

WELLINGTON PEREIRA DE QUEIRÓS

**A ARTICULAÇÃO DAS CULTURAS HUMANÍSTICA E CIENTÍFICA POR MEIO
DO ESTUDO HISTÓRICO-SOCIOCULTURAL DOS TRABALHOS DE JAMES
PRESCOTT JOULE: CONTRIBUIÇÕES PARA A FORMAÇÃO DE
PROFESSORES UNIVERSITÁRIOS EM UMA PERSPECTIVA
TRANSFORMADORA**

Tese apresentada ao programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência, Área de concentração: Ensino de Ciências e Matemática, da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista (UNESP-BAURU), como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Educação para a Ciência, sob a orientação do prof. Dr. Roberto Nardi e coorientação do Prof. Dr. Demétrio Delizoicov Neto.

BAURU

2012

Queirós, Wellington Pereira de.

A articulação das culturas humanística e científica por meio do estudo histórico-sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule: contribuições para a formação de professores universitários em uma perspectiva transformadora / Wellington Pereira de Queirós, 2012
355 f.: il.

Orientador: Roberto Nardi
Coorientador: Demétrio Delizoicov Neto

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2012.

1. Ensino de Física. 2. História, Filosofia e Sociologia da Ciência. 3. James Prescott Joule 4. Ludwik Fleck. 5. Formação de professores Universitários

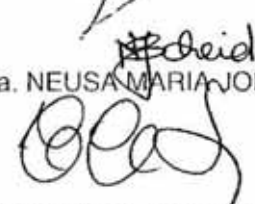
2. I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA TESE DE DOUTORADO DE WELLINGTON PEREIRA DE QUEIROS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO PARA A CIÊNCIA, DO(A) FÁCULDADE DE CIÊNCIAS DE BAURU.

Aos 08 dias do mês de agosto do ano de 2012, às 14:00 horas, no(a) Anfiteatro da Pós-graduação, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Prof. Dr. ROBERTO NARDI do(a) Departamento de Educação / Faculdade de Ciências de Bauru, Profa. Dra. NEUSA MARIA JOHN SCHEID do(a) Universidade Integrada do Alto Uruguai e das Missões, Prof. Dr. CLAUDIO BERTOLLI FILHO do(a) Departamento de Ciências Humanas / Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação de Bauru, Prof. Dr. MARCOS CESAR DANHONI NEVES do(a) Física / Universidade Estadual de Maringá, Profa. Dra. ODETE PACUBI BAIERL TEIXEIRA do(a) Departamento de Física e Química / Faculdade de Engenharia de Guaratingueta, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da TESE DE DOUTORADO de WELLINGTON PEREIRA DE QUEIROS, intitulado "A Articulação das Culturas Humanística e Científica por meio do Estudo Histórico Sociocultural dos Trabalhos de James Prescott Joule: Contribuições para a formação de professores universitários em uma perspectiva transformadora". Após a exposição, o discente foi arguido oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovado. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.




Prof. Dr. ROBERTO NARDI




Profa. Dra. NEUSA MARIA JOHN SCHEID



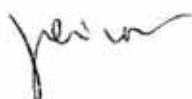
Prof. Dr. CLAUDIO BERTOLLI FILHO



Prof. Dr. MARCOS CESAR DANHONI NEVES



Profa. Dra. ODETE PACUBI BAIERL TEIXEIRA



Wellington Pereira de Queiros

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, por terem me dado a oportunidade da vida material na Terra e a chance, através dos estudos, de ampliar os horizontes espirituais.

A Todos os Professores que querem lutar politicamente para a transformação social da realidade brasileira

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, Prof. Dr. Roberto Nardi, pela confiança depositada, sobretudo, pela liberdade dada na escolha do meu referencial teórico-metodológico de pesquisa e pelo aprendizado proporcionado por sua grande visão de mundo e seu vasto conhecimento na área de ensino de Ciências e Matemática.

Ao Prof. Dr. Demétrio Delizoicov Neto, pela coorientação e pelas intensas discussões de epistemologia associada aos referenciais educacionais que contribuíram na análise feita na presente tese.

Aos meus pais, Isabel do Nascimento Queirós e Armando Pereira de Queirós, pelo incentivo e pela luta laboriosa em todos os meus anos de estudos, o meu muito obrigado!

Aos Colegas do Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências pela oportunidade de compartilhar referenciais, metodologias e questões de pesquisa durante os últimos anos, particularmente sobre as etapas de desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os meus amigos que contribuíram direta e indiretamente na realização deste trabalho em especial: Maria Amélia Monteiro, Elio Carlos Ricardo, Júlio Razera, Regiane Lopes e Eliange Martins.

Aos colegas de doutorado: Moisés, Leonardo e Nataly, pelas discussões de teoria crítica social, o meu muito obrigado!

A professora Neusa Maria John Scheid, Cláudio Bertolli pelas valiosas contribuições, no exame geral de qualificação e na defesa desta tese.

A todos os professores que contribuíram para a minha formação, em especial aos professores do ensino básico: Jefferson Regis Lobato, José Antônio de Souza e Emival Santana. Aos doutores João José Caluzzi e Marcelo Carbone Carneiro, pelas discussões sobre História, Filosofia e Sociologia da Ciência.

A CAPES e o CNPq pelo apoio financeiro.

RESUMO

O objetivo desta pesquisa foi analisar, na perspectiva sociocultural, os trabalhos do cientista James Prescott Joule, mostrando as possíveis contribuições desta análise para proporcionar um maior diálogo entre a cultura científica e humanística, no processo de formação de professores universitários de Física, numa perspectiva transformadora. A metodologia da pesquisa é de caráter qualitativo documental e foi constituída de duas fases articuladas entre si. Na primeira fase foi feito um estudo do trabalho do cientista James Prescott Joule, utilizando-se de publicações originais e obras de historiadores da Ciência. Realizamos uma análise, a partir dos estudos de Fleck, na qual identificamos os *coletivos de pensamento*, do qual Joule participou e compartilhou ideias e práticas, que denominamos de *técnico, científico, eficiência experimental e convertibilidade*, os quais contribuíram para as suas pesquisas, no estabelecimento do princípio da conservação da energia. A segunda fase da pesquisa consistiu em um levantamento de dados empíricos da literatura realizado a partir de teses, dissertações de pesquisas sobre a concepção de professores universitários sobre ensino-aprendizagem, currículo e História e Filosofia da Ciência (HFC). A análise dos dados revela que uma minoria de professores tem uma leve tendência a uma visão transformadora, que são os professores que têm uma formação específica e humanística. No entanto, na maioria dos docentes universitários, sobretudo os de formação específica, os discursos revelam uma forte tendência para priorizar o ensino e aprendizagem dos conteúdos específicos e da HF, em detrimento dos conteúdos humanísticos; ou seja, uma visão desarticulada das culturas humanística e científica. Defendemos que para um professor de Física ser um intelectual transformador é necessário a articulação da cultura científica com a cultura humanística, pois, é necessário o diálogo com outros conhecimentos diferentes daqueles de suas áreas de formação. Uma abordagem histórico-sociocultural poderá contribuir para uma melhor comunicação entre os *Estilos de Pensamento* que compõem a *cultura humanística* e os que compõem a *cultura científica*, no processo de formação de professores. Assim, assumimos como referencial de formação de professores a perspectiva sociocultural defendida por Giroux (1997), para quem áreas como o estudo da Linguagem, Culturas Populares e Subordinadas, Teorização da Formação Social, História e Pedagogia são essenciais para se pensar em um processo formativo de professores, numa perspectiva transformadora, que enfatize o histórico e o cultural em relação aos materiais e práticas educativas. A emergência destas áreas apontadas por Giroux se dá por meio do estudo sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule, possibilitando um diálogo entre as duas culturas no processo de formação de professores.

Palavras Chave: História, Filosofia e Sociologia da Ciência, James Prescott Joule, Ludwik Fleck, Formação de Professores Universitários.

ABSTRACT

The aim of this research was to analyze, in a sociocultural perspective, the work of the scientist James Prescott Joule, showing the possible contributions of this analysis in order to provide a better dialogue between the scientific and humanistic culture, in the process of physics university professors education, in a changing perspective. For the research methodology we used a qualitative approach, consisted of two interconnected phases. In the first phase a study of the scientist James Prescott Joule's work was done, using original publications and historians of Science writings. We performed an analysis from a Fleckian perspective, in which we identified the *collectives of thought*, of which Joule participated and shared ideas and practices, that we called *technical, scientific, experimental efficiency* and *convertibility*, which contributed to his researches, in the establishment of the energy conservation principle. The research's second phase consisted of a survey of empirical literature in thesis and dissertation on the conception of university professors about the teaching and learning processes, curriculum and History and Philosophy of Science (HFC). Data analysis revealed that a minority of professors have a slight tendency to a transforming vision; those who have specific and humanistic education. However, in the most, university professors, especially those only with specific education, the speeches reveal a strong tendency to highlight the teaching of specific content and HF in detriment of humanistic contents, i.e. an unarticulated view between the scientific and humanistic cultures. We argue that for a Physics professor to be an intellectual transformative is necessary the articulation between the scientific culture and the humanistic culture, since it is necessary the dialogue with other areas of knowledge, different from those of their formation. A socio-historical approach can contribute to a better communication between *Thinking Styles* that make up the *humanistic culture* and that make up the *scientific culture*, in the process of teachers education. Thus, we assume as a referential for teachers' education the sociocultural perspective defended by Giroux (1997), to whom areas such as the study of Language, Popular and Subordinated Cultures, Theorizing of Social Education, History and Pedagogy are essential to think of a formative process of teachers, in a transforming perspective, that emphasizes the history and culture in relation to the subjects and educational practices. The emergence of these areas pointed out by Giroux can happen through sociocultural study of James Prescott Joule's work, allowing a dialogue between the two cultures in the process of teachers' education.

Keywords: History, Philosophy Sociology of Science, James Prescott Joule, Ludwik Fleck, University Professors Education

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade de trabalhos sobre HFSC na Formação de Professores nos periódicos	57
Tabela 2: Distribuição dos trabalhos quanto às categorias de análise	58
Tabela 3: Referenciais Teóricos encontrados nos trabalhos analisados	60
Tabela 4: Categorização dos trabalhos de acordo com as subcategorias gerais	67
Tabela 5: Lista de Periódicos com a quantidade de Artigos que utilizam Ludwik Fleck como referencial teórico	91
Tabela 6: Distribuição dos trabalhos segundo as categorias de análise	92

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: James Prescott Joule (1818-1889).....	132
Figura 2: Arranjo de pesos adaptados suspensos por polias (JOULE, 1843, p.150) .	185
Figura 3: Diagrama de vista superior do arranjo de palhetas fixas e braços móveis que constitui o aparato do experimento de agitação da água através das pás (JOULE, 1850, p. 65).....	205
Figura 4: Diagrama de vista lateral do arranjo de palhetas fixas e braços móveis que constitui o aparato do experimento de agitação da água através das pás (JOULE, 1850, p. 65).....	205
Figura 5: Recipiente que constitui o conjunto de equipamentos do aparato do experimento de agitação	206
Figura 6: Aparato completo do experimento de agitação da água através das pás (JOULE, 1850, p. 65). Escala: 1 pol para cada 1 pé.	208

LISTA DE ABREVIATURAS

ABFHIB – Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia
AFHIC – Associação de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul
C & E – Revista Ciência & Educação
CBEF – Caderno Brasileiro de Ensino de Física
CTS – Ciência Tecnologia e Sociedade
CNE/CES – Conselho Nacional de Educação
CP – Coletivo de Pensamento
DCNs– Diretrizes Curriculares Nacionais
DNA – Ácido desoxirribonucléico
EF – Ensino Fundamental
EJA – Educação de Jovens e Adultos
EM – Ensino Médio
ENEBIO – Encontro Nacional de Ensino de Biologia
ENEQ – Encontro Nacional de Ensino de Química
ENPEC – Encontro Nacional de Pesquisadores em Educação em Ciências
EP – Estilo de Pensamento
GO – Goiás
HFC – História e Filosofia da Ciência
HFSC – História, Filosofia e Sociologia da Ciência
IENCI – Revista Investigações em Ensino de Ciências
LDB – Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
NdC – Natureza da Ciência
PCN – Parâmetros Curriculares Nacionais
PCN+ – Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais
PCNEM – Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio
QN – Revista Química Nova
QOCTS – Questionário de Opiniões sobre Ciência, Tecnologia e Sociedade
RBEF – Revista Brasileira de Ensino de Física

