nos manuais universitários).” (Latour, 2001, p. 109)

Creemos que bastam esses paralelos para dar conta da aproximação que pretendíamos explorar entre os dois autores.

## 5.2. Um pouco de filosofar

No nosso filosofar, pretendemos fazer uso dos conceitos de Latour que podem ser evidenciados na “fabricação” (no sentido que Latour dá a essa palavra) da equação  $E = mc^2$ .

Mediante a parte histórica apresentada no capítulo anterior problematizamos novamente se seria possível situar essa “fabricação” da relação  $E = mc^2$ . Se optarmos pela resposta mais comum, diremos que foi Einstein, em 1905, o responsável por essa nova relação. Assim podemos até partir de Einstein para fazer uma análise mais complexa envolvendo a história apresentada no capítulo 4.

Ao olharmos para a expressão da massa-energia podemos claramente identificar o abismo entre a expressão e a realidade. Geralmente, em estudos teóricos, esse abismo é muito maior que o visível. Tentaremos aqui aproximar ao máximo a atividade de Einstein na “construção” da expressão  $E = mc^2$  ao conjunto de dados históricos expostos no capítulo 4.

Não seria fácil compararmos essa atividade à de um botânico, como aquela referente à pesquisa savana-floresta, que consegue tirar suas conclusões mediante a observação de duas folhas dessecadas trazidas de lugares e épocas diferentes, comparando suas diferenças e semelhanças. É claro que esse botânico ao fazer essas observações também está provido de um referencial teórico. Porém, o caminho de acesso à realidade, no caso da física praticada à época da investigação de Einstein, se daria por meio de observações completamente embebidas de teorias, que já entrelaçam fortemente o próprio experimento à linguagem nele envolvida. Mas sem dúvida essas relações todas constituem etapas da referência circulante.

O objeto de estudo de um cientista é baseado em um conjunto de teorias que ele herda do passado de sua área de conhecimento. Nossa hipótese é que, para chegar ao seu artigo, Einstein tinha o conhecimento profundo das teorias eletromagnética e mecânica clássicas. Veio mesmo a definir posteriormente que a teoria da relatividade nasceu de contradições sérias e profundas nessas duas teorias. Einstein cria a relatividade de uma comparação meticulosa do eletromagnetismo de Maxwell e da mecânica clássica. Isso fica claro em sua fala sobre a formulação da teoria da relatividade reproduzida na seção 4.2.2.

Einstein compara as duas teorias assim como o botânico olha para duas folhas dessecadas e tira conclusões. Nesse momento há algum tipo de acesso à realidade pelas tradições experimentais do eletromagnetismo e da mecânica. No final do Artigo “A inércia de um corpo depende de seu conteúdo de energia?” Einstein ainda sinaliza alguma coisa sobre a possibilidade de verificar

seus estudos em saís de rádio. Assim ele sinaliza outra via de acesso à realidade, seguindo as tradições de pesquisas da então muito jovem física nuclear.

Claramente aparece aqui a importância de uma tradição de pesquisa e sua influência no acesso ou aproximação ao real e no preenchimento da lacuna linguagem-mundo. A tradição de pesquisa é evidenciada quando Latour define a Mobilização de Mundo como um fator constituinte da ciência.

Supomos assim que um olhar para toda a história da física pudesse fazer parte dessa mobilização de mundo. Podemos ir das teorias mais modernas às mais primitivas. Olhar para a história da ciência pode nos fornecer, portanto, uma melhor compreensão dos procedimentos adotados por uma tradição de pesquisa. Aliás, isso fica bem claro na fala do próprio Einstein sobre a atividade científica, apresentada na seção 4.2.2.

Das falas de Einstein citadas no capítulo 4, é possível detectar primeiramente que ele se refere a um mundo externo e acessível ao pensamento. Em outro momento ele menciona as profundezas das coisas e dá uma importância indiscutível à atividade criativa, inclusive condenando o conceito de descoberta. Existem algumas polêmicas que envolvem a posição epistemológica de Einstein<sup>13</sup>. Não temos aqui a intenção de entrar nela, mas suas falas sem dúvida podem ser interessantes para problematizar a equação massa energia.

Podemos olhar a “descoberta” de  $E = mc^2$  por vários ângulos. De acordo com nosso levantamento histórico a expressão já dava indícios de sua existência desde a segunda metade do séc XIX. Isso pode ser um indício de que

---

<sup>13</sup> Citamos como exemplo o trabalho de Moraes e Karam (2006) que problematiza algumas posições epistemológicas de Einstein. Os autores discutem uma possível mudança deste posicionamento comparando falas e escritos dele logo no início de sua carreira científica e no fim dela.

ela estava tentando se revelar ao mundo dos humanos desde então.

No processo pelo qual Einstein chega à teoria da relatividade restrita, surgem inclusive novas entidades, como o espaço-tempo. Ao reescrever a dinâmica do elétron à luz de sua nova dinâmica, ele chega à expressão indicativa de que a luz deve transportar momentum. Essa é a manifestação de uma nova entidade massa energia conseguindo finalmente se revelar.

Em seu artigo posterior, Einstein irá discutir de forma mais objetiva essa relação. Com uma breve análise ele explicita sua conclusão sobre a inércia da radiação e tenta estender a validade dessa conclusão, afirmando que a massa é uma medida de energia. É aí que Einstein dá voz à entidade massa-energia.

Quando usamos o termo entidade, ressaltamos que a expressão  $E = mc^2$  mudou o significado das entidades massa e energia, criando uma outra entidade. Como tentamos mostrar no capítulo 4, não é simples e consensual caracterizar essa nova entidade como tal e interpretá-la, mas é inegável que há uma mudança do que seria o status ontológico dos entes massa e energia.

O processo que se segue às publicações de Einstein é resultado da discussão com a comunidade científica e de outras contribuições. Primeiramente, discutamos o fato de a teoria de Einstein ter se sobressaído à de Lorentz, por exemplo. Como ele próprio argumentou, sua teoria busca sair de um pressuposto a fim de obter relações muito mais gerais, até então não possíveis. Não se tratava de uma conclusão pontual como a da teoria de Lorentz. Quanto mais relações uma entidade pode fazer, mais ela se torna verossímil. Einstein

publica seu segundo artigo sobre a relatividade e dá indícios de que considera  $E = mc^2$  um princípio mais geral. A partir daí outros cientistas trabalham na generalização da expressão. A entidade massa-energia, como proposta por Einstein, é inicialmente uma conclusão válida no eletromagnetismo que depois faz relações, como foi explicitado no capítulo 4, com a termodinâmica, com a mecânica e com a física nuclear.

Muitos outros cientistas deram contribuições, inclusive experimentais, detectando através da entidade raio  $\beta$  a relação massa-energia prevista. A partir daí a relação  $E = mc^2$  foi se consolidando como uma verdade na tradição de pesquisa da física. Ela se torna uma verdade tácita, ou seja, passa a ser utilizada como uma caixa preta.

Podemos relacionar alguns fatos históricos da seção 4.3 com alguns conceitos definidos por Latour, apresentados na seção 5.1.2. A mobilização de mundo está presente enquanto se permite que existam meios como a revista *Annalen der Physik*, que possibilita a circulação de teorias, caracterizando um instrumento de pesquisa. Claramente há um investimento no meio acadêmico para que exista uma comunidade engajada em tais tradições de pesquisa (embora esse não seja o caso do próprio Einstein que trabalhava em um escritório de patentes), caracterizando a existência de alianças. Não há dúvidas de que os colegas da tradição de pesquisa (aqui se destaca Planck) foram bastante eficientes em fazer críticas e ao mesmo tempo utilizar os novos critérios, inclusive ao tentar estender a validade de  $E = mc^2$ , e isso caracteriza a autonomização. Por fim, o fato de Einstein ter se tornado uma figura de grande

apelo ao público em geral, é um indício forte da representação pública que sua teoria teve.

Uma das alianças mais fortes e importantes que marcam a presença da entidade massa-energia foi a aliança com a física nuclear. A física nuclear era uma área que iria se consolidar como tradição de pesquisa mais tarde do que o eletromagnetismo. Um evento de fácil recorrência para pensar a física nuclear foi a bomba atômica de 1945. O momento histórico da guerra que aconteceu nesse período pode nos dar mais pistas sobre relações de outras naturezas em que comparece a entidade massa-energia. Temos aqui elementos muito semelhantes ao que Latour usa para explorar o caso de Joliot, e por isso não descreveremos novamente esses aspectos, porém enfatizamos que ficam evidentes as alianças militares dando guarita a esse tipo de pesquisa.

Traremos uma frase de Einstein ao se defender de comentários sobre a sua responsabilidade na construção da bomba. É fato que ele escreveu uma carta ao presidente Roosevelt, e sua fala ao comentar tal episódio, é mais um convite a investigar como a equação  $E=mc^2$  foi parar na física nuclear.

*"Não me considero o pai da liberação da energia atômica. Minha parte no projeto foi absolutamente indireta. Na verdade, não previ que seria liberada no meu tempo... Nunca houve a menor indicação de qualquer aplicação potencialmente tecnológica." (Einstein, apud Callaprice, 1998, p 142) "Ela se tornou prática apenas pela descoberta acidental da reação em cadeia. E isso era algo que eu não poderia prever". (Einstein, apud Callaprice, 1998, p 139)*

Segrè (1987, p.83) afirma que:

*"...a teoria específica da relatividade, da qual sai a famosa fórmula  $E=mc^2$  que é praticamente tudo o que o público sabe sobre Einstein. A verdade é que algumas pessoas acreditam que esse é o segredo da bomba atômica; é um*



*segredo, no entanto que não mais existe, da mesma forma que um unicórnio: ambos são produtos da imaginação."*

É no campo de estudo das radiações que  $E=mc^2$  faz sair da "imaginação" e ganha um papel de destaque na compreensão da realidade física, transformando-se em caixa preta.

Por outro lado, Jammer (1961 p.182) afirma que:

*"Não é exagero dizer que o desenvolvimento da física moderna nuclear teria sido impossível sem assumir a equivalência entre a massa e a energia."*

Podemos analisar a relação da maneira inversa, afirmando que o fato de a massa energia se consolidar, como um princípio heurístico universal de conservação, dependeu do desenvolvimento da física nuclear e da profunda relação estabelecida com ela.

Assim, na nossa hipótese de tratar a entidade massa energia como uma caixa preta, concluímos que se trata de uma entidade que funciona muito bem em vários campos da física. Usa-se  $E = mc^2$  no eletromagnetismo, na relatividade, na física nuclear, na física de partículas e etc. Isso não quer dizer que quem manipula essa caixa preta atribua exatamente os mesmos significados ao que está dentro dela.

## **CAPÍTULO 6**

### **Na sala de aula**

“É tarefa daqueles que pouco sabem - por isso sabem que sabem algo e podem assim chegar a saber mais – em diálogo com aqueles que, quase sempre, pensam que nada sabem, para que estes, transformando seu pensar que nada sabem em saber que pouco sabem, possam igualmente saber mais.”

Paulo Freire

A seqüência desta pesquisa se constituiu na elaboração e realização de algumas atividades em sala de aula.

As atividades foram elaboradas em parceria com a docente Suzana Salém Vasconcelos, e realizadas com estudantes do curso de bacharelado em física, na disciplina de Física IV, no período diurno, do Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP) no ano de 2006.

#### **6.1. A disciplina**

Na disciplina de Física IV são trabalhados conteúdos de eletromagnetismo e de relatividade. No caso do curso de bacharelado esse é um dos primeiros momentos em que os estudantes têm contato com um conteúdo de física moderna. É um primeiro contato acadêmico mais organizado que os estudantes têm com o tema relatividade. A ementa oficial da disciplina consta no anexo I, porém a disciplina na qual as intervenções foram realizadas não segue a

ementa à risca.

Na disciplina não é adotado nenhum dos livros tradicionais de Física Básica. Os estudantes utilizam uma apostila escrita numa parceria de vários docentes do IFUSP<sup>14</sup>. A apostila, dividida por aulas, contempla os conteúdos de eletromagnetismo de maneira tradicional. Os temas das aulas podem ser conferidos no Anexo II.

Um diferencial dessa disciplina é sua primeira aula. Na apostila o tema da aula um é “O Universo Físico”. Nessa aula é feita uma ampla discussão sobre o que é o universo físico, primeiramente com certo distanciamento, a fim de diferenciar o universo físico dos outros universos de conhecimento.

Em um segundo momento o chamado universo físico é organizado com o uso de uma analogia. Ele é comparado a uma peça de teatro e são feitas as seguintes associações:

**Palco** – o espaço e o tempo

**Diretor** – as leis dinâmicas

**Atores** – matérias e campos

Após uma muito breve descrição de alguns fatos históricos relacionados à física clássica, a apostila apresenta um esquema, que é uma representação do universo físico clássico (tabela 2).

---

<sup>14</sup> São autores do material didático utilizado na disciplina os professores do IF: Maria José Bechara, José Luciano Miranda Duarte, Manoel Roberto Robilotta e Suzana Salém Vasconcelos.

Universo Físico Clássico		
Palco	momentos linear e angular	energia
	↑	↑
	Espaço	tempo
Diretor	leis dinâmicas	
Atores	matérias ↔	campos

tabela 2

Em seguida é discutido o universo físico relativístico, que tem duas representações. Uma é referente à relatividade restrita (tabela 3) e outra se refere ao universo físico da relatividade geral (tabela 4). Os autores comentam que colocar  $E = mc^2$  no quadro não é uma coisa simples, uma vez que a energia é parte do palco, enquanto a massa é um ator. Resolvem o problema apenas na tabela 4, onde a massa passa definitivamente à parte do palco pois, pela relatividade geral, é um agente que altera a geometria do espaço tempo.

A apostila segue fazendo uma discussão semelhante do universo da Física Quântica, na qual não entraremos em detalhes por não fazer parte do

Universo Físico Relativístico (1905)		
Palco	momentos linear e angular ↔	energia
	↑	↑
	Espaço ↔	tempo
Diretor	novas leis dinâmicas	
Atores	massa ↔	campo gravitacional
	carga ↔	campo eletromagnético

tabela 3

Universo Físico Relativístico (1915)		
Palco	Momentos linear e angular ↔	energia ↔
	↑	Massa gravitacional
	espaço ↔	tempo
Diretor	novas leis dinâmicas	
Atores	carga ↔	campo eletromagnético

tabela 4

foco desta pesquisa.

Passada essa discussão dos universos físicos na primeira aula, o conteúdo de relatividade voltará a aparecer na aula 18, depois de apresentado todo o conteúdo de eletromagnetismo. No texto, o assunto é abordado com uma discussão sobre os impactos que a relatividade causou na física. É comentado que a relatividade subverteu profundamente o universo clássico e novamente se faz uma breve referência à equação  $E = mc^2$  e à mudança pela qual ela é responsável. O texto traz também uma discussão sobre simetria.

A aula 19 trata da dilatação do tempo, falando de simultaneidade e trazendo a noção de tempo relativístico. A aula 20 traz a contração do espaço e a quebra da simultaneidade, ou seja, a noção de que a simultaneidade depende do referencial. Na aula 21 são apresentadas as transformações de Lorentz e na aula seguinte algumas aplicações, tratando de problemas clássicos como a causalidade e o paradoxo dos gêmeos. A aula 23 trata de como fica a adição de velocidades na relatividade.

A partir da aula 24 os conceitos aprendidos de relatividade são aplicados ao eletromagnetismo, onde são deduzidas como ficam a transformação dos campos E e B, além das transformações para as densidades de carga. Nessa mesma aula o texto trata de covariância. Essa tendência acompanha as próximas aulas.

A aula 27 trata de cargas em movimento e de como fica a percepção dos campos, envolvendo referenciais diferentes. A última aula trata de radiações.

Diante dessa estrutura da disciplina, ponderamos em conjunto com a docente que o melhor momento para introduzir a primeira atividade sobre  $E = mc^2$  seria quando se faz a discussão sobre o universo físico relativístico.

## **6.2. As intervenções**

Foram três as intervenções realizadas ao longo do primeiro semestre de 2006. Duas atividades e uma discussão, que foi filmada.

Decidimos que a primeira atividade seria uma pergunta aberta. Uma pergunta que convidasse os estudantes a pensar sobre a atividade científica e que investigasse se eles tinham algum conhecimento de história da física buscando verificar de que nível seria esse conhecimento. A atividade proposta segue no anexo III. Essa atividade está intimamente relacionada às analogias usadas nas tabelas da apostila, que transcrevemos acima. A idéia é estimular nos estudantes o exercício de filosofar, propondo uma problematização sobre o tema, ao invés de trazer algum texto pronto de caráter informativo. A docente propôs que os estudantes levassem a atividade para casa e a trouxessem na semana seguinte. Recomendou ainda que a idéia da atividade era que fosse respondida com franqueza, e que não era apropriado buscar respostas em livros e artigos.

A segunda atividade (anexo IV) consistiu em fornecer algumas informações históricas por meio de um texto. O texto tem estreita relação com a questão da primeira atividade. Assim, pretendemos que a primeira atividade tenha servido de elemento problematizador, estimulando a leitura do texto da atividade dois. O texto é uma adaptação da reflexão histórica do capítulo 3.

São colocadas ainda mais algumas questões convidando os

estudantes a pensar sobre o conceito de descoberta e sobre os elementos que auxiliam na aceitação de uma teoria física pela comunidade científica.

Finalizamos a nossa proposta com uma terceira intervenção, que foi uma discussão com os estudantes, ao fim do semestre.

Essa discussão foi conduzida pela docente. Depois de esclarecido o objetivo da filmagem, e tendo essa sido autorizada, a docente começa a conduzir a discussão, incentivando os estudantes a falarem sobre as duas atividades propostas anteriormente.

Durante a discussão fiz algumas interferências acrescentando alguns fatos históricos e fazendo provocações nesse sentido. A docente também fez algumas interferências quando desejava mudar o foco da discussão, para contemplar os vários aspectos tratados nas atividades anteriores.

### **6.3. Os dados – Uma análise**

Esta seção traz uma análise dos dados coletados em 2006. Consta aqui a análise dos dados, referentes às três atividades desenvolvidas. Nessa análise tentamos fazer um paralelo entre algumas falas dos estudantes e alguns conceitos definidos por Latour, como a autonomização, a referência circulante, a caixa preta, a mobilização de mundo e a construção de fatos com entidades humanas e não humanas.

Das atividades um e dois temos as respostas dos alunos por escrito. Para a análise da atividade 3 algumas partes das filmagens foram transcritas.

### 6.3.1. Atividade 1

A primeira atividade proposta tinha o intuito de ser um momento problematizador. Foi notável na resposta de muitos estudantes como os mesmos se colocaram em uma posição bastante crítica, por exemplo, ao questionarem o modelo de palco e atores proposto na apostila. Podemos interpretar isso como sendo um indício de que houve efetivamente uma comunicação (no sentido freiriano) entre a docente e esses estudantes. Como exemplo dessa problematização transcrevemos alguns trechos de respostas de estudantes à pergunta proposta na atividade 1:

*“Voltando para o modelo palco-ator, tiramos a conclusão de que massa é palco e ator, não há diferenciação, isso se torna uma incoerência, mas só se continuarmos a pensar e comparar com a idéia de palco e ator que temos um teatro ou visão clássica. Acontece que nesse novo universo físico não podemos raciocinar comparando com esse modelo, temos que criar um novo, uma nova configuração e relação entre palco e ator.”*

*“Do meu ponto de vista, a massa sempre foi um ator, mesmo na concepção clássica, mas Newton não soube interpretá-la assim como Einstein o fez. Portanto, essa incoerência pode ser explicada do ponto de vista da massa que já é palco e agora também é um ator, pois ela participa da peça assim como todos os outros atores, que seja, na minha concepção de cenário(que seria o palco) também faz parte da peça e é um ator. Seguindo essa linha de pensamento acredito que ainda há muita coisa a ser descoberta no campo da física e que novas teorias ainda serão elaboradas principalmente quando conseguirmos relacionar todas essas entidades de uma só vez.”*

Nessa última fala o estudante menciona *relacionar entidades de uma só vez*. Fica possível fazer uma aproximação com a fase de formação da caixa preta elaborada por Latour, quando o estudante destaca a importância de relacionar entidades e dela ser mais elaborada.



No trecho transcrito abaixo é possível identificar alguns traços do conceito de autonomização, quando o estudante menciona a importância de um cientista se manter em voga perante uma comunidade científica. Isso ressalta que existe uma estrutura interna na ciência e qual sua importância na dinâmica da evolução científica.

*“Colocando-se 100 anos atrás a idéia de aceitar a proposta de Einstein, repleta de conceitos tão abstratos, representa insanidade. Acho que o material que Einstein produziu sobre o efeito fotoelétrico ajudou-o a medida que o manteve em voga, todo como um grande cientista, até que a relatividade pudesse ser aceita. Do contrário, acho que ele só teria representado alguma loucura entre o ser humano e a física.”*

Na reflexão deste outro estudante percebemos a presença do conceito de coisa não humana tentando se revelar para o mundo dos humanos:

*“Exemplos disso, são casos em que durante muito tempo não desenvolve-se certa teoria e de repente alguns cientistas separadamente desenvolvem o mesmo trabalho e chegam a um resultado muito parecido sem nem mesmo ter conhecimento do trabalho que o outro realiza. Um bom exemplo disso foi o cálculo diferencial e integral desenvolvido por Newton e Liebniz ao mesmo tempo e sem nenhuma comunicação entre os dois.*

*Sendo assim se não fosse Einstein a relatividade teria demorado mais tempo para surgir.”*

Aqui temos o conceito de Latour de que em determinado tipo de ciência as práticas e técnicas são responsáveis em grande parte pelos resultados. Nesse caso podemos supor um tipo de interação em que a matemática e a física, usadas naquela época, propiciavam e sobrepunham as coisas de tal maneira que algo estava prestes a se revelar. Podemos também interpretar a simultaneidade de descobertas empíricas ou intenções teóricas sinalizando que a comunidade científica estava imersa em um determinado

ambiente de cultura científica que demarcam sua forma de proceder.

### 6.3.2. Atividade 2

Das respostas dos estudantes para as questões atividade 2, primeiramente percebemos um padrão bem diferente das falas com relação às respostas das questões da atividade 1. As informações contidas no texto aparecem reproduzidas em um grande número de respostas. A maioria dos estudantes não expôs uma reflexão individual acerca das questões propostas, limitando-se apenas a repetir o conteúdo do texto. Assim, selecionamos respostas de estudantes que permitem uma interpretação com base nos conceitos de Latour.

**Como resposta à questão 1** (“Einstein descobriu a relação massa energia em 1905’. Você acha que Einstein foi o único físico daquele período que descobriu a relação massa energia exatamente em 1905?”) :

Na seguinte transcrição destacamos a presença do conceito de autonomização, fazendo referência à dinâmica da atividade científica e como isso pode interferir no processo de uma entidade física se revelar aos cientistas.

*“Afinal, pensa comigo: imagine um bando de físicos... todos ali, pensando, pesquisando, investigando, averiguando... fazendo tudo ali, na mesma área ou em alguma área que guarde alguma conexão para com essa. A partir do “momento” em que esses físicos vão trabalhando, pesquisando, descobrindo as “suas coisas”, eles vão dando um passo a mais, fazendo com que todas essas descobertas passem a ser um arcabouço para que outras possam vir à tona. Ou seja, não é possível ao meu ver que uma coisa tão grandiosa passe despercebida por esse bando de gente; uma coisa, por exemplo como a que Einstein descobriu. Uma coisa tão grandiosa que ali dessa área. Basta ver os trabalhos científicos que estavam sendo desenvolvidos ali naquela época. Era como se tudo estivesse cercado a coisa. ... fazendo com que essa coisa, mais*

*cedo ou mais tarde, se revelasse aos olhos de alguém, de um dessa turma. Tanto faz se fosse o Einstein ou não. Se o Einstein não existisse um outro alguém ia ter visto isso, iria ter descoberto tal relação. No quesito matemático da coisa, talvez essa descoberta não fosse assim expressa como ela é hoje... mas, com algumas manipulações, também matemáticas, poderíamos ter tais relações expressas assim como a bem conhecemos, já que o “físiquês” por trás de toda a coisa seria o mesmo.*

*Eu não estou querendo esculachar o Einstein... longe disso! Mas quando tem um monte de gente boa pensando, investigando sobre alguma coisa, alguma coisa aparece... ainda mais quando essa coisa é a relação massa-energia, já que a coitadinha estava cercada (coitada!).”*

Quando a estudante se refere ao termo “físiquês”, faz relação com todo tipo de prática que é comum a uma comunidade de físicos e como isso pode interferir nos resultados. Existe algo que caracteriza essa comunidade dos físicos de forma autônoma, interpretado como sendo a mobilização de mundo, posta em execução pelo conhecimento físico disponível para que essa análise fosse feita.