RBPEC – Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências

SNEF – Simpósio Nacional de Ensino de Física

SNHCT – Simpósio Nacional de História da Ciência e da Tecnologia

UEG – Universidade Estadual de Goiás

UFBA – Universidade Federal da Bahia

UFG – Universidade Federal de Goiás

UFRGS – Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNESP – Universidade Estadual Paulista

VNOS–C Visões da Natureza da Ciência – Modelo C

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	12
CAPÍTULO 1: HISTÓRIA, FILOSOFIA E SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS	26
1.1 Uma breve história da história das ciências	26
1.2 A abordagem internalista e externalista da História da Ciência	34
1.3 Algumas considerações acerca da História e Filosofia da Ciência no ensino de Ciências	39
1.3.1 História, Filosofia e Sociologia da Ciência na formação de professores	42
1.4 Tendências das pesquisas em História, Filosofia e Sociologia da Ciência na formação de professores.....	51
1.4.1 Metodologia e forma de análise	51
1.4.2 Organização e interpretação dos dados.....	56
1.5 O Problema de pesquisa	67
1.5.1 Questões e objetivos da pesquisa.....	71
CAPÍTULO 2: A EPISTEMOLOGIA DE LUDWIK FLECK: CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS	76
2.1 Introdução	76
2.2 O contexto Histórico-Cultural e a influência da Escola Polonesa de Filosofia da Medicina na produção epistemológica de Ludwik Fleck (1896-1961)	77
2.3 A Epistemologia de Ludwik Fleck.....	80
2.3.1 Possibilidades da epistemologia Fleckiana para as Ciências Humanas	87
2.4 Um panorama da epistemologia de Ludwik Fleck na pesquisa em ensino de Ciências no Brasil.....	90
2.4.1 A análise dos dados	91
2.4.2 Algumas Considerações.....	102
2.5 Diferenças e semelhanças entre as epistemologias de Fleck e Kuhn.....	103
2.5.1 Fleck e Kuhn: Análise epistemológica da construção do conceito de energia	109
CAPÍTULO 3: UMA ANÁLISE DOS TRABALHOS DE JAMES PRESCOTT JOULE NA PERSPECTIVA HISTÓRICO SOCIOCULTURAL	116

3.1 Introdução	116
3.2 A Ciência e a revolução industrial na Inglaterra	117
3.2.1 O processo de industrialização de Manchester	126
3.3 A vida de James Prescott Joule	132
3.3.1 Alguns elementos culturais do trabalho de Joule: a influência da indústria cervejeira.....	136
3.3.2 Elementos teóricos que influenciaram a visão técnico-científica de Joule: os aspectos da instrumentação, exatidão e precisão.....	144
3.3.3 Os trabalhos iniciais de Joule e sua participação no coletivo dos técnicos	150
3.3.4 O coletivo dos cientistas e a emergência de um fato científico: O Efeito Joule	165
3.3.5 O Equivalente Mecânico do Calor e a dificuldade de aceitação do trabalho experimental de Joule	181
3.3.6 A interação de Joule e William Thomson: a busca de acordos com a teoria de Carnot	215
3.3.7 Joule e o princípio da conservação da energia	226
3.3.8 Algumas considerações sobre os estilos de Pensamento que permearam o trabalho de Joule.....	243
CAPÍTULO 4: A FORMAÇÃO DE PROFESSORES UNIVERSITÁRIOS DE CIÊNCIAS E AS DUAS CULTURAS	247
4.1 Introdução	247
4.2 Cultura.....	248
4.2.1 As duas culturas.....	255
4.3 Modelos de formação de professores	259
4.3.1 Henry Giroux: currículo, escola, universidade como esfera pública e a formação de professores intelectuais críticos transformadores	269
4.4 A formação do professor universitário	288
4.5 Análise dos dados empíricos da literatura.....	297
4.6 Algumas Considerações.....	329
CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS.....	332
REFERÊNCIAS.....	344

INTRODUÇÃO

Antes de começar a descrever minhas experiências profissionais e acadêmicas, julgo ser relevante registrar aqui parte de minha vivência sociocultural, no período anterior à carreira universitária, uma vez que foi decisiva para eu seguir o caminho no campo das ciências naturais e escolher como área de pesquisa o ensino de Ciências e Matemática, já que anteriormente, pretendia seguir carreira na área jurídica ou militar.

Aos 15 anos de idade, comecei a despertar para a ciência, estudando o Espiritismo (Filosofia de Allan Kardec). A partir da leitura de livros e discussões científicas e filosóficas com alguns amigos espíritas, dentre eles, físicos, matemáticos, químicos, engenheiros, advogados, sociólogos e pedagogos, é que fui direcionando o meu interesse para o campo das ciências naturais. Um dos primeiros livros que me inspirou a estudar ciências com afinco foi a leitura de *O Livro dos Espíritos*, que utiliza as ideias do magnetismo para explicar alguns fenômenos ditos “sobrenaturais”, as propriedades gerais e específicas da matéria, a constituição atômica da matéria e suas contribuições para o entendimento da natureza do espírito.

Essas discussões e leituras permitiram-me associar o conhecimento do espiritismo com os conteúdos científicos estudados na escola, pois já havia começado o estudo da Física na disciplina de Ciências da 8ª série do Ensino Fundamental (atual 9º ano). A Física se mostrou uma disciplina encantadora, pois o estudo do modelo atômico para compreender o íntimo da matéria me surpreendeu com o estudo que já havia realizado sobre a natureza dos espíritos. Fazer uma descrição matemática de um simples “movimento de móvel” fez com que eu percebesse algum sentido em apreender os conceitos abstratos de Matemática e, a partir daí, interessei-me em estudar esta disciplina com maior profundidade, já que era temida, pois já havia sido reprovado na 5ª série do EF (atual 6º ano).

No Ensino Médio (EM), comecei a leitura de livros de alguns filósofos, tais como Platão (Fédon) e leituras em fontes secundárias sobre Sócrates, Aristóteles e Karl Marx, além do aprofundamento em outras obras espíritas como, *O Consolador*, cujo objetivo era mostrar a importância das várias ciências (Geologia, Física, Química, Biologia,

Astronomia) no entendimento da realidade espiritual. Li obras de alguns filósofos brasileiros como Marilena Chauí (O que é ideologia?) e Antônio Tobias (Iniciação à Filosofia). Deste último, tive o prazer de fazer algumas discussões sobre metafísica com um professor e colega filósofo, que me indicou alguns artigos sobre Filosofia da Ciência.

Paralelamente a essas leituras e ao EM, com 16 anos de idade, comecei as minhas atividades de professor, evangelizando crianças e adolescentes no Centro Espírita Bezerra Cavalcante, no Município de Aparecida de Goiânia-GO. Alguns colegas e eu, evangelizadores, não tínhamos formação adequada para evangelizar e o coordenador da evangelização infanto-juvenil nos preparava, fazendo, uma hora antes de ministrar as aulas, algumas leituras e discussões pedagógicas. Foi no âmbito destas discussões que tive o primeiro contato com as ideias de Paulo Freire, Piaget entre outros autores.

Na segunda série do EM, a disciplina de História, que me despertava muito interesse desde o EF, chamou-me maior atenção quando o professor começou a ministrar o conteúdo sobre a Revolução Industrial. Nesse ínterim, já havia estudado um pouco de termodinâmica na disciplina de Física e, apesar de os professores desta disciplina e de História não as relacionarem, eu comecei a relacionar os processos físicos do aperfeiçoamento da máquina a vapor com o processo histórico da Revolução Industrial. Na época pensei que seria interessante relacionar as duas disciplinas em uma visão interdisciplinar; ideia esta que carreguei em minha memória, durante muito tempo.

Em 1997, ainda cursando a 3ª série do EM, portanto, sem habilitação acadêmica necessária, comecei a ministrar aulas de Ciências na 8ª série do EF (atual 9º ano) e Matemática da 5ª à 8ª (atual 6º ao 9º ano) em uma escola confessional da periferia de Aparecida de Goiânia, região metropolitana de Goiânia-GO. Era uma escola que não tinha muita estrutura para proporcionar uma “formação de qualidade” a seus alunos, mas era considerada pela população local, como a melhor da região. A escola não possuía laboratórios, a biblioteca era deficitária; o professor não tinha muita autonomia em sala de aula e esferas superiores impunham aos professores atividades já preestabelecidas.

No início de 1999, comecei a cursar a graduação em Física na Universidade Federal de Goiás (UFG). Antes de entrar na universidade, eu imaginava um curso de Física, cuja matriz fosse voltada já de início, para a Física moderna e Matemática avançada com discussões de Filosofia, História e Sociologia da Ciência (HFSC). Porém, o que ocorreu é que a História e a Filosofia da Ciência estiveram praticamente ausentes durante o curso, que incluiu apenas uma disciplina na área - Evolução da Física em seu terceiro ano. Parece que eu estava equivocado, porque dentro da lógica do currículo estabelecido pela universidade, tínhamos que estudar primeiro a Física Clássica Básica e, em seguida, uma Física Clássica Avançada acompanhada da Física Moderna.

O curso de Física oferecia duas modalidades, bacharelado e licenciatura. Em um primeiro momento, meu interesse era cursar licenciatura, já que atuava como professor; no entanto, no ensejo de conhecer termodinâmica e mecânica quântica avançada de forma mais ampla, resolvi optar pelo bacharelado. Constatei, então, que nesta modalidade, praticamente, não existia uma discussão filosófica de grande importância em disciplinas como mecânica quântica e termodinâmica.

Durante a primeira série do curso de Física, continuei lecionando, só que agora em uma escola da rede estadual de ensino, coincidentemente, a mesma na qual cursei o EM. Nesta oportunidade, ministrei disciplinas de Ciências no EF (8ª série) e Matemática no EM. A escola¹ não oferecia condições para um ensino de qualidade e havia problemas de várias ordens, desde os equipamentos, até a grande desmotivação dos colegas de trabalho. Entendo os problemas que nós, professores, sofremos pela falta de condições salariais e de formação permanente, mas acredito que se governo e professores fizessem um mínimo de esforço, poderiam desenvolver um projeto pedagógico que visasse um ensino mais criativo e estimulante para os estudantes.

Foi a partir desse cenário de descrença e pelo meu gosto por leitura de biografias dos cientistas é que, na turma de 8ª série, comecei a contar a história de vida

¹ Naquele momento, eu não tinha formação pedagógica e experiência teórico-prática para compreender, que além dos órgãos competentes do Estado e do corpo administrativo da escola, eu também era responsável pela qualidade da educação oferecida na escola. Assim, atualmente, entendo que um dos caminhos para promover as mudanças necessárias pra uma educação de qualidade é a mobilização e ação política dos profissionais da educação e de toda a sociedade.

de um cientista (como viveu, seus feitos, as condições que o levaram a desenvolver determinada teoria etc.); as histórias contadas referiam-se aos cientistas relacionados a determinado conteúdo que estava sendo ministrado. Por não ter uma formação sólida tanto de Física como de Pedagogia, não sabia se estava procedendo de maneira adequada. Mas, eu tinha que fazer algo, pois aquela situação me frustrava, os alunos não tinham interesse algum pela ciência. A experiência foi surpreendente e, na medida em que eu contava as histórias, falando dos experimentos e como os cientistas trabalhavam, as suas motivações, explorando o contexto social em que viviam, parecia que os estudantes sentiam a necessidade de repetir o mesmo procedimento, que os alunos estavam vivendo aquela realidade.

No ano seguinte (2000), comecei a lecionar Matemática em um cursinho pré-vestibular onde também estudei; e, como já sabemos, a maioria dos cursinhos pré-vestibulares não tem interesse em um ensino que leve o aluno a construir o conhecimento; ministra um ensino voltado apenas para a memorização e é direcionado à resolução de “problemas” de maneira mecanizada; não foi uma experiência boa.

No mesmo ano, no mês de agosto, consegui uma bolsa de iniciação científica na Universidade, na linha de biofísica, sob a orientação do professor Antônio Alonso. Escolhi esta área, porque sempre gostei da interdisciplinaridade. O trabalho consistia em investigar, por meio da técnica espectroscópica de ressonância paramagnética eletrônica, a dinâmica das proteínas do estrato córneo (camada mais superficial da pele) estudando os efeitos de hidratação, ureia e etanol, com a finalidade de entender melhor a arquitetura do estrato córneo e os mecanismos de permeação de drogas pela pele. Trabalhei dois anos e meio nesta linha de pesquisa e aprendi muito sobre como é construída a ciência. No entanto, durante esta experiência percebi a transmissão de um caráter empirista-indutivista da ciência, que não só aconteceu durante o estágio de iniciação científica, mas também nas aulas das disciplinas de laboratório. Em alguns momentos, vi nas interpretações do meu orientador um caráter não empirista-indutivista da ciência e esta leve percepção foi devida às discussões filosóficas, que tive durante o EM.