Este outro estudante, como resposta à questão 1, fala na derrubada da idéia de éter:

*“Talvez o grande obstáculo era derrubar a idéia do éter, referencial absoluto, que a teoria mostra estar errada.”*

Isso corresponderia ao processo de desmonte de uma caixa preta. Ao questionar o éter o cientista estaria abrindo uma caixa preta, uma vez que o éter era uma idéia bastante forte no começo do século XX. Ao abrir uma caixa preta, segundo Latour, o cientista pode fazer uma nova “descoberta”. Algo semelhante é descrito na resposta de outro estudante:

*“Einstein talvez também se destaca por “mexer” com o conceito de massa. Houve a introdução da massa relativística para diferenciar da massa de*

*repouso. O conceito de massa passou a estar mais diretamente ligada à inércia de um corpo.”*

Analisando mais uma resposta, encontramos referência à consistência da teoria:

*“O que difere a descoberta de Einstein com os seus antecessores é que a relação massa energia é fruto de uma teoria consistente e baseada em princípios simples que dão sustentação e entendimento geral das leis da física e sua covariância. Enquanto seus antecessores chegavam à relação massa-energia semelhante, mas com um enfoque restrito e sem correlacionar sem caráter geral e fundamental com o auxílio de alguma teoria consistente.”*

Segundo o referencial que adotamos, essa resposta pode ser encarada como reforçando a importância de uma entidade ou teoria. A resposta ressalta ainda a importância de que essas relações sejam fortes, ou seja, consistentes.

**Como resposta à questão 2** (Entre o primeiro artigo que fazia menção à relação massa-energia e sua "aceitação" pela comunidade científica que, segundo Stachel, ocorreu em 1916, passaram mais de 10 anos. Você seria capaz de identificar alguns dos elementos (conceituais, metodológicos, filosóficos, sociais, etc) que levaram à aceitação da teoria dentro e fora da comunidade científica?):

A resposta transcrita abaixo menciona a noção de paradigma.

*“Tudo isso reforça a idéia de que, às vezes, é preciso desafiar um paradigma, imaginar situações que fogem a intuição para enriquecer as descobertas”*

Embora a noção de paradigma mencionada se aproxime do significado kuhniano da palavra, podemos analisar essa resposta sob a ótica da obra de Latour usando mobilização de mundo. Na busca, pelo maior número

possível de ligações com coisas e pessoas que um conceito pode fazer, ele pode acabar saindo do paradigma.

Essa outra resposta faz menção à representatividade pública de Einstein:

*“fora da comunidade científica, até que pode ter sido mais fácil... se bem que eu não sei se foi realmente isso que aconteceu. Normalmente as pessoas não cientistas se baseiam muito no que os outros falam (embora isso não seja uma regra)... e quando esses outros que falam são cientistas, fica fácil pra aqueles que não são aceitarem, embora, não necessariamente, isso signifique “entender muito”.*

*O Einstein, com aquela gravatinha borboleta, com aquele cabeção, com aquele cabelão arrepiado que aumentava ainda mais o volume da sua cabeça, devia ser uma figura para a época... ainda mais sendo um cientista. Algumas pessoas enxergam os cientistas, ainda mais aqueles cientistas da área de exatas, como pessoas meio maluquinhas. O Einstein com todo esse visual, com todas as suas manias estranhas e ainda por cima sendo um cientista que trazendo umas coisas novas, que aos poucos iam sendo confirmadas por uma leva de cientistas tão “bem vistos” como ele, era o cara! A turma aceitou! Não diziam um tempo atrás que o Papa era pop? Então... Naquela época lá o Einstein era pop! E tudo ficou relativo pra todo mundo... Que maravilha....!!!*

De maneira curiosa essa estudante fala da fama de Einstein e da peculiaridade de sua figura. Isso se encaixa no que Latour descreve como a representação pública. A estudante na sua resposta atribui justamente à representação pública parte do sucesso que Einstein obteve com sua teoria.

### **6.3.3. Atividade 3 – a discussão**

Essa atividade se realizou em aproximadamente 1h40 de discussão. A discussão foi gravada, e alguns trechos serão transcritos e analisados abaixo.

Em um primeiro momento da conversa, os estudantes são convidados pela professora a falar sobre as atividades realizadas anteriormente. Alguns estudantes falam um pouco, repetindo suas respostas das atividades escritas. Em seguida a professora comenta um pouco sobre o texto utilizado no curso e conta um pouco de sua elaboração. Novamente destacamos as respostas daqueles estudantes que problematizaram as atividades realizadas enfatizando aspectos do conteúdo físico abordado.

Com pouco mais que vinte minutos de conversa temos a seguinte colocação:

*Estudante A (21' 33"):* "Basicamente eu vislumbro que a proposta do Einstein em relação a massa energia, fez um arcabouço, uma teoria simples e consistente. Agora os outros chegaram de certa maneira a uma relação semelhante da massa, só que era um enfoque muito restrito e não servia como uma teoria pra...que se desdobrava e se correlacionava com vários tópicos da física."

Nessa fala podemos perceber a importância que o estudante A dá ao que Latour denomina de mobilização de mundo. Ele destaca a proposta de Einstein como mais abrangente que as outras, ou seja, destaca que ela faz mais relações.

*Estudante B (22' 13"):* "Não sei se é tão simples e consistente assim... se tão simples pra ciência da época. É uma proposta que vai a um objetivo. A diferença das outras coisas, é por mais que outras propostas tenham chegado a uma relação entre energia e massa a proposta não era essa! Por mais se cheguem a muitas coisas na ciência sem querer a proposta não era essa! As vezes eles não deram muita atenção a isso.ou o devido enfoque a ponto de poder abranger isso pra tudo. Então é claro que o mérito é do Einstein, mas não necessariamente dele e fechado... mas acho que tudo na ciência é assim... sem querer a gente não pode falar que Newton não ajudou Einstein que ajudou... entendeu? Tudo está relacionado!"

Aqui podemos perceber a presença do conceito de referência circulante. A estudante menciona como o trabalho do Einstein é baseado em trabalhos de outros cientistas e como servirá de base a teorias posteriores. Ela destaca que as outras propostas apresentadas não eram apenas alternativas diferentes, mas que contribuíram para o trabalho de Einstein.

*Estudante C (22' 21") : "Eu queria saber uma coisa... vocês colocaram uma tabela, das expressões que os caras chegaram, mas assim... a expressão que o cara chegou, eu não sei se está embutido necessariamente a visão de mundo que o cara tinha. Porque pra você fazer a conta e tomar aquilo como verdade... falar... tá bom vai... vamos adotar isso aqui como verdade... que nem fazer uma prova vai... não precisa estudar muito...você lê as quatro equações de Maxwell e vai lá pra prova e fala... ah é só fazer, só jogar aqui, e beleza... eu acredito vai professora..."*

Nessa fala o estudante C faz referência ao conceito de caixa preta. Ele menciona que o cientista tem que adotar uma visão de mundo e que isso implica em aceitar certas coisas como verdade. Assim como ele simplesmente acredita nas equações de Maxwell e as usa. Para o estudante essas equações são uma caixa preta e é por isso que ele acredita nelas.

*Estudante C (23' 07") : "Aí o cara chegou naquela expressão mas então... e aí? Eu tava esperando talvez que... eh... desse a visão de mundo que o cara tinha! Porque eu acho que o mais interessante de tudo que o Einstein fez não foi chegar a tipo uma expressão fácil assim como  $E=mc^2$ , oh é simples e tal e diz muita coisa, mas essa muita coisa que quer dizer... entendeu?... qual a imagem que o cara tinha do negócio."*

*Estudante B (24' 38") : "Ele trouxe uma nova visão!"*

*Estudante C (24' 43") : "Então, mas poderia ser uma expressão gigantesca, sei lah... Negócio viajante assim, mas a idéia que o cara tinha que é o importante...Essa visão de que... por exemplo, Newton, pra ele, o espaço tá lá...independente de tá massa ou estar qualquer coisa lá. O espaço vai tar sempre aquele lá. Se tirar tudo do espaço, assim do universo, o universo vai tar*

*lá. E Einstein não... ele falou não... se as massas tiverem assim vai ser de um jeito, se for de outro jeito o espaço é assim. Então essa é a concepção de mundo que ele teve. E isso pra mim é mais importante do que  $E=mc^2$ , discutir se massa é igual a energia e qual a relação com as duas. No mérito da discussão qualitativa isso aí é interessante, mas pô o que é massa? Será que eu tivesse aqui de repente e sofresse um decaimento, sei lá, se eu virasse fóton, será que a energia liberada seria igual ao meu peso na balança vezes  $c^2$ ?”*

Nessa fala podemos indicar a presença de uma reflexão sobre a atividade do cientista. Quando o estudante destaca o trabalho de Einstein, ele comenta que o cientista desmontou a concepção Newtoniana, ou seja, a caixa preta da mecânica Newtoniana. Isso por que, segundo o estudante, Einstein questionou relações internas dessa caixa que já eram aceitas como verdade pela comunidade científica e não estavam mais sujeitas a ser questionadas.

Um pouco depois nos deparamos com a fala do estudante D discutindo a relação entre fatos e pessoas:

*Estudante D (28' 39") : “Talvez o  $e=mc^2$  tenha aparecido quando ele viu a teoria dele pronta... quando ele viu as formas que as coisas chegaram... Não que ele possa ter pensado que massa é energia quando... nas primeiras idéias dele... foi o que a teoria chegou... a teoria dele foi amadurecendo.”*

Aqui podemos fazer uma aproximação com o conflito entre humanos e não humanos, descrito por Latour. Podemos perceber que o estudante confere certa autonomia à teoria, quando fala em “a forma que as coisas chegaram” e descreve que Einstein não pensou exatamente nisso, mas foi aonde a teoria chegou.

A docente, no momento seguinte, faz uma intervenção no sentido de conduzir a discussão em direção à reflexão proposta pela atividade 1, ou seja,



tentar imaginar qual o impacto de tudo isso na época.

*Estudante B (32' 56") : "Para os físicos agora, eles estão convencidos que todo mundo realmente entendeu essa questão...pras pessoas em geral.. pra quem não tem uma base... pra alguém das humanas por mais que seja hoje isso não vai ser tão simples pra ela... não sei se é natural. Hoje! Por mais que seja hoje."*

Na fala dessa estudante podemos destacar a importância que ela dá ao que Latour chama de autonomização. Do que é comum e inteligível apenas para a comunidade dos físicos e como isso os difere como classe.

Alguns instantes depois o estudante C volta a comentar o processo de criação de Einstein.

*Estudante C (34' 03") : "Talvez Einstein tenha tomado algumas coisas como verdade, acho que um dos méritos de Einstein foi coragem. De falar, vamos lá vai...Foi adotar aqueles dois princípios dele da relatividade restrita, e falar isso aqui é verdade e esquece o resto!"*

Aqui o estudante descreve uma situação que para Latour seria a visão de um cientista trabalhando na construção de uma caixa preta. Criando novos postulados, que criarão novas relações, pretensas a ganhar o status de verdade.

Esse mesmo estudante é interrompido em sua fala pela estudante

B:

*Estudante B (34'31") : "Não, o problema é que funcionou!"*

Quando a estudante atribui o sucesso da teoria ao fato de que funcionou, já conferiu um grau de autonomia à mesma. O estudante C responde:

*Estudante C (34' 35") : "Não... tudo bem assim... mas.. Não estou pensando ainda se funcionou ou se serve, mas na consequência que ele chegou*

*entendeu? Por que é uma coisa assim que as pessoas na época se chocaram, com as conseqüências que ele tomou”.*

O estudante C observa a diferença entre uma caixa preta ainda aberta e outra já fechada. Quando a estudante B menciona o fato de funcionar, já imagina o conceito como caixa preta. Já o estudante C está pensando na caixa antes de ela ser fechada.

Nas falas seguintes encontramos um diálogo entre a professora e um dos estudantes polemizando o conceito de descoberta:

*Professora (38' 42") : “É comum a gente ler : Einstein descobriu a relação  $E=mc^2$ , Newton descobriu a Lei da Gravitação Universal...”*

*Estudante C (39' 03") : “Não! Ele inventou...”*

*Estudante D (39' 17") : “Mas ter alguma relação funcional, alguma coisa explícita matematicamente com coisas de expliquem o fenômeno com argumentos já conhecidos”*

Aqui temos uma discussão que está evidenciando a dicotomia entre invenção e descoberta. Nesse trecho esses estudantes permeiam a relação entre humanos e não humanos na construção do conhecimento científico.

Com essa análise podemos perceber que mesmo sem ter tido contato com os textos de Bruno Latour alguns estudantes apresentam reflexões que podem ser de alguma forma comparadas com conceitos definidos por ele. Isto nos indica que houve efetivamente, por parte desses estudantes, uma reflexão sobre as atividades científicas, que não se resume a meramente dissertar sobre fatos históricos ou citar filósofos e epistemólogos.

De certa forma vemos que esses estudantes conseguiram entrar no exercício de filosofar através da história da ciência. Ou seria sociologizar?

## **CAPÍTULO 7**

### **Fazer Ciência e Ensinar Ciência: Algumas Relações**

"... ao dizermos que não nos interessamos pela filosofia, o que estamos provavelmente a fazer é substituir por uma filosofia explícita, uma filosofia implícita, por isso, imatura e incontrolada."

Mario Bunge

Este trabalho de pesquisa visa a construção de uma proposta de inovação e mudança. Ao longo deste texto fizemos algumas críticas à formação de futuros pesquisadores oferecida pelas universidades em geral e, mais especificamente, ao universo em que estamos inseridos, o Instituto de Física da Universidade de São Paulo.