Durante o tempo da iniciação científica fiquei afastado das atividades de ensino e, só no último ano do curso de Física, voltei a lecionar em um curso de Educação de

Jovens e Adultos (EJA) do EM. Pelas experiências de outros colegas de trabalho, aparentemente, parecia ser uma experiência ruim, uma vez que nunca havia lecionado em EJA, mas foi surpreendente. Usei a História e Filosofia da Ciência como estratégia de ensino, utilizando as biografias de cientistas, uma vez já tentada no EF; esta estratégia estimulou os alunos na resolução de problemas e na elaboração de experimentos.

Um aspecto interessante nessa experiência é que serviu como forma de popularização das ideias científicas, já que uma das estudantes trabalhava em um salão de beleza e levava o livro da história de vida de Thomas Alva Edison (1847-1931) para o salão e contava um pouco das experiências de Edison para sua freguesia e isso provocou curiosidade no público que pedia livros sobre a vida e obra de outros cientistas como Kepler e Newton. Curioso que uma das clientes até me procurou para saber se eu tinha algum outro livro que contasse a história de cientistas, ligados às outras áreas do conhecimento. Sabemos que essas experiências baseadas no senso comum são perigosas, podendo até criar uma mistificação da ciência, no entanto, entendo que iniciativas deste tipo possam representar um começo para despertar a nossa sociedade para as questões científicas.

No ano seguinte fiz seleção de mestrado na mesma linha de pesquisa da iniciação científica, quando tive a oportunidade de estudar com maior profundidade a Mecânica Quântica e a Mecânica Estatística. No caso da Mecânica Quântica, tive uma experiência interessante em dois enfoques: uma Mecânica Quântica aplicada ao estudo da Óptica Quântica e uma Mecânica Quântica Molecular. O estudo da Mecânica Quântica Molecular e da Mecânica Estatística influenciou-me na interpretação do trabalho de mestrado, ou seja, no entendimento de um modelo criado pelo meu orientador que descrevia como ocorria a permeação de drogas pela pele. Neste momento, percebi uma situação diferente daquela da iniciação científica com uma diminuição significativa no entendimento da ciência como empirista-indutivista.

Durante a realização do mestrado, tive bolsa de demanda social da Capes, o que possibilitou estudar outros temas que não faziam parte do trabalho de mestrado. Um dos temas estudados foi o ensino de Física. Os primeiros livros estudados foram: Ensino de Física (PIETROCOLA, 2005) e Física - coleção magistério (DELIZOICOV;

ANGOTTI, 1992); a leitura do primeiro livro remeteu-me a estudar a famosa obra filosófica *A Estrutura das Revoluções Científicas* de Thomas Kuhn (2006).

O mestrado propiciou a publicação de um artigo científico em revista indexada, de fator de impacto 3,2, intitulado: Dynamics and partitioning of Spin-label stearates into the lipid domain of stratum corneum. *Journal of controled release*, v.106, p.374-385, 2005.

Após a conclusão do mestrado em 2005, complementei a graduação com a licenciatura e, em paralelo, comecei a lecionar no curso de licenciatura em Matemática na Universidade Estadual de Goiás (UEG - unidade de Posse - GO). Ministrei várias disciplinas tais como: Física I e II, Cálculo Diferencial e Integral I e II e uma disciplina bastante interessante, chamada Álgebra para o E F e EM. Nesta disciplina tive a oportunidade de trabalhar um pouco da história da Matemática. Neste mesmo ano, trabalhei também no curso de Licenciatura Plena Parcelada (tipo de curso² instituído pelo governo estadual, cuja finalidade era a de qualificar professores em cumprimento da Lei de Diretrizes e Bases (LDB)/1996); neste curso, ministrei as disciplinas de Física I e II, porém não tive grandes experiências, pois os interesses dos estudantes eram muito heterogêneos, mas consegui em alguns momentos motivar os estudantes com algumas discussões de História da Ciência.

Durante o ano de 2005, continuei estudando a literatura da área de ensino de Ciências e Matemática, focando a leitura dos artigos do Caderno Brasileiro de Ensino de Física, principalmente os números especiais que tratam de Filosofia e História da Ciência, da Revista Brasileira de Ensino de Física e da Revista Ciência e Educação, principalmente o número temático de artigos sobre HFSC.

Em 2006, lecionei no curso de licenciatura em Química da UEG de Formosa-GO e, no segundo semestre do ano letivo, tive a oportunidade de começar a desenvolver um projeto de pesquisa na área de História e Filosofia da Ciência e Ensino. O projeto intitulado: Elaboração de um Módulo Didático para o Ensino Médio centrado em uma

² Este projeto visava qualificar professores das redes Estadual, Municipal e Particular de ensino que não tinham licenciatura. No entanto, tinha professores que lecionaram durante toda sua carreira na primeira fase do ensino fundamental e alguns lecionavam no ensino médio e cursinho pré-vestibular. Esta heterogeneidade gerava grande dificuldade em minha prática pedagógica de Física.

temática histórico-filosófica da ruptura do paradigma do flogístico para o de Lavoisier, cujo referencial teórico utilizado foi Kuhn.

No ano de 2007, continuei as minhas atividades de ensino na UEG e no EM. Ainda neste ano, busquei refletir melhor sobre a minha temática de doutorado e do motivo de não ter conseguido sucesso nos processos seletivos de doutorado nos anos de 2005 e 2006. Comecei a pedir pareceres de pesquisadores da área de ensino de Ciências e Matemática sobre o projeto. Consegui algumas orientações que me recomendaram a delimitar melhor o tema e aperfeiçoar os aspectos metodológicos. Diante disso, comecei a fazer outras leituras de teses e dissertações e pensar sobre o referencial teórico a ser utilizado, uma vez que minha ideia era focar o aspecto sociológico. Percebi a partir da leitura de alguns artigos (LEITE et al., 2001; DELIZOICOV et al., 2002; PFUETZENREITER 2002; CASTILHO et al., 2004; SCHEID et al., 2005) o potencial da epistemologia de Ludwik Fleck (1896-1961) para abordar a temática Energia.

Durante o ano de 2007, busquei estudar com maior profundidade a temática de pesquisa com finalidade de melhorar o projeto de doutorado. Uma das leituras que realizei foi o texto intitulado “A Conservação da energia como exemplo de descoberta simultânea”, que é um dos capítulos do livro “A Tensão Essencial” de Thomas Kuhn (1977); outro texto também importante foi o artigo: *Mayer e a conservação da energia* (MARTINS, 1984).

Após a leitura desses dois textos, percebi o quanto a história do Princípio da Conservação da Energia é complexa e facilitou a percepção da amplitude do tema escolhido. Esta escolha da temática energia teve influências tanto religiosas quanto científicas. A influência religiosa ocorreu devido à interpretação do espiritismo da realidade espiritual em termos de energia, como por exemplo, o nível energético dos espíritos e dos planos espirituais e de sua interação com o mundo terreno, um fator que sempre me instigou nas relações da Física com o Espiritismo. Já no aspecto científico, foi durante o mestrado, devido aos cálculos dos parâmetros termodinâmicos (entropia, entalpia, energia livre de Gibbs) para um sistema biológico, que percebi o quanto o princípio da conservação da energia é abrangente na interpretação de vários fenômenos, ou seja, é um princípio unificador.

Depois de ter estudado a literatura da área de educação em Ciências e pesquisas envolvendo HFSC no ensino de Ciência, fiz uma revisão geral em meu projeto de doutorado, delimitando o estudo histórico do Princípio da conservação da energia e fundamentando melhor a metodologia de pesquisa.

Novamente, fiz inscrição para o processo seletivo da Unesp-Bauru no Programa de pós graduação em Educação para a Ciência, submetendo o projeto intitulado: *Uma discussão da natureza da ciência na formação inicial de professores de Física: um exemplo com a história do princípio da conservação da energia*, onde fui aprovado na primeira etapa (avaliação escrita) e na segunda (defesa oral do projeto de pesquisa). Ao começar o curso, tive que fazer um total de oito disciplinas, pois não havia feito mestrado na área de ensino de Ciências e Matemática e, em consequência, não consegui aproveitar os créditos das disciplinas que havia feito no mestrado.

Creio que ter feito as oito disciplinas foi de grande importância e, se houvesse mais tempo, faria outras. Todas as disciplinas contribuíram para o aperfeiçoamento do meu projeto de doutorado, especialmente as disciplinas: Metodologia do Ensino de Ciências e Matemática: aspectos qualitativos, ministrada pelo prof. Dr. Roberto Nardi; Introdução a História e Filosofia da Ciência ministrada pelo prof. Dr. João José Caluzi e a disciplina Teoria do Conhecimento e Filosofia da ciência ministrada pelo prof. Dr. Marcelo Carbone.

Além das disciplinas, as intensas discussões dos grupos de pesquisa do qual participei, o grupo de pesquisa em Ensino de Ciências liderado pelo Prof. Dr. Roberto Nardi e o grupo de estudos de discentes sobre teoria crítica e educação, contribuíram para o desenvolvimento do presente trabalho de tese. A participação nestes grupos de discussão fez-me ver a importância de pesquisas de formação de professores que visem a autonomia do professor. Com esses estudos tive contatos com referenciais como: Marcelo García (1999); Pimenta (2005); Tardif (2004); Alarcão (1996); Contreras (1997); Goodson (2001); Porlán & Rivero (1998); Shulman (1986); Nóvoa (1992); Hernández et al. (2000); Chevallard (1991) Contreras (1997), Giroux (1997), Adorno (1969), Habermas (1968) e Horkheimer (1937) e vários outros.

A partir da leitura desses vários referenciais teóricos e outras leituras como Snow (1995), Fleck (1986), também adotei como referencial teórico na minha proposta de

doutorado a teoria pedagógica progressista de Henry A. Giroux (1997). Após várias discussões com o orientador e a bagagem oferecida pelas disciplinas e os grupos de pesquisa, refiz novamente o projeto de pesquisa intitulado: “*A articulação das culturas humanística e científica por meio do estudo histórico-sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule: contribuições para a formação de professores universitários em uma perspectiva transformadora*”.

O melhor entendimento da epistemologia de Fleck veio com o estágio de doutorado sanduíche³ realizado no programa de Pós Graduação em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Neste período, tive a oportunidade de cursar a disciplina: *Ensino de Ciências e Sociogênese do Conhecimento* ministrada pelo Prof. Dr. Demétrio Delizoicov Neto. Estudamos o livro de Fleck (2010): “*Gênese e o Desenvolvimento de um fato Científico*”, e a versão espanhola de 1986, sempre o relacionando com outros referenciais da Filosofia da ciência como Popper, Kuhn, Bachelard e outros autores da área de Filosofia, Sociologia e Psicologia da educação como: Piaget, Vigotski, Giroux e Paulo Freire, o que também possibilitou um maior entendimento da relação Filosofia e Sociologia da ciência com Filosofia e Sociologia da educação. Além das disciplinas, tive intensas discussões com meu coorientador, Prof. Demétrio Delizoicov sobre a utilização da epistemologia de Fleck na análise dos trabalhos de Joule, bem como as contribuições para a formação de professores universitários.

A ideia de articular as culturas humanística e científica veio desde a época do EM, quando comecei a pensar em entrelaçar os conhecimentos sobre a Revolução Industrial e a termodinâmica. Esta ideia fortaleceu ainda mais, quando cursei a graduação em Física, pois senti a necessidade de uma formação inicial que articulasse o conhecimento científico com o conhecimento humanístico. As disciplinas específicas do curso de Física eram totalmente baseadas na racionalidade técnica, isto é, na resolução de problemas, enquanto os aspectos humanísticos envolvidos nos conteúdos não eram abordados. As disciplinas voltadas para a licenciatura eram desarticuladas do

³ Este estágio foi realizado no período de 01/11/2011 a 30/03/2012 com bolsa concedida pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) com projeto submetido e aprovado processo número: 301.382/2011-5 sob a orientação do prof. Dr. Roberto Nardi (UNESP/BAURU-SP) e coorientação do Prof. Dr. Demétrio Delizoicov Neto (UFSC/Florianópolis-SC)

conteúdo específico, ou seja, estudávamos Psicologia da Educação e Educação Brasileira sem nenhuma articulação com o conhecimento de Física.