A intervenção em sala de aula, que analisamos no capítulo anterior, é uma proposta concreta que tem como pano de fundo as nossas expectativas de inovação. É nossa preocupação, em relação a essas expectativas, que elas de alguma maneira se relacionem com o contexto a que estão submetidas. Esse contexto é representado por uma Universidade centrada nos pilares do ensino, da pesquisa e da extensão, inscritos até na Constituição

Federal do Brasil.

Acreditamos que investigar o contexto em que propomos essa intervenção é coerente com a visão crítica que defendemos, aonde damos indiscutível importância aos aspectos sociais presentes na construção de qualquer conhecimento.

Este capítulo constitui, portanto, uma tentativa de “colocar os pés no chão” e refletir sobre o que efetivamente pensa uma pequena parte das pessoas que constituem essa Universidade. Dessa forma acreditamos que podemos ter indicativos de como uma proposta como a nossa se encaixa num contexto maior.

Baseando-nos no questionário elaborado por Dumrauf (2001) elaboramos uma entrevista semi estruturada (roteiro no anexo V) a fim de investigar a concepção de alguns docentes do Instituto de Física da USP sobre ensino, pesquisa e natureza da ciência.

Acreditamos que, em uma universidade centrada nos pilares do ensino e da pesquisa da forma como é organizada, compreender melhor essa relação é de fundamental importância, se pretendemos propor alguma forma de inovação.

Foram entrevistados sete docentes, escolhidos de forma não aleatória com a intenção de que representassem diversos grupos de pesquisa teórica e experimental. O Instituto de Física da USP (IFUSP) é composto por seis departamentos: Física Aplicada (FAP), Física dos Materiais (FMT), Física Experimental (FEP), Física Geral (FGE), Física Matemática (FMA) e Física Nuclear (FNC). A cada semestre todas as disciplinas do IFUSP ficam divididas

entre todos os departamentos, e mesmo as próprias linhas de pesquisa nem sempre se encaixam perfeitamente na temática de seus departamentos. Trata-se de uma estrutura um tanto burocrática, mas a existência desses departamentos e suas decisões frente a uma estrutura hierárquica acabam por retratar certas tendências. Assim escolhemos os entrevistados a fim de ter docentes de vários departamentos.

Para preservar o anonimato resolvemos representar os docentes entrevistados simplesmente como docente A até docente G.

A análise dessas entrevistas consistirá em uma verificação de tendências predominantes e de divergências entre as falas dos docentes. Diante desse quadro faremos um paralelo com as nossas expectativas e com alguns outros estudos encontrados na literatura.

## **7.1 Tendências e Divergências**

A primeira pergunta é sobre a forma como se ensina física no IFUSP. Os docentes A, C, D e F comentam que o ensino de física é o mesmo há muito tempo, que há uma certa estagnação.

O docente G chega a enfatizar que:

*Docente G : “(...) o nosso currículo está totalmente defasado, totalmente, digamos, esfacelado, é uma colcha de retalhos de semi-reformas feitas ao longo do tempo por razões circunstanciais sem que nunca tivesse havido uma preocupação real em mostrar o que é que deve ser ensinado, como deve ser ensinado, e o que é que não deve mais ser ensinado”*

A docente E chama a atenção para uma mudança em relação ao tempo em que foi estudante. Ela diz que o ensino hoje se tornou muito lotado de

tarefas, que os estudantes estão muito preocupados com notas e pouco preocupados em aprender. Segundo ela, isso é reflexo da expectativa que a própria instituição e a sociedade em geral passam aos estudantes nos dias de hoje.

Quase todos os docentes concordam que as disciplinas que têm um cunho teórico são basicamente construídas de exposições e de exercícios que os alunos devem aprender a resolver.

Complementarmente existem as disciplinas de cunho experimental, onde os estudantes fazem e analisam os dados de experimentos mais ou menos padronizados. Os docentes B e C chamam a atenção ao fato de que há poucas aulas experimentais.

O docente F chama atenção ao fato de que faltam no currículo disciplinas de cunho filosófico, mas que **felizmente** existem algumas poucas exceções.

Os docentes A, B, C, E e G acreditam que há pouca ou nenhuma relação entre a maneira como se ensina física e a maneira como se faz uma investigação científica. Seriam duas atividades muito diferentes.

*Docente A: "Aprender física é uma coisa e fazer pesquisa é outra. Mas, eu penso que é importante na fase de formação do aluno, que se crie nele a vontade o interesse, pela pesquisa e pela física em particular. E esse produto final que é o aluno, o físico licenciado ou bacharel, depende muito mais do esforço de cada um do que do esforço do professor"*

A docente E chama a atenção para o papel diferenciador que, uma universidade que também é de pesquisa deveria ter, e faz a seguinte crítica:

*Docente E: "... e me parece que se é para ficar treinando o menino para fazer conta e rápido... tanto faz se a universidade é ou não de pesquisa. Então eu estou achando um pouco contraditório isso"*

O docente C comenta que o ensino está longe da riqueza do trabalho científico:

*Docente C: "É uma tentativa de fazer uma coisa mais compacta, mais eficiente, mas você perde o colorido".*

Os docentes D e F vêem alguma semelhança entre a pesquisa e o ensino, mas em perspectivas bastante diferentes. A docente D argumenta que sua prática de pesquisa em física teórica é basicamente resolver problemas e que é isso que o aluno é treinado a fazer durante o curso. Já o docente F, de certa forma, faz uma crítica à própria iniciação de atividade de pesquisa, à qual os alunos são geralmente submetidos, ressaltando que nos dois casos a solução é apresentada antes da pergunta.

Uma unanimidade encontrada entre os docentes diz respeito ao quanto a sua concepção de ciência e seu trabalho de pesquisa influem na sua prática docente. Todos concordam que influem. Para o docente A, o professor transmite aos estudantes o seu entusiasmo pela pesquisa. Isso vai também na direção da seguinte fala da professora E:

*Docente E: "Com certeza. É impossível... educar como professora, é que nem educar filho. Você passa muito mais do que você é do que o seu discurso. O menino percebe mais pelo jeito que você aborda, pode até não gostar! Você pode não vender a idéia para o filho, mas é o que você passa."*

O docente G ainda acrescenta que faz isso de maneira intencional e explícita que considera a sua concepção de ciência a correta.

*Docente G: “Quem não faz desse jeito, talvez o que ele esteja fazendo seja outra coisa, que não seja ciência!”*

Na seqüência da entrevista vários dos docentes tiveram dificuldade para responder a pergunta 4 do roteiro, que trata da questão de como ensinar um estudante **se um conhecimento é ou não científico**. O docente B simplesmente declarou que não sabe responder tal questão. O docente C declarou não ter entendido a pergunta muito bem, mesmo assim ele tentou respondê-la. Ele menciona que conhecimentos científicos são aqueles que se enquadram nos cânones científicos, ou seja, que podem ser resolvidos pelos métodos e técnicas da ciência. A docente D afirma que científico é o que tem uma base experimental.

Os docentes A e G não fazem nenhuma menção de natureza epistemológica. Dizem que é necessário que o aluno tenha uma base sólida de física, sem especificar muito bem o que seria isso.

A docente E diz que na universidade se ensina apenas conhecimento científico, mas faz uma colocação interessante:

*Docente E: “então tem acreditar que o método científico revela a natureza através dos experimentos (...) e você quando discute a teoria ou discute idéias você faz atos de fé, mas pelo menos que tenha uma lógica interna dentro da sua cabeça”*

Em sua resposta a docente menciona que para entender o que é científico é necessário conhecer o processo e não apenas o resultado. Diz que nem sempre é possível mostrar aos alunos como aquele conhecimento se encaixa e é coerente com os demais e com as comprovações experimentais. Assim, ela diz que os alunos têm que ter também um ato de fé e acreditar que



aquilo é o conhecimento científico.

Um único docente mostrou ter alguma afinidade com estudos epistemológicos que efetivamente questionam o status da ciência como detentora do saber maior. Isso fica bem evidente na seguinte fala:

*Docente F: “Eu acho que esses esforços classificatórios sobre o que é científico ou deixa de ser... são... produtores de grandes equívocos. E por isso qualquer esforço nessa direção tem que ser feito com muito cuidado (...), geralmente a classificação do científico versus o não científico pode ser mais uma caixinha de preconceitos do que uma caixinha de sabedoria. O caráter sistemático da investigação científica e os critérios de verdade da ciência, NÃO produzem a verdade! Se houver a verdade... já não tem mais ciência! (...) Eu prefiro pensar da seguinte maneira: a ciência é uma forma organizada, sacramentada, estruturada, de... produção do conhecimento, e não de proferir a verdade. Esses conhecimentos são sempre provisórios, necessariamente provisórios, para serem ampliados, para serem negados, para serem desbancados. E... é mais justo pensar a ciência como um fazer humano associado ao conhecimento... prático, cosmológico, de visão de mundo, da simples compreensão dos processos naturais, mas não separado das demais convicções humanas”.*

Quando questionados sobre como se ensina esse tipo de tema aos estudantes o docente B não responde, os docentes A e G fazem considerações sobre ensinar física, não sobre ensinar se um conhecimento é científico ou não. Isso fica claro no seguinte trecho da resposta do docente G:

*Docente G: “Não se ensina..., se aprende basicamente. (...) Eu tenho a impressão que uma coisa importante pra formar um pesquisador é encontrar outras pessoas que digam para ele o que é interessante ele aprender. E isso aqui nunca foi feito. A gente ensina a mesma coisa desde que o Wataghin estava aqui”.*

Na concepção desse docente, se o estudante tiver o hardware adequado para ser físico, basta indicar os caminhos que ele aprende sozinho.

Para a docente D tudo que se ensina aos estudantes tem

comprovação experimental, e essa é uma maneira de transmitir a eles o que é conhecimento científico. A docente E comenta que os estudantes estão interessados apenas em fazer contas e não se preocupam com esse tipo de questão. O docente F defende que os estudantes precisam desenvolver uma percepção histórico filosófica e acrescenta:

*Docente F: “A ciência e tecnologia modernas, parecem ser de certa maneira a síntese do pensamento humanista e filosófico até o ponto do seu pragmatismo, não é? É uma ciência de resultados, isso não torna menos necessária, talvez torne até mais necessária a observação filosófica da ciência.”*

O docente C menciona que “no mundo ideal” os estudantes deveriam ter mais oportunidades de lidar com problemas abertos e com fundamentos da ciência, o que os tornaria mais críticos, mas faz um relato interessante contrário a esse “idealismo”, com base em sua experiência pessoal:

*Docente C: “porque por um lado a minha a experiência me diz o seguinte: eu trabalhei, trabalhei, trabalhei de forma braçal... de forma não crítica, até que um certo momento eu parei... deixe-me ver... agora que eu aprendi um pouco da tecnologia de um dado assunto, da tecnologia de uma dada disciplina, vamos dar uma volta, olhar o começo e ver os princípios. Talvez essa seja a maneira como a maioria de nós faz as coisas. Talvez os realmente grandes cientistas façam essa crítica já no primeiro momento. Talvez isso defina um grande cientista. Certo... esses caras de prêmio Nobel ou qualquer coisa parecida com isso. Mas para mim as pessoas mais normais desenvolvem um certo conhecimento técnico sobre o assunto, depois param e resolvem voltar. Alguns nem mesmo isso fazem, está certo? Conheço certas pessoas que adquirem o conhecimento técnico e tocam o conhecimento técnico até o fim. E não voltam lá pra trás pra olhar as bases daquilo.”*

Podemos perceber que há bastante divergência entre os docentes nesse sentido. Pelas suas falas aparece claramente que há certa relutância de falar sobre o que é e o que não é científico. Além disso, o fato de

que apenas dois deles problematizam o status do conhecimento científico, aponta que esses docentes/pesquisadores parecem não se preocupar muito com esse tipo de questão.

Em relação ao que consideram importante para que um estudante defina seu tema de pesquisa, no mestrado ou doutorado por exemplo, todos os docentes mencionam que deve haver uma motivação pessoal. Apenas o docente A coloca em primeiro lugar, antes da motivação, a escolha de um bom orientador.

O docente F faz uma observação de que a motivação é o principal, desde que o mestrado não seja uma coisa burocrática. Esse mesmo docente chama a atenção de que um critério também importante é a busca de interlocução com outros cientistas e centros de pesquisa, pois a pesquisa não se dá entre o homem e a natureza porque a ciência é um campo social de saberes.

O docente G comenta que o aluno deve ter um “*menu*” adequado para fazer uma boa escolha e que isso é de responsabilidade da instituição. A docente E comenta a responsabilidade do orientador no trabalho:

*Docente E: “Acho que os primeiros trabalhos têm que ser coisas que tenham chance de ter meio e fim... essa é a arte de ser orientador, que não é fácil... pegar o que tem dentro do menino de interesse, colocar dentro de um escopo aceitável na academia”.*

Um comentário do docente C vai na mesma direção. Ele afirma que um tema que desperta paixão pode ser um problema que demande mais tempo e dedicação. Nem sempre o tempo designado a um mestrado ou doutorado permite isso.