O caminho percorrido por minhas experiências teóricas e práticas descritos até o momento, refletiu na construção do referido projeto de tese. Os meus estudos sobre Espiritismo e Filosofia durante o EF e o EM motivaram-me a procurar uma formação interdisciplinar nos campos das ciências naturais, como a conclusão da graduação em Física, a iniciação científica e o mestrado em Biofísica, o que me proporcionou contato com as áreas de Biologia Celular e Molecular, Físico-Química e Bioquímica. A realização do doutorado em educação para a ciência, possibilitou-me uma formação científica articulada com a humanística, permitindo ter um contato mais profundo com algumas áreas estudadas anteriormente como HFSC.

Essa minha formação interdisciplinar se identifica com a escolha de um dos referenciais teóricos adotado neste trabalho, Ludwik Fleck⁴ (1986). Para Fleck, um mesmo indivíduo pode participar de vários coletivos de pensamento e para que a circulação intercoletiva de ideias e práticas aconteça de forma mais eficaz, deve ser mediada através de problemas. No meu caso em particular, ao longo da minha formação, fui me deparando com problemas científico-pedagógicos e motivações pessoais que me permitiram circular em vários coletivos de pensamento como o dos religiosos, dos físicos, biólogos, biofísicos, dos químicos, filósofos, pedagogos e historiadores.

A adoção do referencial teórico Henry Giroux (1997) também foi motivada pelas minhas experiências teórico-práticas, apresentadas até o momento. No campo prático, fui formado em um ambiente socioeconômico deficiente, por ter vivenciado inúmeros problemas sociais como estudante e professor nas escolas de região periférica. Isto me fez acreditar em um modelo de educação que busque a transformação social e a emancipação dos homens em uma luta constante para a melhoria da educação básica, sobretudo, por uma maior valorização econômica e formativa de professores em todos os níveis de ensino. Do ponto de vista teórico, a participação em um grupo de estudos de teoria crítica dos alunos de pós-graduação da UNESP; neste grupo, estudamos

⁴ Detalhes da epistemologia de Fleck vide capítulo 2 da presente tese.

referenciais da escola de Frankfurt como Habermas, Adorno, Horkheimer, Marcuse, além de outros referenciais críticos como: Giroux, Paulo Freire, Michael Apple.

Assim, através da minha prática docente e a caminhada pelos diversos campos do conhecimento nasceu o projeto de tese intitulado: “*A articulação das culturas humanística e científica por meio do estudo histórico-sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule: contribuições para a formação de professores universitários em uma perspectiva transformadora*”, cujo desenvolvimento, descrevo abaixo.

Tendo definido a minha temática de tese, o **objetivo geral** é fazer uma leitura, na perspectiva fleckiana, dos trabalhos de James Prescott Joule (1818-1889), mostrando as possibilidades de contribuições desta leitura no processo de articulação das culturas científica e humanística, com enfoque na formação de professores universitários em uma perspectiva transformadora.

Com objetivos específicos, procurei: a) realizar um estudo histórico-sociocultural, na perspectiva fleckiana, dos trabalhos de James Prescott Joule; b) fazer uma análise crítica das diretrizes nacionais dos cursos de Física; c) realizar um levantamento e coleta de dados empíricos em teses e dissertações nacionais das pesquisas sobre concepção de professores universitários sobre ensino-aprendizagem, currículo e HFSC; d) fazer uma leitura dos dados empíricos coletados na perspectiva sociocultural no processo de articulação das culturas científica e humanística; e) mostrar o porquê e como o estudo histórico sociocultural dos trabalhos de Joule poderia contribuir para a formação de professores universitários, contemplando a articulação das culturas científica e humanística em uma perspectiva transformadora.

Para atender aos objetivos propostos, a metodologia da pesquisa foi de caráter qualitativo e constituída de duas fases articuladas entre si. Segundo Bogdan e Biklen (1994) o método qualitativo é descritivo, os dados obtidos na pesquisa são em forma de palavras e não de números. Os dados incluem transcrições de entrevistas, notas de campo, fotografias, vídeos, documentos pessoais, memorandos ou outros registros oficiais. De acordo com os autores, um fator importante na pesquisa qualitativa é que a fonte direta dos dados é obtida no ambiente natural em que acontecem e estes são influenciados pelo contexto, o que possibilita ao investigador estudar de forma mais rigorosa o processo e não, simplesmente, o produto.

Assim, realizei uma pesquisa bibliográfica e documental que, segundo Gil (2002, p. 45), a diferença entre elas está nos tipos de fontes: enquanto a primeira é feita com material já elaborado como livros e artigos científicos, que já sofreram um tratamento analítico, ou seja, de diversos autores sobre o assunto; a segunda utiliza-se de materiais que não receberam tratamento analítico, ou seja, fontes primárias como cartas pessoais, artigos originais, diários.

Desse modo, no desenvolvimento da primeira fase desta pesquisa foram utilizados documentos históricos, artigos originais, cartas que circulavam entre os cientistas e pessoas comuns na época e consulta a obras de autores que estiveram envolvidos na construção do fato científico e obras de historiadores da Ciência. Nessa análise histórica, destaquei o caráter epistemológico dos fatos, enfatizando as circunstâncias sociais, culturais e econômicas que influenciaram direta ou indiretamente, o trabalho de James Prescott Joule, tendo como principal referencial teórico Ludwik Fleck (1986).

A segunda fase da pesquisa consta de levantamento de dados empíricos da literatura sobre pesquisas de visões de professores universitários com respeito às visões de ensino aprendizagem, currículo e HFSC no Ensino de Ciências. Para tanto, foi utilizada a análise de conteúdo de Bardin (1977), cuja técnica aplica-se a análise de textos escritos e a comunicação oral. No conjunto das técnicas de análise de conteúdo, destaca-se a análise categorial.

A análise por categorias consiste em classificar o conteúdo em grupos de elementos sob um título genérico, agrupamento este efetuado em razão dos caracteres comuns destes elementos. O critério de categorização pode ser temático, presente nesta análise.

O procedimento inicial foi decodificar os dados contidos nos questionários, entrevistas com descrição detalhada das ideias, chamada de estágio descritivo ou de análise categorial. Após a categorização dos dados, veio a fase interpretativa, com análise das manifestações dos sujeitos pesquisados para perceber a concepção de articulação das culturas científica e humanística dos professores universitários.

O presente trabalho de tese apresenta a seguinte estrutura:

No Capítulo 1 “História, Filosofia e Sociologia da Ciência na Formação de Professores de Ciências” é feita uma apresentação teórica sobre o processo de aproximação da História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC) no Ensino de Ciências e na Formação de professores. Além disso, é feita uma revisão bibliográfica das pesquisas relacionadas à aproximação da HFSC no processo de formação de professores. Tal levantamento foi feito nos periódicos: Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Ciência & Educação (C & E), Investigações em Ensino de Ciências (IENCI), Ensaio- Pesquisa em Educação em Ciências, Química Nova (QN), Química Nova na Escola, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC), Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), International Journal of Science Education, Science Education, Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias. Em tal levantamento, utilizei a metodologia de análise de conteúdo de Bardin (1977). A partir da análise do estado da arte das pesquisas que envolviam a aproximação da HFSC e Formação de Professores, apresento o problema e as questões de pesquisa do projeto de tese.

O Capítulo 2, “Epistemologia de Ludwik Fleck: Contribuições para o Ensino de Ciências”, inicia-se com a apresentação da epistemologia de Fleck (1986) e suas possibilidades para as Ciências Humanas. Em seguida, realizei um levantamento das pesquisas na área de ensino de Ciências e Matemática, que utilizam Fleck como referencial teórico. Esta revisão bibliográfica foi feita desde a origem dos periódicos [Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), Ciência & Educação (C & E), Investigações em Ensino de Ciências (IENCI), Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências, Química Nova na Escola, Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)] até o ano de 2011. No mesmo capítulo, comparei a epistemologia de Fleck com a de Thomas Kuhn. Analisei o trabalho de Thomas Kuhn (1977) “*A conservação da energia como exemplo de descoberta simultânea*” capítulo 4 do seu livro “*A Tensão Essencial*” e mostro as possíveis vantagens de uma análise do princípio da conservação da energia feita a partir da epistemologia de Fleck.

Já o Capítulo 3 “Uma análise dos trabalhos de James Prescott Joule na perspectiva histórico-sociocultural” traz um recorte sobre a evolução da ciência com o processo de industrialização em alguns países europeus e principalmente a formação

industrial de Manchester onde Joule nasceu, cresceu e desenvolveu grande parte de sua pesquisa. Apresentei a análise epistemológica dos trabalhos de James Prescott Joule, utilizando a epistemologia de Ludwik Fleck; para isto utilizei trabalhos de historiadores da ciência e artigos originais de Joule.

No Capítulo 4 “As duas culturas e a formação de professores: possíveis contribuições para sua articulação por meio do estudo histórico sociocultural do cientista James Prescott Joule”, apresentei os modelos (racionalidade técnica, pesquisador reflexivo e o de professor como intelectual autônomo e transformador) para a formação de professores. Ainda procurei definir o conceito de cultura, a dicotomia entre as culturas humanística e científica segundo Snow; descrevi sobre a proposta cultural de formação de professores de Henry Giroux e comparei seu pensamento com a epistemologia de Ludwik Fleck. Apresentei os dados empíricos da literatura sobre as concepções de professores universitários de ensino-aprendizagem, currículo e HFSC, e ainda uma análise crítica das diretrizes nacionais dos cursos de Física. A partir do quadro teórico apresentado por meio dos pensamentos de Henry Giorux e Ludwik Fleck, é que faço uma interpretação destes dados empíricos, visando uma articulação das culturas científica e humanística no processo de formação de professores universitários.

Por fim, no capítulo 5 Conclusões há algumas considerações mostrando as contribuições da análise histórico-sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule para a formação de professores universitários. Além disso, apresentei as perspectivas futuras deste trabalho, bem como outros problemas de pesquisa advindos da tese que podem ser melhores explorados em projetos futuros.

CAPÍTULO 1: HISTÓRIA, FILOSOFIA E SOCIOLOGIA DA CIÊNCIA NA FORMAÇÃO DE PROFESSORES DE CIÊNCIAS

1.1 Uma breve história da história das ciências

De acordo com Roller (1966), a História da Ciência é um estudo cujo propósito é problematizar, compreender as origens, os autores e as influências do conhecimento científico. Ela é uma área e disciplina de estudo que se utiliza de técnicas e métodos históricos de documentos relacionados com o passado científico. Entretanto, a História da Ciência não é simplesmente a junção da História com a Ciência, uma vez que possui metodologia de estudo própria, que não é da História, nem da Ciência. A História da Ciência Contemporânea, ao deixar de ser um mero apêndice da Ciência, não se tornou um campo da História, pois de acordo com Goldfarb (1994, p. 87):

[...] É preciso que se olhe para a ciência de forma histórica e filosófica; mas também para a história de forma filosófica e científica; e, ainda saber enxergar a filosofia de maneira histórica e científica para afinar os instrumentos de que se vale a História da Ciência em seu trabalho.

A História da Ciência constitui uma área interdisciplinar, sem abandonar o rigor filosófico e científico. Entretanto, não foi sempre assim. No decorrer da história da humanidade, a História da Ciência passou por várias mudanças de acordo com os critérios de verdade das ciências e do contexto sociocultural e político de cada época.

Em cerca de 300 anos a.C, o filósofo grego Eudemos de Rhodes escreveu sobre a História da Geometria, da Aritmética e da Astronomia e o também filósofo grego Menon escreveu sobre a história da Medicina (BASSALO, 1992). Nos séculos XVI e XVII, período de grande debate, a HC nasce ligada à própria ciência, o que hoje conhecemos por ciência moderna. Alguns achavam que a ciência deveria retomar os conhecimentos clássicos da Grécia antiga, de pensadores que vão de Tales de Mileto, Aristóteles e dos romanos. Outros pensavam que deveriam acabar com os conhecimentos clássicos e começar da estaca zero e descrever o que a natureza tinha para revelar. Os que escolhiam o caminho dos clássicos foram chamados de antigos;

os que buscavam a renovação da ciência, eram chamados de modernos e, ainda existiram os que tinham posturas intermediárias (GOLDFARB, 1994).

Philippus Aureolus Theophrastus Paracelsus (1490-1541) é um dos que rejeitaram a tradição clássica conhecida pelos europeus em Medicina. A Medicina clássica usava o método dos contrários para combater uma determinada doença. Se um paciente tinha uma doença de manifestação quente era porque faltava frio no organismo; se eram úmidas, os remédios deveriam levar a secura do organismo. Porém, Paracelsus rejeitou esta longa história, chegando até a queimar livros de alguns clássicos. Para ele, a cura de uma doença teria que vir pelos iguais; assim alguma doença de frio deveria ser curada com algum medicamento de natureza fria (GOLDFARB, 1994, p. 23-25).

O médico Vesalius (1514-1564) é um exemplo dos que retomaram o caminho iniciado pelos clássicos. Nas ilustrações do seu *De Fabrica humani corporis*, seguindo as ideias da Medicina clássica, ele corrige alguns erros, como a falta de uma costela no sexo masculino, os cinco lóbulos no fígado humano (gerada pelas dissecações de Galeno em fígados de porco). Georgius Agricola (1495-1555) em seu livro *De Re Metallica*, parte da tradição clássica Aristotélica escrevendo um pouco de sua história, para depois mencionar as novidades. Algumas novidades eram a forma dos mineiros encontrarem e trabalharem nas minas, métodos e processos de separação e purificação de metais, mas sempre mantendo diálogo com a cultura dos clássicos (GOLDFARB, 1994, p. 26-27).

Vesalius e Agricola são exemplos de antigos que, além de retomarem os clássicos, explicavam coisas novas. A História da Ciência sempre que mencionada por eles, justificava suas novas ideias. Assim, nos séculos XVI e XVII, a História da Ciência era a própria ciência e, neste sentido, atuava como uma justificativa e base da produção dos novos conhecimentos.

Ao longo do século XVII, a divisão entre antigos e clássicos vai se tornando confusa, até praticamente desaparecer. A ideia de ciência começava a tomar conta da cultura e, em consequência, academias, grupos e sociedades começaram a nascer na Europa. A ciência, desde o século XVI até parte do século XVIII, passa a fazer demonstrações públicas de experimentos científicos, utilizando-se de livros de

divulgação científica a fim de propagar e atrair adeptos para a ciência moderna; substituí-se textos clássicos sobre a natureza, por textos que a nova ciência estava propagando (GOLDFARB, 1994).

Nesse período, a História da Ciência passa por transformações, uma vez que a história do passado é substituída por uma história do futuro, no processo de justificativa do conhecimento. Devido à influência da visão positivista baconiana de ciência, a História da Ciência ganha especificidade. Assim, deveria existir a história da própria natureza; história natural, formada pelas várias histórias específicas, como a história das cores, a história dos ventos e ares, a história do calor, a história da mecânica etc. Mesmo com as ideias de Descartes ao colocar a razão humana como ponto de partida para a ciência, ele abre mão do passado para uma história do futuro. A História da Ciência passa a ser descrita como crônica do que estava acontecendo na nova ciência.

Essas crônicas eram de dois tipos: no primeiro, era feito o relato de experimentos que vinham das sociedades e academias científicas, que começavam a circular entre seus membros por correspondência. Com o tempo, ainda no século XVII, os primeiros periódicos científicos foram sendo criados e para o público que ainda devia ser conquistado e convencido sobre o valor da nova ciência, existiam versões simplificadas dessas crônicas. O segundo tipo de crônica era a história de como se desenvolviam as histórias naturais, uma crônica das crônicas. Naquela época, quase todas as sociedades científicas tinham seu cronista, responsável por escrever sobre os sucessos científicos do grupo. Alguns destes, ao escreverem as crônicas, acrescentavam uma parte histórica simplificada dos antigos. Mas, a intenção da maioria era desprezar o conhecimento do passado e destacar o conhecimento do presente. Esta forma de abordar a história espelhava-se no modelo da mecânica newtoniana, que influenciou a maioria das ciências (GOLDFARB, 1994).

De acordo com Goldfarb (1994), a mecânica era a moda na virada do século XVIII, substituindo paulatinamente a história natural de Lord Bacon ao longo do século XVIII. A exemplo da Física, havia um movimento constante de descrever os fenômenos naturais em modelos matemáticos, como classificação de seres vivos, origens da vida, origens da Terra. No entanto, era difícil descrever fenômenos desta ordem em modelos matemáticos, pois para cada grupo de animais ou plantas ou para cada pesquisa sobre

idades geológicas ou sobre minerais, poderia a qualquer momento, surgir um contra-exemplo que impedia a elaboração de um modelo geral. Assim, a história natural continuou sendo crônica e a filosofia natural queria modelos e teorias matemáticas, experimentos controláveis e leis gerais.

Ao longo do século XVIII, a História da Ciência vai perdendo espaço, principalmente com o advento da indústria; a ciência vai se ligando à modernidade tecnológica e a preocupação com o passado vai se tornando cada vez menor. As obras de grandes filósofos naturais eram escritas em verso e prosa e traduzidas em várias línguas. Não havia preocupação de usar a história para justificá-las, é a discussão pura e simples do processo do conhecimento e não a história deste processo. O que aconteceu foi uma maior invasão da Filosofia na História da Ciência, que já vinha acontecendo desde o século XVI (GOLDFARB, 1994).

O sistema filosófico positivista de Augusto Comte (1798-1857) influenciou a História da Ciência. Segundo o autor, a história poderia ser dividida em três estágios em ordem crescente de importância: o religioso, o filosófico e o científico. Estas seriam as etapas do desenvolvimento, no qual o conhecimento científico representa a última etapa, por ser mais preciso e abrangente. Apesar das ciências naturais, na época, ainda não terem alcançado status de “ciência”, na concepção positivista, elas deveriam servir de modelo para todas as outras formas de conhecimento. Comte sugere caminhos, tanto para as ciências naturais, quanto para as humanas, para se transformarem em verdadeiras ciências, especificando os seus objetos e campos de estudo. Inclusive, propõe uma ciência da sociedade: a Sociologia (GOLDFARB, 1994; KRAG, 2001).

Esse modelo comteano influenciou os estudos históricos. Os cientistas deixaram de ser filósofos naturais, na medida em que se especializavam em campos cada vez mais específicos e complexos, surgindo o cientista-historiador que, na maioria das vezes, não sabe muito de Filosofia e nem de História e usava o conhecimento científico como legitimação para escrever sobre História da Ciência. A qualidade das crônicas históricas era comprometida, mas havia alguns cientistas que faziam bem este papel, como o físico austríaco Ernest Mach (1838-1916), que apresenta um modelo de como teria ocorrido o desenvolvimento da ciência, questionando as definições newtonianas

de massa, de tempo, espaço e propõe o princípio de Mach, segundo o qual, a aceleração deixaria de ser uma grandeza absoluta, como na mecânica newtoniana e seria definida em relação ao centro de massa do universo. Em consequência, a massa inercial não seria uma propriedade intrínseca do corpo, já que dependeria da distribuição de massas do Universo. Segundo Goldfarb (1994, p. 65), Mach fazia uma história da ciência bem fundamentada, mas por estar ligado às teorias científicas do presente, apenas selecionava o que era certo ou errado do passado, com vistas a explicar o presente.

Outro exemplo é o do físico francês Pierre Duhem (1861-1916), que traduziu manuscritos originais antigos e medievais e defendia que o método legítimo de preparar o espírito para receber uma hipótese física, é o método histórico. Como Mach, Duhem fez uma crítica histórico-filosófica da Mecânica em seu trabalho *L'Evolution de La Mécanique*, editada em 1902. Além desse trabalho, de 1906 a 1913, fez estudos sobre a ciência medieval, publicou três volumes intitulados: *Etudes sur Léonard da Vinci*. Em (1906), publicou *La Théorie Physique, son Objet et son Structure*, na qual analisou as leis e princípios da Física relacionados aos campos da Acústica (1891), Eletromagnetismo (1902), Hidrodinâmica (1903, 1904) e Elasticidade (1906). No campo da História da Ciência, Duhem apresentou uma obra em 10 volumes intitulada: *Le système Du Monde: Histoire des Doctrines Cosmologiques de Platon à Copernic* que apresenta o desenvolvimento da Astronomia desde a Antiguidade à Renascença (BASSALO, 1992).

Nas primeiras décadas do século XX, houve um grande avanço da ciência, começando pela teoria da relatividade, mecânica quântica, as teorias da genética, a robótica, duas guerras mundiais, a bomba atômica, desastres ambientais, incidentes em que a ciência e a tecnologia estavam envolvidas. Neste período, a credibilidade da ciência começava a ser colocada à prova e novas reavaliações dos valores da ciência estavam sendo feitos. A História da Ciência perdia cada vez mais seu papel, à medida que as complicações e os problemas lógicos iam aparecendo na ciência. As aulas de História da Ciência eram dadas por velhos cientistas que, por terem atingido maturidade em uma área específica de estudos, tinham o mérito de falar sobre o assunto. Outros

cientistas, como Einstein, escreviam livros ou davam conferências, que eram vistas apenas como curiosidades.

Mesmo por historiadores profissionais, a História da Ciência, nesta época, era linear e progressiva, um conjunto de datas e nomes de grandes gênios e pais das descobertas científicas. Nomes como de Nicolau Copérnico, Galileu e Newton, na maioria das vezes, faziam parte dos trabalhos. Muitos documentos históricos que envolviam as motivações religiosas ou de magia eram desprezados, por exemplo, a alquimia de Newton e os estudos de magia de Francis Bacon. Este era o modelo de história positivista que tinha como referência a Ciência moderna, representada, principalmente, pela Ciência Física (GOLDFARB, 1994).

Um dos principais autores a colaborar com esse modelo de História da Ciência foi o belga George Alfred Léon Sarton (1884-1956). Ele fundou em 1912 a revista *Isis*, cujo objetivo era a publicação de textos sobre História da Ciência. Segundo Bassalo (1992, p.59), Sarton tinha como objetivo fundamental institucionalizar a disciplina História da Ciência e para isto escreveu 15 livros e mais de 300 trabalhos, entre artigos, notas e comentários.

Uma exceção a esse modelo positivista foi o trabalho de Lynn Thorndike, que escreveu uma obra em oito volumes, a qual levou 50 anos para concluir. Nesta obra, ele busca destacar o valor das obras científicas, não necessariamente, teóricas, que não tinham como principal referência a Física. Apesar de ter ainda um caráter positivista, Thorndike faz um levantamento rico de documentos originais sobre história da magia e da experimentação (GOLDFARB, 1994).

A visão linear do conhecimento tinha como consequência o fato de a maioria das outras ciências serem comparadas com a ciência moderna. Existiam ciências melhores, piores, completas e incompletas. Isto fez com que os trabalhos assumissem uma concepção de História da Ciência anacrônica (Whiggista), ou seja, uma análise do passado com os olhos do presente. Contudo, segundo Henry (1998), a ideia de continuidade pode ser vista, até certo ponto, como uma solução para as tendências Whiggistas, porque o olhar seria voltado para trás, e não simplesmente para frente, de forma ingênua.

Era complexo explicar esses problemas, pois leva a questões filosóficas de como o ser humano conhece as coisas. Isto foi motivação para vários filósofos na década de 30 do século XX como Popper, Bachelard, Fleck. Alguns esquecendo a História da ciência, outros como Bachelard, que buscou explicação na história do calor e da estrutura da matéria para dizer que o conhecimento científico é descontínuo. Essas ideias sofreram resistências, mas outros filósofos, como Alexandre Koyré, entre os anos 40 e 50 defenderam a ideia de ciência descontínua (GOLDFARB, 1994)

Nos anos 50, havia um grupo de historiadores e filósofos que tentaram juntar os debates internalismo/externalismo⁵ e continuísmo/descontinuísmo no estudo do surgimento da ciência moderna. E nesses trabalhos nasce a noção de revolução científica, como adaptação do conceito de revolução social (GOLDFARB, 1994).

Nos anos 60, com o trabalho de Thomas S. Kuhn, é que o termo descontinuidade teve um estudo mais aprofundado, por meio do termo paradigma que, apesar de ter sido definido de modo variado, justifica a ideia de descontinuidade. A contribuição importante desta discussão de Kuhn é a ruptura da ideia de que uma ciência mais antiga é ruim ou estava errada, em relação a uma ciência mais nova, pois para Kuhn havia a incomensurabilidade, ou seja, dois paradigmas diferentes não têm como serem comparados, medidos um contra o outro. Como uma revolução social, nas revoluções científicas, a única certeza que fica é a da mudança. Se essa mudança foi para melhor ou pior, não será através da lógica, ou da história, que se poderá avaliar.

Cumprindo seus melhores objetivos revolucionários iniciais, outras vezes, piores, a ciência normal avança, mais dentro de seu próprio paradigma, ou do projeto que traçou para si. Uma vez que um paradigma chega ao fim, ninguém poderá dizer para onde os novos objetivos vão levar, porque o novo paradigma não está dentro do velho, visto que nada nos garante a superioridade de um sobre o outro. Portanto, a ciência moderna não pode ser superior à ciência antiga. Ela pode ter sido mais operativa sobre a natureza, mas não mais correta do que as ciências anteriores ou as diferentes dela. Se o objetivo da ciência moderna era conhecer melhor as suas verdades, depende do que se entendeu por verdade em cada época e para cada pensador.