O docente F comenta que geralmente um jovem constrói as afinidades na própria interlocução com a universidade, mas que isso não é regra

pois:

*Docente F: “Há jovens que chegam na universidade ou nos centros de pesquisa já mordidos por alguma questão que eles trazem às vezes de percepções pessoais. E essas coisas são muito bonitas e precisam ser bem respeitadas porque esses jovens às vezes são um perigo! Eles trazem idéias novas, eles tiveram uma percepção, e por isso talvez sejam essencialmente bons pesquisadores.”*

Quando convidados a falar sobre os critérios que eles mesmo adotam para iniciar uma investigação, os docentes também apresentam certa convergência. Todos afirmam escolher temas de interesse pessoal, porém reconhecem que estão sujeitos e são limitados por questões práticas, principalmente no caso da física experimental, além de procurarem escolher problemas de interesse para a comunidade dos físicos. Quase todos os docentes mostram de alguma forma a preocupação de trabalhar com os chamados “problemas de fronteira” e de resolver problemas inéditos.

O docente F comenta que a mudança de área de um pesquisador pode ser benéfica:

*Docente F: “Por isso a migração de um cientista de uma área para outra geralmente é benéfica para a outra área. Que ele vai carregar métodos, perspectivas, às vezes inovadoras”*

Quanto às publicações e sua relação com um trabalho de pesquisa, quase todos concordam que devem ser publicados apenas resultados originais. Os docentes B, C, E e F de alguma forma criticam a política atual de fomento e reconhecimento dos pesquisadores que usa, como critério de enorme relevância, a quantidade de publicações. Isso fica claro nas duas falas a seguir:

*Docente B : “A razão de certa forma é uma reação à postura produtivista que a gente tem na ciência brasileira, e a praxe que se tem aqui de se fomentar excessivamente a quantidade de publicações. Então eu reajo um pouco a isso. (...)hoje em função dos alunos, eu me preocupo mais com isso e normalmente eu incentivo os alunos a publicarem seus resultados mais do que eu fazia no passado. Porque necessariamente eles vão passar por um filtro profissional que utiliza esses critérios quantitativos. Mas isso é uma aberração... é uma aberração e é imposição da realidade. Não é uma necessidade da ciência. “*

*Docente C: “Hoje em dia a pressão por publicação faz com que as pessoas... não sei se você já ouviu o que vou dizer... existe uma unidade que se chama MUP. Minimum Unity for Publishing (risos). A menor unidade de um trabalho científico que pode ser ainda publicada em algum registro. Até que as pessoas hoje em dia tendem a buscar esse mínimo para maximizar o número de publicações”*

O docente G comenta que “os periódicos têm certos padrões” que tiram um pouco a liberdade do pesquisador. Acrescenta que antigamente era diferente e menciona “certas brincadeiras” que teriam sido publicadas em artigos por Feynman, Bethe e Gamow, entre outros.

*Docente G: Atualmente as revistas começam a dizer assim, não põe essa palavra porque não gostou dessa palavra, essa palavra sugere uma reivindicação de prioridade e nós não aceitamos reivindicações de prioridade. Então aí você tem que trocar aquela palavra. Essas coisas existem. Então quando você vai publicar, você tem que publicar as coisas que eles acham que devem ser publicadas (...) quer dizer... tem mais condições de contorno mas você ainda pode brincar um pouco...*

Há também um consenso entre os entrevistados sobre como se ensina um aluno a publicar. Todos dizem que isso não se ensina de forma objetiva. Para eles o aluno aprende isso na prática, com supervisão do orientador que acaba também servindo de exemplo a ser seguido.

Na seqüência da entrevista tentamos investigar se o docente tem ou teve algum contato com estudos de filosofia. O resultado segue sistematizado

na tabela 05:

<b>A</b>	Não quer afirmar nada porque não é especialista nesse assunto. Fez leituras apenas de maneira informal mas prefere não falar sobre isso, pois não é um especialista.
<b>B</b>	Nunca leu nada. Não se interessa.
<b>C</b>	Menciona Kuhn, Poincaré e Bachelard.
<b>D</b>	Leu há muito tempo, mas não lembra.
<b>E</b>	Leu quando estudante e hoje lê menos do que gostaria.
<b>F</b>	Menciona Gaston Bachelard e Koyré.
<b>G</b>	Menciona Feyerabend e Kuhn.

Tabela 05

Vemos que dos sete docentes entrevistados, apenas três mencionam alguns autores. Claramente esse tipo de leitura não é do interesse ou não é prioridade para a maioria dos entrevistados.

Essa tendência se repete quando investigamos o contato dos docentes com textos originais históricos de física. Um resumo segue na tabela 06:

<b>A</b>	Novamente reluta em responder afirmando que não é especialista da área.
<b>B</b>	Não. Não tem isso como preocupação.
<b>C</b>	Afirma que pouco se comparado com o volume de leitura que já fez. Menciona já ter lido algo de Einstein e Newton
<b>D</b>	Não.
<b>E</b>	Já leu Faraday, mas achou chato. Leu também Heisenberg. Gosta de ler filosofia mas não gosta de ler originais.
<b>F</b>	Menciona Segré, Galileu e Gamow.
<b>G</b>	Menciona Einstein e Newton

Tabela 06

Os docentes A B, C, D afirmam não recomendar leituras de história da ciência a seus alunos. Os docentes A, C e D consideram isso uma deficiência. O docente C argumenta que costuma recomendar mais leituras de divulgação científica de boa qualidade e a docente D alega falta de tempo.

A docente E incorpora em seu curso de Física Moderna leituras de Schrödinger e de Heisenberg. O docente F diz que recomenda a seus alunos todos os autores que citou anteriormente. Já o docente G considera que a leitura de originais pode ser rica trazendo novos olhares para encarar problemas atuais,

mas não afirma explicitamente que recomenda essas leituras a seus alunos.

Sobre a importância de discutir aspectos do funcionamento da ciência com os estudantes há muita divergência. Os docentes A e G acreditam que não há benefícios. O docente A argumenta que ele próprio nunca estudou isso e não considera que um físico possa ser bom filósofo. O docente G afirma que ninguém sabe como a ciência funciona e que se alguém está preocupado com isso com certeza não é cientista. A docente E argumenta que é complicado para um aluno iniciante aprender o conteúdo científico em si e ao mesmo tempo fazer essas reflexões. Para ela esse tipo de abordagem deve vir depois que o aluno já domina o conteúdo específico.

O docente B acha que é importante discutir aspectos do funcionamento da ciência e considera que o faz trazendo aos alunos problemas reais de pesquisa. A docente D considera importante, mas afirma que ela não o faz de maneira sistemática.

Para os docentes C e F essa discussão é muito importante. O docente C, afirma que é imprescindível desmistificar a ciência. É importante mostrar que a ciência não é linear e sim uma atividade cheia de erros e descaminhos. O docente F diz que é um erro estudar a ciência desvinculada da história, como fica claro no trecho transcrito abaixo:

*Docente F: "Não há história da ciência sem ciência. Grife-se! Não Há!!! Tentar separar a história da ciência da ciência é tolice! Não há música sem história da música! Não há nenhuma atividade humana sem história, porque nós humanos somos seres históricos! Você tentar separar o fato da história do fato é uma esquizofrenia!!! Então não dá nem para falar só em benefício, não dá para separar, a menos que você adestre o fulaninho para fazer só aquilo! Mas se é*

*para fazer só aquilo, você acabou de matar o cara porque ciência é... como cientista... é um processo!"*

Quanto à imagem que os docentes gostariam que os alunos do ensino médio tivessem do que é uma carreira científica, os docentes B, C, D e F mencionam que desejariam uma imagem menos mistificada do que é o trabalho científico. A docente D descreve a imagem que gostaria que os alunos tivessem:

*Docente D: "A imagem das pessoas que fazem aquilo que elas gostam, que passam estudando o tempo todo porque isso é divertido. E que isso é legal e que ela pode dedicar o tempo dela pra fazer essas coisas que são gostosas de serem feitas."*

O docente A não responde a pergunta de forma objetiva mas menciona que a universidade deveria interagir mais com a escola média, trazendo os alunos para o ambiente da pesquisa ou levando pesquisadores até as escolas. Na mesma direção, o docente G gostaria que os estudantes tivessem uma imagem mais real do que se faz aqui, mas não explicita que imagem seria essa. Ele acha que seria importante que o professor da escola média tivesse uma vivência como pesquisador para passar essa imagem.

Os docentes C e D mencionam que o que é ensinado na escola média de hoje mostra uma física que não tem nada a ver com o que é a atividade científica. Para o docente C, leituras de divulgação científica ajudariam muito, tanto professores quanto alunos, a verem a física de maneira mais interessante. A docente D comenta que o uso de ficção científica poderia motivar muito os alunos, mostrando que a atividade científica é criativa.

A docente E comenta a dificuldade do ensino médio, no formato que tem hoje, de atender as expectativas tanto do aluno que tem afinidade com



um conhecimento mais matemático e formal, quanto do aluno que não tem esse interesse.

O docente F acha que o ensino tem que mostrar a física como instrumento para pensar sobre o mundo e para transformar o mundo. Acha que o estudo da física deve servir para compreender a cultura do nosso tempo e também para tomar decisões. Na fala a seguir, o docente F faz uma analogia entre carreira de físico e outras carreiras profissionais:

*Docente F: "Eu gostaria que ele visse a carreira científica de uma forma parecida com uma carreira desportiva, ou artística, ou de uma profissão liberal, médico, engenheiro etc. Ou arquiteto. Como um arquiteto, ou um artista, ou um médico aprendem, aperfeiçoam, desenvolvem conhecimentos, técnicas, produtos, e fazem isso usando equipamentos e conhecimentos que já estão disponíveis e produzindo novos conhecimentos (...) E também com os esportes. Você tem milhares de jogadores que vão jogar, fazem seus gols, se divertem e etc. e tem alguns que se destacam pelas jogadas especiais, pelo brilho especial e etc. Então com a ciência é assim também, ver como mais uma atividade que é razão de vida e é meio de vida."*

A partir dessa análise podemos diagnosticar que uma Universidade real é formada por muitas cabeças com pensamentos muito distintos do que é pesquisar e do que é ensinar. Essa relação é complexa e talvez pudesse ser tema para um estudo específico mais amplo. O que extraímos desse quadro, no momento, é que existem brechas para propostas de inovação como, eventualmente, a que trazemos nesse estudo, mas não há grandes espaços.

Ressaltamos aqui que tanto o questionário dos pesquisadores argentinos, quanto o nosso, tem como pano de fundo os trabalhos de Latour. Os questionários visam trazer à tona por meio das falas dos cientistas aspectos que influem no seu trabalho, de maneira bastante significativa, e que são aspectos de

natureza sociológica.

Esses aspectos evidenciam o quão mais completo é olhar para a atividade científica e tentar compreendê-la dando espaço para que venham à tona aspectos externos à epistemologia. Ao falar de escolhas de temas de pesquisa, dos meios para publicá-la, de como se tornar destaque em ciência surgem claramente elementos sociais que fazem parte e influem na atividade de pesquisa na construção do conhecimento científico, e provavelmente, na atividade docente.

## **7.2 Docentes e Pesquisadores: Algumas outras visões**

Primeiramente podemos esboçar um perfil dos docentes por nós entrevistados e fazer algumas comparações com os resultados trazidos por Dumrauf (2001), refletindo sobre docentes pesquisadores argentinos, da Universidad Nacional de La Plata.

Em comum detectamos uma insatisfação dos docentes com o ensino que os estudantes recebem, porém, diferentemente do caso do estudo Argentino, os docentes do IFUSP não indicam uma causa comum para essa insatisfação. A pesquisa de Dumrauf aponta que a causa do problema, segundo os docentes, é a falta de condições de se desenvolver a criatividade dos alunos. Segundo os docentes que entrevistamos nesse estudo, podemos apenas apontar que a maioria deles não considera o ensino no IFUSP elogiável. Vários deles chegam a considerar boa a parte teórica do curso mas notam deficiências no aspecto experimental. Outros consideram o curso muito preso ao modelo exposição e resolução de problemas, avaliando positiva ou negativa essa

realidade. Uma frase da docente E pode ser um indicador da média da avaliação desses docentes com relação ao curso:

Docente E: *“(...) eu diria que o ensino de física não é aquele que eu acho que deva ser o ensino de física.”*

Outra insatisfação por nós detectada tem alguma semelhança com a detectada nos docentes argentinos: **a insatisfação com a política atual de pesquisa que exige um grande número de publicações**. A crítica de ambos os grupos de docentes vai no sentido de que problemas inovadores demandam mais tempo para serem resolvidos. Para publicar muito, é necessário escolher problemas mais simples e que se encaixem melhor numa linha de pesquisa mais rígida. Isso deturpa a idéia de uma ciência criativa que busca inovação e progresso no conhecimento.