⁵ Uma reflexão sobre esta questão será dada na próxima seção.

Assim, a ciência moderna deixava de ser o padrão, ampliando os horizontes da História da Ciência na busca de como cada povo, com culturas diferentes, constituíram suas verdades e formas de ver a natureza. Sem o peso da continuidade, a História da Ciência deixa de fazer enormes compêndios e crônicas por buscas de gênios ou pais e bisavôs da ciência. Poderia dedicar-se, sem receio, aos estudos da magia, da alquimia e das crenças, sabendo que esses elementos haviam sido formas de conhecimento. Os estudos sobre ciência e sociedade iniciaram-se nesta época, como os estudos da etnociências, que se dedicam a pesquisar as ciências próprias aos vários povos e culturas; os estudos sobre gênero e ciência, que incluem o trabalho das mulheres na ciência; pesquisas sobre influências mútuas entre artes, humanidades ou técnicas, reconhecendo assim sua interação com vários fazeres humanos. Pesquisas sobre ciências nacionais, difusão da ciência ou ciência colonial, em que mais diretamente se pode observar que a ciência esteve e está mergulhada no processo histórico (GOLDFARB, 1994).

O fato da História da Ciência estar relacionada à História, à Filosofia e à Ciência torna essa disciplina um exemplo de estudo interdisciplinar. Este estudo pode oferecer contribuições importantes no delineamento de políticas científicas e na educação científica. A política científica, ao trabalhar com modelos de desenvolvimento, tem necessidade de compreender o processo histórico da ciência com a sociedade, de repensar os equívocos e de aproveitar as experiências bem sucedidas do passado (GOLDFARB, 1994).

Quanto à utilização da História da Ciência na educação científica, ela pode oferecer discussões sobre a desmistificação do conhecimento científico, que poderá facilitar o entendimento do processo de construção do conhecimento científico, na ruptura dos obstáculos epistemológicos, na aprendizagem de conceitos e na consideração da ciência como um empreendimento humano. Neste sentido, vários esforços estão sendo feitos, como o surgimento de periódicos e congressos especializados na discussão da História e Filosofia da Ciência no Ensino de Ciências (GOLDFARB, 1994).

1.2 A abordagem internalista e externalista da História da Ciência

Existem duas abordagens da História da Ciência: a internalista e a externalista, que dependendo da linha teórica assumem várias vertentes. De forma geral, a internalista interessa-se pelos fundamentos lógicos do conhecimento científico como a matematização do conhecimento científico, o processo de experimentação; já a externalista é preocupada com as influências sociais, econômicas, políticas e culturais na produção do conhecimento científico.

A abordagem internalista teve grande força no trabalho de físicos, químicos e biólogos que não eram historiadores profissionais, mas que escreveram sobre a História da Ciência. Como exemplo, temos, no século XX, cientistas como Dugas Jammer, Partington, Truesdell e Whittaker que fizeram estudos históricos de campos específicos do conhecimento científico (KUHN, 1977).

De acordo com Kuhn (1977, p. 148-150), as perguntas básicas que um historiador faz na perspectiva internalista são: ao abordar a história de uma teoria científica, o historiador deveria questionar quais os problemas os cientistas formularam? O que pensou o cientista ao ter descoberto algo e o que ele considerou ser o fundamento desta descoberta? Ainda, no processo de reconstrução, o historiador deveria observar os avanços e retrocessos na produção de determinado conhecimento científico.

Segundo Kuhn (1977), a perspectiva externalista tentou várias formas de colocar a ciência na perspectiva cultural, que tomaram três vertentes. Uma delas é o estudo das instituições científicas. Exemplo são os estudos de história das instituições científicas do século XVIII; a Sociedade Lunar de Schofield; a educação científica na França em colaboração com Taton. Para o século XIX, temos o exemplo do estudo de Cardwell sobre a organização da ciência na Inglaterra, o de Dupree sobre a organização da ciência nos Estados Unidos e o de Vucinich sobre a ciência na cultura Russa.

Uma segunda vertente é o estudo dos historiadores sobre a influência da ciência nos outros ramos do conhecimento. Neste bojo, formas de pensar a ciência são utilizadas em outras áreas do conhecimento como a economia, política etc. No entanto, de acordo com Kuhn muitos destes paralelos demonstram pouco aprofundamento,

configurando uma má interpretação. Mesmo assim, Kuhn não descarta a possibilidade de influências de teorias científicas na organização política e social dos vários países. Exemplos são: os estudos de Nicolson sobre ciência e literatura dos séculos XVII e XVIII; a discussão de Westfall sobre a religião natural; a relação ciência e iluminismo de Gillispie; o papel das ciências da vida no pensamento francês do século XVIII. A terceira abordagem é o estudo da ciência, numa área geográfica com o objetivo de compreender o papel social e o estabelecimento da ciência.

Em relação à abordagem externalista, Shinn & Ragouet (2008), apresentam três pontos de vista sociológicos sobre a ciência, a inovação e a técnica: a perspectiva diferenciacionista, anti-diferenciacionista e a transversalista.

A perspectiva diferenciacionista tem como característica, a consideração de que a ciência é um modo de conhecimento epistemológico diferente e superior aos outros modos de compreensão da realidade. Nesta vertente, há uma separação clara entre o trabalho da sociologia e da epistemologia. Os principais representantes desta vertente são: Robert Merton, Joseph Bem David, Diana Grane, Derek De Solla Price e Eugen Garfield.

A abordagem diferenciacionista possui algumas limitações na análise sociológica da ciência, porque se reduz a investigar a influência das instituições no conhecimento científico, não se preocupando com o estudo cognitivo do conhecimento científico. Para Merton, a criação de associações como a Royal Society promove a ciência na medida em que participa de sua institucionalização. Além disso, o eminente sociólogo identifica quatro normas, que segundo ele, ajudam garantir a autonomia da ciência e permite à comunidade científica resistir à influência de fatores políticos e econômicos. São elas: o universalismo, o comunalismo, o desinteresse e o ceticismo⁶. Estas normas são interiorizadas pelos cientistas, durante o seu aprendizado e são elas que fazem da ciência um sistema social diferente dos outros (SHINN & RAGOUET, 2008, p. 18-22).

⁶ O universalismo: A aceitação e a recusa de trabalhos científicos não podem estar subordinados a atributos pessoais ou sociais dos seus produtores. O comunalismo: a ciência é uma atividade pública que leva a produção de bens públicos, os resultados pertencem a toda a comunidade; o desinteresse: os cientistas se dedicam a procura da verdade, eles não são movidos por interesses pessoais, ou, motivações externas a ciência; o ceticismo: a preocupação fundamental dos cientistas é não se deixar influenciar por convicções pessoais, autoridade quando avaliam os trabalhos dos colegas cientistas (SHINN & RAGOUET, 2008).

Os referenciais teóricos da segunda perspectiva, a anti-diferencionista, são os representantes do programa forte da sociologia David Bloor e Barry Barnes; as pesquisas sobre etnografia da ciência de Bruno Latour e Steve Woolgar, Karin Knorr-Cetina, Michael Linchy; a teoria de ator-rede de Bruno Latour e Michel Callon. Apesar de apresentarem diferentes argumentações sociológicas do conhecimento científico, possuem em suas abordagens teóricas pontos comuns, como a visão relativista de ciência e tecnologia, e, contrariamente, à perspectiva diferencionista deixam de analisar somente os aspectos institucionais da ciência, passando a se preocupar, também, com os aspectos de construção do conhecimento científico-tecnológico (SHINN & RAGOUET, 2008, p. 59-98).

Nessa perspectiva, há uma recusa da unidade epistemológica da ciência com a justificativa de que o conhecimento científico é o resultado de condições sociais e técnicas heterogêneas. Nesta vertente, as noções de disciplina e de especialidade são criticadas e tendem a desaparecer e serem substituídas pela noção de rede. Em síntese, nesta abordagem sociológica, a unidade e autonomia da ciência e as formas de divisão do trabalho que a caracterizam desapareceriam, pois ao relativizarem a construção do conhecimento científico e tecnológico não há mais divisão entre as dimensões sociais e cognitivas do conhecimento científico.

Por meio de uma dialetização da perspectiva diferencionista (a autonomia do conhecimento científico) e da antidiferencionista (relativismo científico que culminava na propagação da idéia de anticiência), Shinn e Ragouet (2008) propõem uma terceira perspectiva; a transversalista, da qual há três pontos de interesse:

- (1) A autonomia relativa do campo científico, o que significa que ele está dotado, ao mesmo tempo, de mecanismos de regulação que lhes são próprios e que ele estabelece com os outros microcosmos sociais-campos econômico, político etc.-relações de interdependência;
- (2) A existência de fluxos migratórios transversais aos espaços disciplinares que concernem tanto aos praticantes quanto aos conceitos e instrumentos-sobre os quais os antidiferencionistas se debruçaram, mas para ver neles somente o testemunho de uma desapareção das fronteiras, notadamente disciplinares;
- (3) A persistência de movimentos de convergência intelectual e de capitalização cognitiva que transcendem as demarcações disciplinares, bem como a estabilização de subcampos de pesquisa (SHINN & RAGOUET, 2008, p. 123).

A perspectiva transversalista tem a intenção de ultrapassar as abordagens estritamente diferenciacionistas, sem cair no antidiferencionismo. Baseados em diferentes noções de campo científico defendida por autores como Pierre Bourdieu (1975, 2001) e Richard Whitley (1984), Shinn e Ragouet (2008, p.134-136), apresentam quatro pontos de vista, que constituem a coluna vertebral da abordagem transversalista:

- A concepção do campo científico, como sendo distinto de outros campos sociais.
- A ciência toma a forma de um conjunto de estruturas, de processos organizacionais e intelectuais. A não aceitação da divisão clássica de tarefas entre a epistemologia e a sociologia.
- A existência das disciplinas, mas a consciência das mudanças dos campos disciplinares, principalmente devido às atividades sociointelectuais das estruturas científicas representadas por estas disciplinas.
- Recusa da idéia de ciência como universo puro de intelectuais desinteressados.

Em síntese, esses autores utilizam a noção de campo científico para propor uma abordagem transversalista, que considere não apenas uma análise intrínseca aos campos científicos, mas também como os cientistas se relacionam com os outros campos científicos diferentes daqueles dos quais eles participam e ainda com outros campos sociais, como o político e o econômico.

A sociologia diferenciacionista de Merton, Bem David, que predominou entre os anos de 1940 e 1970, deu uma contribuição para a Sociologia da Ciência, mas colocou a ciência como sendo autônoma em relação aos grupos sociais. Já os sociólogos antidiferencionistas colocaram a ciência em pé de igualdade a outros grupos sociais, como a indústria e a política. Alguns sociólogos desta vertente, em uma visão reducionista, defendem que só tem futuro somente o conhecimento científico aplicado, modelado pelas exigências econômicas do mercado (SHINN & RAGOUET, 2008, p. 160-162).

Já a perspectiva transversalista tende a desenvolver uma análise, tanto dos processos sociais que dão à ciência sua autonomia quanto os seus aspectos racionais, que fazem dela um microcosmo social em ligação com os outros microcosmos sociais.

Enquanto na perspectiva antidiferencionista, a ciência é considerada uma instituição social como as outras, na perspectiva transversalista a ciência é diferenciada, no entanto, os processos de institucionalização são determináveis.

Quanto ao desafio futuro da Sociologia da Ciência, os autores concluem que:

[...] A ambição de uma sociologia da ciência pertinente é tornar inteligíveis as dinâmicas sociais em operação na elaboração dos conhecimentos científicos, mas, igualmente, esclarecer as condições que permitem aos cientistas neutralizar os fatores sociocognitivos suscetíveis de pesar sobre o livre exercício da racionalidade crítica (SHINN & RAGOUET, 2008, p. 163).

Entretanto, alguns autores como Moreira Jr. (2009), apontam críticas quanto ao modelo transversalista. A primeira diz respeito à falta de aprofundamento de dados empíricos históricos que deem mais consistência ao modelo proposto pelos autores; a segunda é o reducionismo dos autores quanto ao significado de “campo científico”, definida pelos autores, que no caso, confunde-se com a noção de disciplina.

Apesar dos problemas apontados, esta posição transversalista parece defender um equilíbrio nos estudos sociológicos da ciência entre a abordagem internalista e externalista. Este posicionamento, apesar de ser diferente é corroborado por Kuhn (1977) para quem, o isolamento de uma comunidade científica madura acontece dentro dos conceitos e a estrutura dos problemas desta ciência, mas que existem outros aspectos para o avanço como o financiamento de empreendimentos científicos por empresários e governos. Além disso, Kuhn alerta que apesar das abordagens internalista e externalista terem sua autonomia, elas precisam se complementar com a finalidade de dar um entendimento mais coeso ao desenvolvimento científico.

Esse equilíbrio nas abordagens internalista e externalista nos estudos de HFSC é corroborado por Ludwik Fleck que será utilizado na análise dos trabalhos do cientista James Prescott Joule, no presente trabalho de tese. No bojo desta discussão, um dos focos da revisão bibliográfica deste capítulo é sabermos a quantidade de trabalhos e de que maneira é feita a abordagem externalista e internalista da ciência, nas pesquisas realizadas sobre História, Filosofia e Sociologia da Ciência na formação de professores de Ciências.

1.3 Algumas considerações acerca da História e Filosofia da Ciência no ensino de Ciências

A realização de congressos ajudou na aproximação da História e Filosofia da Ciência com o ensino de Ciências. Exemplo dessas iniciativas foi a conferência internacional sobre História, Filosofia e Sociologia e o Ensino de Ciências, na Universidade Estadual da Flórida, em novembro de 1989. Uma série de conferências patrocinadas pela sociedade europeia de Física sobre “A História da Física e seu Ensino”, realizadas em várias cidades da Europa e alguns programas americanos de formação de professores de Ciências que tornaram obrigatórias disciplinas de História, Filosofia e Sociologia da Ciência (MATTHEWS 1995, p.166- 171).

No Brasil, existem vários congressos que contemplam mesas redondas e seções de trabalhos de HFC e ensino de Ciências, como o Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências (ENPEC), o Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (EPEF), o Simpósio Nacional de Ensino de Física (SNEF), o Encontro Nacional de Ensino de Química (ENEQ) e o Encontro Nacional de Ensino de Biologia (ENEBIO). Os encontros específicos de historiadores da ciência que dedicam seções para a discussão da abordagem da História, Filosofia e Sociologia da ciência no ensino básico e superior como: Simpósio Nacional de História da Ciência e da Tecnologia (SNHCT), Encontro de Filosofia e História da Ciência do Cone Sul (AFHIC) que é realizado em países Sul-Americanos, Encontro da Associação Brasileira de Filosofia e História da Biologia (ABFHIB).

Alguns periódicos nacionais como a Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF), o Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF), a Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC), Ciência & Educação (C & E) e Investigações em Ensino de Ciências (IENCI) dedicam seções ou abrem espaços para publicação de pesquisas na área de História e Filosofia da Ciência e Ensino de Ciências. A exemplo disso, os números especiais do CBEF, v. 13, n.3 de 1996; v. 19 n. especial de 2002 trazem artigos sobre os epistemólogos contemporâneos. O volume 10, n.3, de 2004, da revista Ciência & Educação é temático, contendo uma série de artigos sobre epistemologia e episódios históricos das áreas de Ciências Naturais e Matemática, mostrando suas implicações para o ensino de Ciências.

São várias as justificativas para essa grande preocupação em estudar a História e Filosofia da Ciência no ensino de Ciências. Para Matthews (1995, p.172), a tradição contextualista assevera que a História da Ciência contribui para o seu ensino porque:

(1) Motiva e atrai os alunos; (2) humaniza a matéria a se; (3) promove uma compreensão melhor dos conceitos científicos por traçar seu desenvolvimento e aperfeiçoamento; (4) há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais na história da ciência – a Revolução científica, o darwinismo, etc; (5) demonstra que a ciência é mutável instável e que, por isso, o pensamento científico atual está sujeito a transformações que (6) se opõem a ideologia científicista; e, finalmente , (7) a história permite uma compreensão mais profícua do método científico e apresenta padrões de mudança na metodologia vigente.

Entretanto, existem opositores a essas justificativas explicitadas acima, entre eles Klein (1972 apud MATTHEWS, 1995, p. 173), que afirmava que a única história possível nos cursos de ciências, era uma história simplificada, a qual poderia disseminar uma falsa história no ensino, já que acreditava na dificuldade da coexistência entre o rigor dos fatos que o historiador idealiza com a simples descrição dos fenômenos que a Física procura. Segundo Kuhn (1970 apud MATTHEWS, 1995, p. 176), o estudante não é encorajado a ler os clássicos históricos de suas áreas em obras, uma vez que poderia ter uma visão crítica da construção das teorias científicas. No entanto, defendeu uma iniciação do estudante ao estudo da História da Ciência, mesmo que dogmática.

Para Matthews (1995, p.177), as acusações feitas por Klein e Kuhn são sérias, no entanto, considera que o fato de a História da Ciência ser simplificada, não se torna um argumento decisivo contra ela. A tarefa pedagógica é, então, a de produzir uma história simplificada que lance uma luz sobre o conteúdo das disciplinas, mas que não seja uma mera caricatura do processo histórico. O sucesso do projeto de Física de Harvard é um exemplo contra as acusações de Kuhn e Klein, uma vez que comprova que é possível, de fato, uma educação sem catequese.

Esse projeto, fundamentado em princípios histórico – filosóficos, atingiu 15% dos alunos de Ensino Fundamental e Médio nos Estados Unidos, cujo currículo escolar de ciências preocupava-se com as dimensões cultural e filosófica da ciência. O sucesso foi refletido na diminuição da evasão escolar, por atrair mulheres para os cursos de

ciências, por desenvolverem habilidades do raciocínio crítico e por elevar a média de acertos alcançada em avaliações (MATTHEWS, 1995).

No Brasil, nos últimos anos, têm ocorrido reformas educacionais expressas pela LDB/96 (Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional) que, juntamente com seus documentos oficiais, as Diretrizes Curriculares Nacionais (DCNs) e os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs) mostram os interesses da lei e fornecem orientações para a implantação da reforma.

Na perspectiva de organização do currículo escolar, as orientações complementares aos parâmetros curriculares, os PCN+ (Brasil, 2002), a área de Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias sugerem a utilização da História, Filosofia e Sociologia da Ciência na sala de aula. Isto fica claro quando esse documento explicita que o ensino de Ciências deve contribuir, entre outras coisas, para criar no aluno competências e habilidades que permitam entender o processo de construção das ciências, como uma atividade humana, que se desenvolve por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade. Nesta perspectiva, a História e Filosofia da Ciência (HFC) no Ensino Médio, nos livros didáticos e na formação de professores pode contribuir para alcançar tais competências e habilidades.

Muitos cursos de graduação, principalmente de formação de professores, estão passando por mudanças, inserindo, tanto disciplinas que contemplem História e Filosofia da Ciência como conteúdo (em si) das disciplinas científicas quanto estratégias didáticas facilitadoras da aprendizagem dos conceitos, modelos e teorias científicas. Entretanto, segundo Bastos (1998, p.44-57) ainda existem obstáculos para o uso da História da Ciência no Ensino de Ciências,

(a) os textos disponíveis para subsidiar o trabalho dos alunos em sala de aula dificilmente contemplam as necessidades específicas do ensino fundamental e médio;

(b) há uma certa escassez de propostas concretas sobre como explorar conteúdos de História da Ciência de maneira a contribuir para a realização de objetivos educacionais como 'compreender melhor o que é a ciência' e 'formar o cidadão';

(c) existe a opinião de que o uso da História da Ciência no Ensino de Ciências é inviável ou mesmo prejudicial à aprendizagem; segundo tal modo de pensar,

[...] os currículos escolares não dispõem de espaço suficiente para a uma adequada apresentação da História da Ciência;
[...] o Ensino de Ciências tende a simplificar, mutilar e distorcer a História da Ciência [...];
[...] os contextos específicos em que os cientistas do passado trabalhavam são de difícil compreensão para os alunos de hoje;
[...] o uso de relatos históricos é fator de confusão e não de esclarecimento, pois expõe o aluno a idéias, problemas, conceitos, teorias e métodos que já foram descartados e substituídos por outros;
[...] o uso de relatos históricos é fator de desmotivação e não de estímulo, pois o aluno está interessado em conhecimentos atualizados e não em conhecimentos que já caíram em desuso [...]

Essas preocupações apontadas por Bastos são bastante pertinentes para uma maior reflexão do processo de aproximação da História, Filosofia e Sociologia da Ciência no Ensino de Ciências na educação básica e nos cursos de formação de professores. Esta reflexão remete a questões: Para que História, Filosofia e Sociologia da Ciência no Ensino de Ciências? Qual o objetivo de aproximar História, Filosofia e Sociologia da Ciência na Formação de Professores? Como seria esse processo de aproximação?

1.3.1 História, Filosofia e Sociologia da Ciência na formação de professores

Segundo Matthews (1994), a História e Filosofia da Ciência são importantes na formação de professores porque estes necessitam de pelos menos três competências básicas: (i) O conhecimento e a apreciação da ciência que ensinam; (ii) Compreensão da história e filosofia da ciência; e (iii) Formação teórica que fundamente suas atividades na sala de aula.

Na universidade de Harvard, por meio de Conant, a História da Ciência ganhou destaque, principalmente pelo desenvolvimento de livros de bolso como: *Compreendendo a Ciência: Uma Abordagem Histórica* (1947), *Estudo de casos de Harvard sobre história nas ciências experimentais* (1957), que se tornaram livros-textos de muitos cursos de Ciências. Conant foi um dos grandes inspiradores de Kuhn na apresentação da História da Ciência e no processo de entendimento da natureza do conhecimento científico. Existiram outros personagens, que participaram de projetos,

envolvendo a História da Ciência, como Gerald Holton, em colaboração com Stephen Brush, Fletcher Watson, James Rutherford e outros, que desenvolveram o projeto de Harvard para ser usado em escolas da educação básica (MATTHEWS, 1995).

Um exemplo da aproximação da História e Filosofia da ciência no Currículo Brasileiro foi o início da graduação em Física no Brasil em 1934, na Faculdade de Filosofia Ciências e Letras da Universidade de São Paulo (USP) da disciplina “Teorias Físicas e História da Física”, sob responsabilidade do prof. Gleb Wataghin, que permaneceu no currículo até 1942, reaparecendo novamente em 1966-7 como “História das Ciências Físicas”. Com a implantação da reforma universitária de 1968, a disciplina passou a integrar o Departamento de História. Como havia interesse do Departamento de Física da USP em manter a disciplina, criou-se a disciplina “Evolução dos Conceitos da Física”, uma vez que essa denominação ficaria vinculada aos físicos.

Quando a disciplina retornou em 1966-7, houve muitas modificações curriculares originando o livro: “Evolução das Idéias da Física” de Osada J. O curso tinha por característica explicitar o surgimento de várias ciências e, no caso da Física, seus ramos. Discutia-se também as relações entre técnica e ciência, com ênfase na engenharia nuclear. Houve variações nos programas de Evolução dos conceitos da Física, de acordo com as especialidades e os interesses pessoais dos responsáveis pela disciplina. Então várias ênfases foram dadas, como ciência grega e ciência brasileira, esboçando o pensamento de Mário Shemberg.

Ainda no Brasil, em 2002, foram instituídas as Diretrizes Curriculares Nacionais de formação de professores da educação básica, em nível de graduação plena (CNE/CP1/2002)⁷ o que abre possibilidades para a aproximação da História, Filosofia e Sociologia da Ciência na formação docente, quando indicam o preparo para o exercício de atividades de enriquecimento cultural e desenvolvimento de competências no processo formativo referentes ao domínio dos conteúdos a serem socializados, aos seus significados em diferentes contextos e sua articulação interdisciplinar.

⁷ CNE/CP 1/2002: Institui as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores de Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena, aprovada em 18/02/2002 e publicada no Diário Oficial da União, de 04 de março de 2002.

Especificamente nas Diretrizes Curriculares para os cursos de Física (CNE/CES 1304/2001), a indicação da utilização da História, Filosofia e Sociologia da Ciência é dada tanto para os cursos de bacharelado quanto para os de licenciatura em Física: “Desenvolver uma ética de atuação profissional e a conseqüente responsabilidade social, compreendendo a Ciência como conhecimento histórico, desenvolvido em diferentes contextos sócio-políticos, culturais e econômicos”. Entretanto, esta disciplina é mantida nos conteúdos curriculares apenas como uma disciplina complementar. Isto pode gerar problemas, no sentido de que os departamentos ou institutos de Física podem deixar a História, Filosofia e Sociologia da Ciência apenas como disciplina optativa, dificultando uma participação mais efetiva dos estudantes para o conhecimento histórico de sua disciplina.

Essa dificuldade é apontada por Batista (2007, p.265) para quem, a maioria dos currículos dos cursos de licenciatura em Física ainda não reflete o avanço das pesquisas em educação em Ciências. A autora aponta a necessidade de reformulações curriculares, tanto nos cursos de formação inicial, quanto dos professores em serviço, levando em consideração as abordagens de HFC.