Outro aspecto interessante que pode ser extraído das entrevistas e comparado com resultados da literatura é de cunho mais epistemológico. Trata-se das concepções que os cientistas têm ou deixam de ter sobre a atividade científica. É perceptível uma visão do mundo da prática científica que se aproxima muito da concepção positivista.

Segundo Fernandez et al (2003), as concepções empírico-indutivistas que em geral são transmitidas pelos meios de comunicação, afetam os cientistas, pois seria ingênuo pensar que estes estão sempre conscientes de seus métodos de investigação. Isso de certa forma corrobora com nossos resultados.

Uma hipótese para explicar essa tendência é trazida por Laburú e Silva (2000):

*“É interessante notar que, nas últimas décadas, parece haver um distanciamento das questões filosóficas por uma parte representativa dessa comunidade. À primeira vista, estes cientistas dão a entender que, para eles, estas questões são desnecessárias ou estão desvinculadas de um necessário progresso para o crescimento da compreensão da área. Isto pode ser visto principalmente a partir da segunda metade deste século, quando uma geração destes profissionais, já tendo nascido e convivido com as novas idéias revolucionárias da física do início do século, começa a se distanciar mais das preocupações metafísicas e filosóficas, baseadas nos "porquês" do comportamento da natureza, fixando-se mais nos "como". Esta nova geração, em função, muito provavelmente, da maneira peculiar pela qual a natureza intrínseca do mundo se comporta (Feynman 1992, p. 29; 1989, p. 166), trabalha com teorias que rompem com modelos mentais intuitivos, com o senso comum, com imagens mecânicas, em que bolinhas, trajetórias e relações deterministas deixam de fazer o menor sentido e pouco ou nada contribuem para o desenvolvimento das teorias. Esta nova postura epistemológica(...), faz com que a citada geração reconheça nos formalismos matemáticos, o exclusivo caminho que conduz ao avanço objetivo, no sentido da interlocução dos protagonistas, portanto, não necessariamente ontológico.” (Laburú e Silva, 2000, p.13)*

Ainda citamos aqui uma interessante frase de Feynman que corrobora com o fato que constatamos da falta de interesse dos cientistas em pensar a própria prática.

*“Então o que a ciência de fato é, não é aquilo que os filósofos disseram que ela é, e certamente não é o que a edição do professor diz que é. Ao aceitar dar esta palestra resolvi que faria tudo para descobrir o que ela é. Depois de algum tempo, fui lembrado de um pequeno poema: Uma centopéia estava bem feliz, até que um sapo a rir disse, "Oras, qual perna vem depois de qual?" O que levantou suas dúvidas de forma tal, que ela se distraiu de maneira total, sem saber como fugir. Toda minha vida eu venho fazendo ciência sabendo o que ela é, mas o que eu disse agora - qual perna vem depois de qual - eu não sei responder e, mais ainda, fico preocupado, por analogia com o poema, que quando eu chegar em casa eu não consiga mais fazer pesquisa alguma.” (Feynman, 1968, p.315)*

Essa consideração trazida por Feynman pode nos dar algum

“*insight*” sobre a relutância dos físicos em pensar a própria prática. Nossa concepção de Ensino, porém nos leva a argumentar na direção contrária. Um Físico não é apenas um pesquisador solitário ou solidário tão somente com seus confrades. Consciente disso ou não, um pesquisador é um profissional engajado em uma sociedade na qual e para a qual deve orientar suas ações.

Creemos que cabe à educação tanto a formação do profissional, que servirá criticamente na comunidade de pesquisadores , quanto a formação do cidadão crítico, que deverá agir na sociedade a fim de transformá-la para melhor de forma consciente. Nessa perspectiva é imprescindível que o sujeito pense sua prática, para conhecer o mundo numa perspectiva de ação-reflexão.

Nossa proposta é uma tentativa de inovação no sentido em que pretende, pelo menos em parte, acrescentar à formação de pesquisadores essa dimensão do pensar criticamente a própria prática.

## Considerações Nada Finais

“Se tivéssemos o saber absoluto não poderíamos continuar sabendo”

Paulo Freire

Começaremos essas breves considerações nada finais discutindo o referencial teórico usado nesta pesquisa. Há algum tempo, filósofos e epistemólogos sinalizam o uso da história e da filosofia da ciência no ensino. Que contribuições novas trazemos então, ao utilizar alguns conceitos de Latour no ensino de física? Trata-se de trazer um novo olhar sobre a construção da física e seu ensino que, além de estabelecer relações diferentes com o conhecimento de história e filosofia da ciência, reforça a importância da observação da prática científica propriamente dita, objeto de estudo de Bruno Latour.

Nas universidades, quando efetivamente se fala em mudanças curriculares em um curso de bacharelado, as preocupações geralmente estão relacionadas à quantidade e natureza de disciplinas físico-matemáticas e de práticas laboratoriais, normalmente denominadas de disciplinas teóricas e experimentais, em geral tratadas erroneamente de forma autônoma.

Numa universidade que deve ser regida pela indissociabilidade entre ensino e pesquisa, detectamos neste estudo uma grande distância entre essas duas atividades, à qual é preciso dedicar atenção. Com raras exceções, aceita-se a existência de uma comunidade de pesquisadores que separa sua

pesquisa das atividades de ensino relacionado com a formação de futuros pesquisadores. Parece-nos um quadro um tanto esquizofrênico que é necessário problematizar.

Por outro lado, trata-se essencialmente de uma comunidade de pesquisa que, como indicam as entrevistas com os docentes, não reflete uma preocupação com a essência de sua atividade e com a natureza da ciência. Essa não consciência explícita da existência do que chamaremos de uma circulação interna de fatos científicos e sua importância, dificulta a inclusão dos futuros cientistas nesse processo.

Creemos que, mesmo em sala de aula, aquela indissociabilidade deveria ser posta em prática. Assim, com exceção dos estudantes que fazem iniciação científica ao longo do curso, a maior parte deles não tem nenhum contato com a prática de pesquisa, vital para seu futuro como pesquisadores e como docentes universitários.

Nossa pequena intervenção descortina alguns elementos que podem despertar reflexões nos estudantes acerca da atividade científica e da natureza da ciência. Creemos que tais reflexões são importantes para fornecer uma formação crítica e consciente, como aprendemos da leitura de Paulo Freire.

A visão de ciência que propomos ensinar compreende uma prática que, além de minimamente ser respeitosa ao futuro pesquisador, no que diz respeito de que tenha seu espírito crítico estimulado e não diminuído durante sua formação, possa também construir uma ciência mais inclusiva que permita que sonhemos com a mensagem que Brecht coloca na boca de seu personagem Galileu:

*“Eu sustento que a única finalidade da ciência está em aliviar a canseira da existência da existência humana. E se os cientistas, intimidados pela prepotência dos poderosos, acham que basta amontoar saber, por amor do saber, a ciência pode ser transformada em aleijão, e as suas novas máquinas serão novas aflições, nada mais.” (Brecht, 1991, p. 165)*



## Referências

ARRUDA, S.M. E VILLANI, A. - **Sobre As Origens Da Relatividade Especial: Relações Entre Quanta E Relatividade Em 1905.** *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.13, n1: p.32-47, abr.1996.

BACHELARD, G. - **Epistemologia.** Trechos escolhidos por D. Lecourt. Zahar Editores, Rio de Janeiro, 1977.

BARROS, E., - **A realidade do mundo da ciência: Um desafio para a história, a filosofia e a educação científica.** *Revista Ciência e Educação*, vol. 5, n.1, p. 15-16, 1998.

BAPTISTA, J. - **Os princípios fundamentais ao longo da história da física.** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol.28, n. 4, São Paulo, 2006.

BATISTA, I. – **O ensino de teorias físicas mediante uma estrutura histórico-filosófica.** *Revista Ciência e Educação*, v. 10, n. 3, p. 461-476, 2004.

BEM-DOVE, Y. - **Convite à Física.** Ed. Jorge Zahar, Rio de Janeiro, 1996.

BODANIS, D. -  **$E=mc^2$  A biografia da equação que mudou o mundo.** , Ediouro, Rio de Janeiro, 2001.

BRECHT, B. – **Vida de Galileu.** In: Teatro Completo, Editora Paz e Terra, Rio de Janeiro, vol 6., 2ª edição, 1991.

CALAPRICE, A. - **Assim falou Einstein.** Rio de Janeiro: Civilizações Brasileiras, 1998.

CARVALHO, A., MION, R. - **As implicações da relação CTS: A formação de professores de ciências Naturais via rede sócio-técnica.** *Atas do V Encontro Ibero-Americano de Coletivos Escolares e de Rede de Professores que fazem investigações na sua escola.* Lajeado, Junho 2005.

CARVALHO, A., MION, R., SOUZA, C. - **Abordagens CTS na formação de professores (investigador ativo) de física em rede sócio técnica.** *Atas do V ENPEC*, Bauru, 2005.

DELIZOICOV, D. – **Problemas e Problematizações.** In: PIETROCOLA M. (organizador), *“Ensino de Física”*, Editora da UFSC, Florianópolis, 2001.

DELIZOICOV, D. – **Pesquisa em ensino de ciências como ciências humanas aplicadas**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 21, n. 2, p. 145-175, agosto/2004.

DELIZOICOV, D. CASTILHO, N., CUTOLO, L. R. A. e DA ROS, M. A. – **Sociogênese do conhecimento e pesquisa em ensino: contribuições a partir do referencial fleckiano**. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 19 (Especial): 52-69, 2002.

DUMRAUF, A. – **Esas otras cosas que se enseñan que no son física: imágenes de ciencia y prácticas docentes en una experiencia universitaria de enseñanza de física**. *Investigações em Ensino de Ciências*, Vol. 6, N.1, março 2001.

EL-HANI, C. N. – **Notas sobre o ensino de história e filosofia da ciência na educação científica de nível superior**. In: CELESTINO, C. (organizadora), “*Estudos de História e Filosofia das Ciências*”, Editora Livraria da Física, São Paulo, 2006.

EINSTEIN, A. - **Escritos da Maturidade**, Nova Fronteira, Rio de Janeiro, 1994.

EINSTEIN, A. - **Notas autobiográficas**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982.

EINSTEIN, A. INFELD, L.- **A evolução da física**. Rio de Janeiro: Zahar, 1966

FERNÁNDEZ, I.; GIL, D.; VILCHES, A.; VALDÉS, P. ; CACHAPUZ, A.; PRAIA, J.; SALINAS, J. - **El olvido de la tecnología como refuerzo de las visiones deformadas de la ciencia**. *Revista Electrónica de Enseñanza de Las Ciencias*, v. 2, n. 3, monográfico. Artículo 2. Disponível em: <http://www.saum.uvigo.es/reec>. Acesso em: 2005.

FEYNMAN, R. - **The Physics Teacher**. Vol. 7, edição 6, p. 313-320, 1968.

FREIRE, P. - **Extensão ou Comunicação?**, Rio de Janeiro, Editora Paz e Terra, 1992.

FREIRE, P. – **Pedagogia da autonomia. Saberes necessários à prática educativa**. Rio de Janeiro, Editora Paz e Terra, 1997.

GEYMONAT, L. - **Elementos de filosofia da ciência**. Editora Gradiva, Lisboa, 1987.

GEYMONAT, L. - **Ciencia y realismo**. Ediciones Península, Barcelona, 1980.

GRECA, I. , FREIRE JR, O. - **A “Crítica Forte” da Ciência e Implicações Para a Educação em Ciências**. *Revista Ciência e Educação*, v. 10, n. 3, p. 343-361, 2004.

HALLIDAY , RESNICK - **Fundamentos de Física Vol 4**. Livros técnicos e científicos Editora S, Rio de Janeiro 1995.

JAMMER, M. - **Concepts of mass**, Harvard College, 1961.

KUHN, T. - **A Estrutura das Revoluções Científicas**, Perspectiva, 2005.

KUHN, T. – **A Função dogma da investigação científica”** In: DEUS, J. D. (organizador), *A Crítica da Ciência*”. Rio de Janeiro, 1974.

LABURÚ, C., DA SILVA, M. - **Do Relativismo no Ensino de Física ao Objetivismo Na Física**. *Revista Investigações em Ensino de Ciências*, Vol. 5, N. 2, agosto de 2000.

LATOUR, B. – **A Esperança de Pandora**, Bauru, EDUSC, 2001.

LATOUR, B. , WOOLGAR. S. – **A Vida de Laboratório**. Rio de Janeiro, Relume Dumará, 1997.

LATOUR, B. - **Ciência em ação**. Bauru, EDUNESP, 2000.

LÉVY-LEBLOND, J-M., LATOUR, B. - “**Il ne faut plus qu’une science soit ouverte ou fermée.**” Entretien por la revue *Rue Descartes: Jean-Marc Lévy-Leblond interroge Bruno Latour*. Disponível em: <http://revolution.celeonet.fr/lofiversion/index.php?t3663.html>. Acesso em: 12/1/2008.

MARTINS, R. A.- **Como distorcer a física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física* 15 (3): 265-300, 1998.

MARTINS, R. - **A Relação massa-energia e energia potencial**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 6, págs 56-80, jun 1989.

MARTINS, R., A. – **Física e História**. *Ciência e Cultura*, vol 57, n.3, São Paulo, Julho/Setembro 2005.

MARULANDA, C. - **La Formación de Ingenieros Para la Participación Pública en Ciencia y Tecnología**. *Revista Alexandria*, v.1, n.1, p. 91-108, mar. 2008.

MATTOS, C. - **História Da Ciência, Interdisciplinaridade E Ensino De Física: O Problema Do Demônio De Maxwell**. *Revista Ciência e Educação*, v. 10, n. 3, p. 477-490, 2004.

MENEZES, L. C. - **A matéria uma aventura do espírito**, Editora Livraria da Física, São Paulo, 2005.

MORAES, G. , KARAM, R. - **A Suposta Mudança Epistemológica de Albert Einstein** . *Atas do X EPEF*, Londrina, 2006, CD-rom.

OLIVEIRA, J. e QUEIROZ, S. – **O desenvolvimento de habilidades de comunicação científica em disciplinas de cursos de graduação em química**. *Atas do V ENPEC*, n.5 novembro de 2005.

OSTERMANN, F. - **Relatividade restrita no ensino médio: Os conceitos de massa relativística e de equivalência massa energia em livros didáticos de Física**. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 21, págs 83-102, abril 2004.

PAGLIARINI, C. - **Uma análise da história e filosofia da ciência presente em livros didáticos de física para o ensino médio**. *Dissertação de Mestrado*. USP, São Carlos, 2007.

PALÁCIOS, M. – **O Programa Forte da Sociologia do Conhecimento e o Princípio da Causalidade**. In: VERA PORTOCARRERO (organizadora), *“Filosofia, História e Sociologia das Ciências”*, Editora Fiocruz, Rio de Janeiro, 1994.

PEREZ, G., MONTORO, I., ALIS J., CACHAPUZ A., PRAIA J. - **Para Uma Imagem Não Deformada Do Trabalho Científico**. *Revista Ciência e Educação*, v.7, n.2, p.125-153, 2001.

PIAGET J, GARCIA, R. – **Psicogênese e História das Ciências**. Publicações Dom Quixote, Lisboa, 1987.

PIETROCOLA, M. - **Construção E Realidade: O Realismo Científico De Mário Bunge E O Ensino De Ciências Através De Modelos**. *Revista Investigações em Ensino de Ciências*, v.14, n.3, p.1-12, 1999.

POPPER, K. R. - **Conhecimento objetivo: uma abordagem evolucionária**. São Paulo: USP, 1975.

QUEIROZ, S. – **Do fazer ao compreender ciências: reflexões sobre o aprendizado de estudantes de iniciação científica em química**. *Ciência e Educação*, v.10, n.1, p.41-53, 2004.

ROSA, L. - **A Física entre a Guerra e a Paz - Reflexões Sobre a Responsabilidade Social Da Ciência**. *Revista Ciência Cultura*, vol.57, n.3, São Paulo, 2005.

SANTOS, G., QUEIROZ, S. – **O papel da leitura e discussão de artigos científicos no favorecimentos da compreensão dos estudantes sobre a natureza da ciência: um estudo preliminar.** *Atas do V ENPEC*, Bauru, 2005.

SCHENBERG, M. - **Albert Einstein - Pensamento político e últimas conclusões**, São Paulo: Editora Brasiliense, 1983.

SEGRÈ, E. - **Dos Raios X aos Quarks**, Brasília, Editora Universidade de Brasília, 1980.

SENRA, N. – **O ensino da prática de pesquisa, vivência e consciência.** *Revista da Ciência da Informação*, vol.1 n. 6, dezembro 2000.

STACHEL, J. - **O Ano Miraculoso de Einstein: Cinco Artigos que Mudaram a Face da Física**, editora UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

STENGERS, I. – **A invenção das ciências modernas.** São Paulo, Editora 34, 2002.

TERRA, P. - **O Ensino De Ciências e o Professor Anarquista Epistemológico.** *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 19, n.2: p.208-218, ago. 2002.

THORNTON S., REX A. - **Modern Physics.** Saunders College Publishing, Orlando 2000.

VIANNA D., CARVALHO, A.M. - **Do fazer ao ensinar ciência. A importância dos episódio de pesquisa na formação de professores.** *Investigações em Ensino de Ciências*. Vol. 6, n.2, agosto 2001.

VIDEIRA, A. – **Breves considerações sobre a natureza do método científico.** In: CELESTINO, C. (organizadora), *“Estudos de História e Filosofia das Ciências”*, Editora Livraria da Física, São Paulo, 2006.

VIEIRA, S., BARROS, A., ARAÚJO, I., OLIVEIRA, J. C. T. – **Uma comparação entre deduções da equação  $E=mc^2$ .** *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 26, n. 2, p. 93 - 98, 2004.

WESTPHAL, M., PINHEIRO, T. - **A Epistemologia De Mario Bunge E Sua Contribuição Para O Ensino De Ciências.** *Revista Ciência e Educação*, v. 10, n. 3, p. 585-596, 2004.

WHITROW, G. J. – **Einstein, el hombre y su obra.** México, Siglo Veintiuno Editores, 3ª edição, 1967.

ZANON, D., ALMEIDA, M., J., QUEIROZ, S. – **Contribuições da leitura de um texto de Bruno Latour e Steve Woolgar sobre a vida de laboratório por graduandos em química.** *Atas do V ENPEC*, Bauru, 2005.

# Anexo I

**USP** Júpiter - Sistema de Graduação

Instituto de Física

Física Aplicada

Disciplina: FAP0212 - Física IV

**Créditos Aula:** 6  
**Créditos Trabalho:** 0  
**Carga Horária Total:** 90 h  
**Tipo:** Semestral  
**Ativação:** 01/01/1995

## Objetivos

Introduzir aplicações do eletromagnetismo a alunos que já conhecem as equações de Maxwell.

## Programa Resumido

### Programa

Equações de onda no vácuo. Materiais dielétricos e materiais magnéticos. Equação de uma onda em meios materiais. Reflexão e refração. Princípios de Huygens e de Fermat. Interferência. Coerência. Difração. Lei de Bragg. Radiação emitida por cargas aceleradas. Eletromagnetismo e relatividade.

## Avaliação

### Método

Auais expositivas.

### Critério

Provas mensais.

### Norma de Recuperação

Com 2a avaliação.

## Bibliografia

1) Curso de Física de Berkeley, Vol. 2, eletricidade e magnetismo, E.M. Purcell. 2) Curso de Física Básica, Vol. 4, H.M. Nussenzveig.

## Anexo II

### Aulas

1. Circuitos – elementos
2. circuitos: corrente contínua
3. circuitos: corrente contínua
4. circuitos: corrente alternada
5. circuitos: ressonância
6. circuitos: impedância
7. circuitos: linhas de transmissão
8. linha de transmissão
9. linha de transmissão
10. linha de transmissão: energia
11. linha de transmissão: ondas
12. ondas no vácuo: a equação
13. ondas no vácuo: energia
14. ondas no vácuo: polarização
15. ondas no vácuo: aspectos geométricos
16. interferência e difração
17. difração
18. relatividade : impactos e princípios
19. relatividade: dilatação do tempo
20. relatividade: contração do espaço e simultaneidade
21. transformações de Lorentz : aplicações
22. transformações de Lorentz: aplicações
23. adição de velocidades
24. relatividade: transformações de campos e densidades
25. relatividade: campos elétricos e magnéticos
26. relatividade: campos elétricos e magnéticos
27. cargas em movimento uniforme
28. radiação
29. radiação
30. radiação

## Anexo III

Atividade de Física 4

diurno-2006

O UNIVERSO FÍSICO CLÁSSICO

X

O UNIVERSO FÍSICO RELATIVÍSTICO

Essa atividade pretende um exercício de raciocínio e imaginação. Einstein como o pai da teoria da relatividade em alguns dos muitos escritos que deixou comenta as suas experiências de pensamento. Tratam-se de situações imaginadas, mas que podem ajudar a resolver um problema científico.

Aqui estamos propondo a você uma espécie de experiência de pensamento. Analisando os quadros que representam os universos da física clássica e da Relatividade Restrita e baseado na discussão feita em aula, preste atenção na incoerência criada pela relação massa-energia (p. 177 e 178 da apostila). É razoável que uma entidade seja palco e ator?

Segundo o texto da apostila essa incoerência só será solucionada com a formulação da Relatividade Geral, em 1915. Imagine que você é um físico em 1905 e se depara com a proposta de Einstein da relação  $E = mc^2$ . Como você interpreta essa proposta? Você consegue imaginar alguma forma no quadro do universo relativístico que diminua essa incoerência? Como você justificaria a mudança de um universo sem aparentes incoerências, o universo clássico, para um outro universo que apresenta uma profunda contradição? Escreva o que você pensa sobre o tema.

Não pretendemos que vocês façam uma pesquisa bibliográfica e muito menos que reproduzam textos encontrados na literatura. A idéia é que vocês mergulhem em um processo de reflexão e imaginação para depois escreverem livremente. Não haverá resposta certa ou errada. Nós discutiremos as idéias de vocês e daremos continuidade a essa atividade que certamente enriquecerá o nosso curso.



## Anexo IV

Atividade de Física 4  
diurno-2006

### ***Alguns Elementos Históricos para Reflexão***

Na atividade anterior você foi convidado a refletir sobre a passagem do universo clássico para o universo relativístico. Com o intuito de enriquecer sua reflexão sobre a relação massa energia, que representava uma inconsistência apresentada no surgimento da Relatividade Restrita, o texto a seguir traz alguns elementos históricos para você conhecer, pensar e questionar.

As questões a seguir são um convite para aprofundar essa reflexão. Além de elementos do texto você pode utilizar seus conhecimentos e buscar outras fontes se sentir necessidade. As referências no final do texto são uma sugestão.

#### **Questão 1**

"Einstein descobriu a relação massa energia em 1905".

Você acha que Einstein foi o único físico daquele período que descobriu a relação massa energia exatamente em 1905?

#### **Questão 2**

Entre o primeiro artigo que fazia menção à relação massa-energia e sua "aceitação" pela comunidade científica que, segundo Stachel, ocorreu em 1916, passaram mais de 10 anos.

Você seria capaz de identificar alguns dos elementos (conceituais, metodológicos, filosóficos, sociais, etc) que levaram à aceitação da teoria dentro e fora da comunidade científica?

## A FORMULAÇÃO DA EXPRESSÃO $E=mc^2$

A expressão da massa energia é uma (senão a) das expressões mais populares da Física. Ela foi formulada por Einstein em seu ano miraculoso de 1905. Surgiu no final do artigo "Sobre a eletrodinâmica de corpos em movimento" e foi explorada em um artigo posterior, do mesmo ano, intitulado "A inércia de um corpo depende de seu conteúdo de energia?". Para compreender mais a fundo o significado e a origem dessa expressão permitamos um olhar histórico mais amplo.

### 1 Um breve Histórico dos estudos sobre a massa e a energia

A tabela\* abaixo apresenta um resumo dos trabalhos científicos que fazem alguma referência a algum tipo de relação entre massa energia, dividida nos três grandes domínios da física do fim do século XIX.

Eletromagnetismo e Óptica	Termodinâmica	Mecânica
<b>1873 – Maxwell</b> Previsão teórica de que as ondas deveriam exercer pressão sobre os corpos que absorvem radiação. <sup>(1)(2)</sup>	<b>1876 – Bartoli</b> Deduz que a luz deve exercer uma pressão de radiação sobre uma superfície refletora <sup>(1)(2)</sup>	
<b>1881 – Tomson e Fitzgerald</b> Energia da carga elétrica em movimento <sup>(1)</sup> $W = \frac{e^2 v^2}{3ac^3}$		
<b>1884 – Boltzmann</b> Usando elementos da teoria eletromagnética, aperfeiçoa e generaliza os argumentos da teoria de Bartoli <sup>(2)</sup>		
<b>1889 – Heaviside</b> Equações mais exatas a cerca da massa de elétrons em movimento usando o cálculo de operadores <sup>(1)</sup>	<b>1901 – Lorentz</b> Momento da Radiação na cavidade <sup>(2)</sup> $p = \frac{2\mu_0 e^2}{2a} v$	
<b>1893 – J. Thomson</b> Define a densidade de momentum do campo eletromagnético <sup>(2)</sup> $\vec{g} = \frac{\vec{S}}{c^2}$	<b>1904 – Hasenohrl</b> Estuda as propriedades entre massa e energia para caixa com radiação acelerada. Tudo se comporta como se a massa fosse maior. Chega à expressão: <sup>(1)(2)</sup> $m = \frac{4}{3} \frac{E}{c^2}$	
<b>1895 – Larmor</b> Toda a matéria é constituída apenas por cargas, sendo toda a inércia de um corpo de origem eletromagnética <sup>(1)</sup>	<b>1907 – Planck</b> Trabalhos que vêm a estender a relatividade para a mecânica e a termodinâmica <sup>(3)</sup>	

Eletromagnetismo e Óptica	Termodinâmica	Mecânica
<b>1898 – Lenard</b> Faz medidas de $e/m$ para raios com velocidade até $c/3$ <sup>(2)</sup>		<b>1912 – Lorentz</b> Formulação mais geral, clara e coerente <sup>(2)</sup>
<b>1900 – Poicaré</b> Propõem a relação da massa energia para radiação livre <sup>(2)</sup> $\rho = \frac{\varepsilon}{c^2}$		
<b>1901 – Kaufmann</b> Experimentos com raios beta detectam a variação da massa do elétron. <sup>(2)</sup>		
<b>1901 – Lebedev, Nichols e Hull</b> Confirmação experimental dos resultados previstos por Boltzmann <sup>(1)</sup>		
<b>1901 – Wien</b> Variação da massa com a velocidade <sup>(2)</sup> $m = \frac{1}{v} \frac{dW}{dv} = \frac{2}{3} \frac{e^2}{Rc^2} \left(1 + \frac{10}{12} \frac{v^2}{c^2}\right)$		
<b>1902 – Abraham</b> Modelo para calcular as variações transversais e longitudinais da massa <sup>(1)</sup>		
<b>1904 – Bucherer</b> Elétron que se contrai pelo movimento <sup>(1)</sup>		
<b>1904 – Lorentz</b> Equação "correta" para a variação da massa com a velocidade <sup>(2)</sup>		
<b>1905 – Einstein</b> Publicação dos artigos, entre os quais o que introduziu o que chamamos hoje de relatividade. Aparece como consequência o fato de que a luz deve transportar momentum pela relação: $K = mc^2(\gamma - 1)$ Em seguida publica outro artigo no qual discute e chega efetivamente na relação correspondente <sup>(3)</sup> : $E_0 = mc^2$		

\* As informações da tabela são retiradas das seguintes fontes:

- (1) Martins, Roberto. A Relação massa-energia e energia potencial. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 6, págs 56-80, jun 1989.
- (2) Martins, Roberto. Física e História.
- (3) Ostermann, Fernanda. Relatividade restrita no ensino médio: Os conceitos de massa relativística e de equivalência massa energia em livros didáticos de Física. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, 21, págs 83-102, abril 2004.

## 2 Dois artigos de Einstein de 1905

Segundo Stachel (2001) o trabalho de Einstein sobre a relatividade brotou de seu interesse pela termodinâmica e pela óptica. Nos últimos anos do século XIX, ele estava supostamente familiarizado com o princípio da relatividade da mecânica. Supõe-se também que tivesse conhecimento dos trabalhos de Maxwell e Hertz e que já por volta de 1899 tivesse idéias semelhantes às de Lorentz, apesar de não haver evidência de que ele houvesse, efetivamente lido os trabalhos de Lorentz. As evidências apontam que apenas em 1902, Einstein já teria tido contado com os trabalhos de Drude, Helmholtz, Hertz, Lorentz, Voight, Wien e Flopl.

O primeiro artigo de Einstein de 1905 apresenta uma nova cinemática consistente com a eletrodinâmica de corpos em movimento. Ele começa comentando a teoria eletrodinâmica de Maxwell e apresentando, através de um exemplo, a conjectura da não existência de um referencial absoluto. Usa ainda como argumento as tentativas

mal sucedidas de detectar o éter luminífero.

O artigo começa fazendo uma discussão e apresentando um conceito de simultaneidade baseado em exemplos detalhados. Em seguida são apresentados os dois postulados que irão sustentar a teoria.

Os postulados seguem as noções das transformações relativísticas apresentando novas noções de tempo e espaço. Em seguida aparecem as transformações de coordenadas relativísticas. Na seção que sucede são discutidas as implicações físicas de tais transformações: a dilatação do tempo e a contração do espaço.

Na seqüência aparece como ficam as transformações de velocidades entre sistemas, segundo a teoria apresentada e as conseqüências disso para as equações de Maxwell-Hertz e suas forças. Também discute as conseqüências para o Efeito Doppler.

É em outra seção que Einstein comenta as transformações apresentadas para a luz, discutindo como ficam a energia e a freqüência também para outras radiações em espelhos perfeitos. Ainda comenta os efeitos para as equações de Maxwell-Hertz considerando correntes de convecção.

Por fim apresenta e discute em detalhe a dinâmica do elétron, suas variações de massa (longitudinal e transversal) generalizando em seguida essas variações para qualquer ponto material ponderável. Dessa seção resulta a expressão da energia extraída de um campo eletrostático. Einstein ainda apresenta em tópicos as considerações finais sobre o movimento do elétron.

O artigo seguinte intitulado “A inércia de um corpo depende de seu conteúdo de energia?” tem o intuito de explorar melhor a relação, que aparece como produto da sua eletrodinâmica, entre a massa e a energia.

Para tanto ele lança mão de uma discussão sobre a energia de um sistema de ondas planas, sujeito às transformações sugeridas em seu artigo anterior. Fazendo algumas manipulações chega à conclusão de que um corpo emitindo certa energia tem sua massa decrescida numa razão proporcional ao inverso da velocidade da luz ao quadrado. É possível extrair do fim do texto as seguintes conclusões:

“... a massa de um corpo é uma medida de seu conteúdo de energia (...) a radiação transporta inércia entre os corpos que a emitem e a absorvem”. (Einstein apud Stachel, 2001, p. 186).

Em suas conclusões Einstein deixa entender que a massa inercial está associada com todas as formas de energia, porém efetivamente estabelece o resultado apenas para a emissão de radiação eletromagnética. Em 1906 e 1907 ele tenta fornecer elementos mais gerais a favor da equivalência completa, mas não obtém a generalidade total que aspirava (Stachel 2001).

### **3 Do artigo à aceitação**

Algum tempo depois da publicação Einstein recebeu uma carta de Planck pedindo esclarecimentos sobre seu artigo. Os dois se corresponderam durante o outono de 1905. Foi o próprio Planck que escrevendo vários artigos desenvolveu mais conseqüências do princípio da relatividade, o que chamou a

as equações do movimento do elétron. Alguns dos ouvintes da palestra ficaram impressionados.

Em 1907 Einstein se correspondia com Planck, Laue, Wien e Minkowski. Por volta de 1908 a teoria era amplamente discutida na língua alemã, compreendida essencialmente como uma outra versão da teoria do elétron de Lorentz. Nesse sentido o próprio Einstein tentava destacar que sua teoria não era um sistema fechado, mas que poderia ser entendida como um princípio heurístico que poderia estabelecer relações entre leis, que seriam independentes de outro modo.

A respeito de seu outro artigo, o que discutia a relação entre a massa e a energia, o argumento utilizado por Einstein foi criticado por Planck, em 1907, quando o mesmo oferecia uma outra argumentação a partir das transferências de calor.

A descoberta da relação massa energia, foi inclusive de forma equivocada atribuída ao próprio Planck e depois reiterada a Einstein por Stark.

Foram os experimentos com raios  $\beta$  de Kaufmann que trariam alguma perspectiva de confirmação experimental. Em 1905 ele afirmou que seus resultados não eram compatíveis com as previsões sobre a massa energia de Lorentz e Einstein. Esse fato desencorajou Lorentz de aprofundar seus estudos. Porém Planck, analisando cuidadosamente a experiência, concluiu que esta não poderia ser considerada a refutação definitiva, pois não se tratavam de observações tão acuradas. As previsões favoreciam as teorias de Abraham e Bucherer, porém o próprio Einstein foi cauteloso ao observar as hipóteses fundamentais do experimento.

Apenas em 1916 os resultados de Guyle e Lavanchy apareceram como indícios favoráveis às previsões relativísticas, que foram aceitas de forma geral (Stachel 2001).

## 4 Considerações do Próprio Einstein

Como Einstein se tornou uma celebridade do mundo da ciência e da mídia em geral, podemos recorrer ainda aos vários livros e artigos que ele próprio escreveu, falando de suas teorias, convicções, posturas filosóficas, epistemológicas e políticas. Seguem alguns trechos de artigos escritos por ele em diferentes fases de sua vida que podem enriquecer a reflexão sobre a passagem do universo clássico ao relativístico.

Sobre a formulação da teoria da relatividade e a formulação de  $E=mc^2$ .

“A teoria da relatividade nasceu da necessidade, de contradições sérias e profundas na velha teoria, para as quais não parecia ter saída. A força da nova teoria está na consistência e simplicidade com que resolve todas as dificuldades, usando apenas umas poucas suposições muito convincentes.” (Einstein e Infeld, 1966, p.158)

“Após dez anos de estudo, o princípio surgiu, resultado de um paradoxo com o qual me defrontara quando tinha dezesseis anos: se um raio luminoso for perseguido a uma velocidade  $c$  (velocidade da luz no vácuo), observamos esse

### Sobre a sua atividade científica:

“Cem vezes por dia, eu relembro a mim mesmo que minhas vidas interiores e exteriores são baseadas nos trabalhos de outras pessoas vivas e mortas. Relembro-me também que preciso me esforçar para dar na mesma medida em que recebi e continuo recebendo.” (Einstein apud Calaprice 1998, p.38)

### Sobre a investigação do mundo

“Aos quatro ou cinco anos experimentei esse sentimento [pensamento de estranheza], quando meu pai mostrou-me uma bússola... Me lembro que essa experiência causou-me uma impressão profunda e duradoura. Devia haver algo escondido nas profundezas das coisas...” (Einstein 1982, p.18)

“Além de mim, fora de mim, estava um mundo imenso, que existe independente dos seres humanos e que se apresenta a nós como um enorme e eterno enigma, em parte acessível à nossa observação e ao nosso pensamento.” (Einstein 1982, p.15)

### Sobre Ciência e Sociedade

“Há duas maneiras da Ciência afetar as atividades humanas. A primeira todos conhecem... a Ciência produz formas de ajuda que vem transformando completamente a existência humana. A segunda maneira tem caráter educativo – trabalha sobre a mente. Embora possa parecer menos óbvia num exame superficial, não é menos incisiva que a primeira. O efeito prático mais evidente da Ciência é que torna possível a invenção de coisas que enriquecem a vida, embora ao mesmo tempo a compliquem.” (Einstein apud Mário Schenberg, 1983, p. 118).

## Referências

- CALAPRICE, Alice, **Assim falou Einstein**. Rio de Janeiro: Civilizações Brasileiras, 1998.  
EINSTEIN, A.; INFELD, L.. **A evolução da física**. Rio de Janeiro: Zahar, 1966  
EINSTEIN, A, **Como vejo o Mundo**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 7ª edição, 1981  
EINSTEIN, A., **Notas autobiográficas**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1982.  
EINSTEIN, A., **A Teoria da Relatividade Especial e Geral**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999.  
SCHENBERG, M., **Albert Einstein - Pensamento político e últimas conclusões**, São Paulo: Editora Brasiliense, 1983.  
STACHEL, J., **O Ano Miraculoso de Einstein: Cinco Artigos que Mudaram a Face da Física**, editora UFRJ, Rio de Janeiro, 2001.

## **Anexo V**

### **Roteiro para entrevista aos Docentes**

- Qual sua opinião sobre a forma como se ensina física no IF?
- Existe alguma relação entre a forma do ensino de física teórica e/ou experimental na graduação e a forma como se realiza uma investigação científica?
- A sua compreensão do que é ciência influi na forma como você ensina?
- Pensando no curso de bacharelado em física, o que lhe parece que os alunos deveriam saber para decidir se um conhecimento é ou não científico?
- Como lhe parece que se pode ensinar isso aos alunos?
- Que critérios um aluno deveria usar para decidir o tema de sua monografia, mestrado ou doutorado?
- Que critérios um cientista deve usar para iniciar um tema de investigação?
- Há critérios úteis para decidir que parte de um trabalho de investigação de deve publicar? Se existe algum, como se aprende?
- Você já leu algum trabalho de filosofia da ciência de autores como Popper, Bachelard, Feyerabend, Kuhn, Bunge, Lakatos ou outros?
- Você já leu algum texto original da Física como, por exemplo, os "Principia" de Newton?
- Você sugere textos de história da física para seus alunos? Exemplifique.
- Você considera que pode haver algum benefício em discutir aspectos do funcionamento da ciência?

- Que idéia você considera que os professores de física do ensino médio deveriam transmitir aos alunos?

-Qual você desejaria que fosse a imagem que um aluno do ensino médio tenha do que seja uma carreira científica?