Em um processo formativo, cuja abordagem é de HFSC, podemos ter a contribuição de diferentes linhas: Estudo de episódios científicos e biografias, Fontes Primárias e Experimentos Históricos; Uso do teatro e mídias em HFSC e Discussão da Natureza da Ciência, que estão relacionadas entre si, podendo ser abordadas conjuntamente ou isoladamente.

O termo *natureza da ciência* (NdC) refere-se à epistemologia da ciência que tem por objetivo investigar questões como: O que é a ciência? Como funcionam os fundamentos ontológicos e epistemológicos da ciência? Como os cientistas operam como um grupo social e como a sociedade em si influencia e reage aos esforços científicos? (CLOUGH, 2006).

Assim como a ciência, a linha natureza da ciência passou por transformações, de acordo com o seu contexto, assumindo várias posturas, desde uma epistemologia positivista, até uma postura de acordo com a epistemologia contemporânea (ALTERS, 1997; ABD-EL-KHALICK e LEDERMAN 2000). Particularmente, cada uma destas posturas representadas por suas correntes filosóficas assumiram e assumem várias

abordagens sobre o que é ciência. Na atualidade, a postura mais consensual nas pesquisas em ensino de Ciências é a epistemologia contemporânea, representada por Filósofos como Popper, Bachelard, Kuhn, Lakatos, Feyerabend, Latour, Laudan, entre outros. Tais filósofos apresentam divergências quanto à natureza do conhecimento científico. No entanto, McComas et al. (1998, p.513) enumeram alguns pontos consensuais entre esses filósofos:

- O conhecimento científico, enquanto durável, tem um caráter não absoluto;
- O conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não totalmente, na observação, nas evidências experimentais, nos argumentos racionais e no ceticismo;
- Não existe uma maneira única de se fazer ciência (isto é, não há um método científico universal);
- A ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais.
- Leis e Teorias exercem papéis diferentes na ciência, e teorias não se tornam leis, mesmo quando evidências adicionais se tornam disponíveis.
- Pessoas de todas as culturas contribuem para a ciência.
- Os novos conhecimentos devem ser comunicados de forma clara e aberta;
- Os cientistas necessitam de registros precisos, revisão por pares e replicabilidade dos estudos realizados.
- As observações são carregadas de teorias.
- Cientistas são criativos.
- A Ciência é parte das tradições culturais e sociais.
- A História da Ciência apresenta um caráter tanto evolutivo quanto revolucionário.
- A ciência e a tecnologia impactam uma à outra.
- Idéias científicas são afetadas pelo seu meio social e histórico.

A inserção da natureza da ciência pode possibilitar um maior entendimento do que é ciência para os estudantes. Na área de ensino de Ciências há uma grande defesa de inserção desta discussão nas várias modalidades de ensino, na divulgação científica, no ensino básico e na formação de professores. Tal preocupação é exposta, principalmente, pela constatação de várias pesquisas de uma postura empirista indutivista da ciência declarada nestas várias instâncias de ensino (PORLAN et. al; 1998; HARRES, 1999; IRWING 2000; GLASSON & BENTLEY 2000; KOHNLEIN E PEDUZZI, 2002; MASSONI & MOREIRA 2007; SILVA & MOURA, 2008).

Existe uma diversidade de propostas metodológicas para a inserção da natureza da ciência no ensino de Ciências testadas em diferentes contextos. Estas propostas podem ser classificadas em implícitas e explícitas. As implícitas são quando se tenta abordar a natureza do conhecimento científico, sem fazer uma abordagem de forma

direta dos aspectos epistemológicos da produção do conhecimento científico. Um exemplo é quando se propõe a estudantes investigar um determinado fenômeno no laboratório ou discorrer teoricamente, enfim, quando os colocam imersos no processo “de fazer ciência”. Enquanto numa abordagem explícita, há o emprego da História da Ciência com uma discussão direta sobre epistemologia na abordagem de temas científicos (LEDERMAN, 1992, ABD-EL-KHALICK & LEDERMAN 2000).

Segundo esses autores, uma abordagem explícita da natureza da ciência tem uma maior eficiência do que as implícitas no processo de melhoria das visões de ciência de professores em formação inicial e em serviço. Diante disso, os autores recomendam que metodologias de ensino-aprendizagem de mudanças sobre visões de ciências dos professores tenham um caráter explícito reflexivo.

A natureza da ciência pode possibilitar aos professores compreenderem a ciência como construção dinâmica, produzida por seres humanos com limitações, que enfrentam dificuldades psicológicas, sociais, econômicas e políticas. Neste sentido, a história de episódios científicos para a formação de professores também pode ser importante, sobretudo textos que subsidiem e apontem metodologias de ensino-aprendizagem do entendimento de conceitos científicos, em uma perspectiva tanto internalista, quanto externalista. Na perspectiva internalista, temos como exemplo a explanação feita por Dias (2001, p. 226) sobre os estudos históricos de conceitos científicos:

A História da descoberta de um conceito mostra não somente como o conceito foi criado, mas, sobretudo, seu porquê; a História mostra as questões para cujas soluções o conceito foi introduzido, revela o quê o conceito faz na teoria, sua função e seu significado. A História revive os elementos do pensar de uma época, revelando, pois, os ingredientes com que o pensamento poderia ter contado na época em que determinada conquista foi feita. Ela desvenda a lógica da construção conceitual; nesse esforço, ela revela, também, os “buracos lógicos” que o conceito preenche, revivendo o próprio ato intelectual da criação científica.

Segundo a mesma autora, a história da ciência é o instrumento de formação intelectual e do entendimento dos conceitos científicos. Ela propicia a formação de pensadores, pois permite criticar e reconstruir o processo lógico de um determinado conceito científico. Não somente o entendimento lógico, mas também assumindo uma

perspectiva externalista, a História da Ciência propicia entender os aspectos políticos e sociais que motivaram o desenvolvimento de um determinado conceito científico, além dos impactos socioeconômicos da consequência do desenvolvimento desses conceitos.

Na mesma direção desses estudos de conceitos, o estudo de biografias também pode fornecer uma maior compreensão da investigação científica, da ciência como um esforço humano, da natureza da ciência e da relação entre ciência e sociedade. As biografias destinam-se a envolver e inspirar o fascínio para leitores jovens, tal inspiração pode vir através de sua identificação com o personagem científico.

No entanto, existem problemas na divulgação comercial dessas biografias, pois no processo de simplificação da linguagem para o público geral, pode promover e legitimar imagens distorcidas da ciência. Por isso que é preciso não simplesmente inserir História da Ciência no currículo, devido ao “déficit da história”, mas a preocupação deve ser sobre que tipo de história é usada (ALLCHIN, 2003, p. 330).

Dagher e Ford (2005) sugerem que as biografias podem ser utilizadas para fornecer trampolins úteis para despertar a curiosidade de estudantes e interesse em explorar o registro histórico, alargar os horizontes e aprimorar suas habilidades de leitura crítica, colocando questões de outros textos históricos, que ajudem a enriquecer a sua compreensão dos cientistas e da ciência.

Allchin (2003) sugere que os professores sejam equipados com algumas ferramentas que lhes permitam reconhecer as histórias de mitos da ciência. Como por exemplo, cuidado com vinhetas; abraçar a complexidade e a controvérsia; descartar imagens romantizadas da ciência; rever a formação científica; explicar o erro sem se desculpar; e, acima de tudo, respeito ao contexto histórico "(Allchin 2003, p. 347). A capacidade dos professores para reconhecer e combater o mito das concepções de ciência é importante porque eles têm a obrigação de enfrentar essas histórias sobre a construção da ciência nos livros didáticos, em biografias e em filmes.

Assim, de acordo com Dagher e Ford (2005), educadores e pais de estudantes podem ser levados a pensar que a leitura e a elaboração de relatórios sobre biografias contribuem para reforçar o interesse e a compreensão da ciência e surpreendem ao saber que as biografias são tão poderosas para o avanço de mal-entendidos sobre o conhecimento científico, como qualquer outro meio de comunicação. O que realmente

acontece na interface entre a biografia e o jovem leitor é uma questão empírica que pretendemos investigar em um estudo futuro. Os autores alertam sobre o uso de biografias: os professores deveriam ensinar seus alunos a lê-las com "um grão de sal", e devem ajudá-los a se tornarem mais críticos ao que leem, não vendo biografias como descrições definitivas da ciência e dos cientistas.

A qualidade das biografias está diretamente ligada ao processo de elaboração de materiais didáticos. A dificuldade de se elaborar materiais didáticos de História e Filosofia da Ciência de qualidade leva alguns autores a apontarem a necessidade de se utilizar os documentos originais da ciência de uma determinada época. Apontam também para o tratamento de fontes primárias (cartas, artigos originais, diários) com os alunos. Esses apontamentos são corroborados pelas pesquisas que abordam a realização de Experimentos Históricos na sala de aula, mencionando a importância de experimentos históricos no entendimento de conceitos científicos e princípios ocultos na instrumentação moderna. Além disso, têm a possibilidade de analisar criticamente a proposição de vários experimentos de cientistas que aparecem distorcidos nos livros didáticos e nos manuais de laboratório (CARMO, et. al 2000; MEDEIROS & MONTEIRO 2001).

Segundo Pacca e Dion (1999), todo esse processo de utilização de fontes primárias requer que os professores possuam uma formação em historiografia da Ciência, que lhes deem condições para fazer uma seleção de material histórico adequado ou mesmo a construção de materiais específicos para a situação de ensino-aprendizagem. Isto pode exigir, entre outros aspectos, uma compreensão de uma linguagem demasiada técnica e especializada, presente nos textos originais, como o entendimento da relação correta dos conhecimentos científicos atuais com os do passado e ainda conhecimentos epistemológicos, que permitam fazer uma seleção e utilização pedagógica fundamentada.

No campo da linguagem, uma maneira de contribuir para o estudo da História e Filosofia da Ciência é através da arte. O uso do teatro é um recurso importante para facilitar a leitura e o entendimento de determinado momento histórico e tem um papel muito importante na formação da opinião pública. O teatro representa uma maneira interessante, divertida e agradável de abordar uma grande quantidade de assuntos

como as descobertas, as invenções, as aplicações da ciência no cotidiano e as biografias dos cientistas. Desta forma, o palco torna-se uma possibilidade de ampliar e cativar os alunos para questionamentos, provocações e reflexões sobre a natureza da ciência, que tocam a humanidade e que estão cada vez mais infiltrados nas preocupações sociais e econômicas (PALMA, 2006).

Segundo Medina e Braga (2010), o teatro foi utilizado diversas vezes ao longo da história como forma de expressão de conteúdos, tanto científicos como filosóficos. Citam exemplos de filósofos como Platão, que escreveu diversos diálogos para expor suas ideias e de Galileu Galilei, que também expôs algumas de suas ideias através de personagens. Por outro lado, grandes cientistas que, por terem características tão peculiares e marcantes, foram transformados em personagens de teatro, como Einstein (Einstein, 1998), Niels Bohr e Heisenberg (Copenhague, 2001), Richard P. Feynman (E agora Sr. Feynman?, 2004), Kepler e Galileu (Dança do Universo, 2005), Newton e Leibniz (Calculus, 2003) e Lavoisier (Oxigênio, 2006). As ciências apresentam um vasto leque de personalidades suscetíveis de serem transformadas em personagens no teatro.

Por meio do teatro, é possível atrair o público para os temas científicos, com as dúvidas, provocações e reflexões cada vez mais presentes na sociedade. Assim, o teatro científico deve ser encarado como uma possibilidade de ampliar e cativar o grande público, além de constituir uma agradável ferramenta de ensino. A sala de aula e o palco se complementam, possibilitando aos alunos estarem mais receptivos às aulas convencionais. As peças utilizadas deverão contemplar desde a evolução conceitual e metodológica da ciência quanto à relação da Física e da Química com outras áreas do conhecimento e com a sociedade (MEDINA & BRAGA, 2010).

O ator Carlos Palma (2006), em uma entrevista, fala da repercussão do grupo teatral "*Arte e Ciência no Palco*" que faz e reproduz peças teatrais de grandes cientistas. Segundo o ator, há uma grande repercussão do grupo no trabalho dos professores, principalmente na divulgação da peça entre eles. Um exemplo desse impacto narrado pelo autor é de um aluno que assistiu à peça *Einstein* há 10 anos, formou-se em Física e quis mostrar a peça aos colegas de sua cidade. Existem casos de professores que viram as peças e conseguiram levá-las para a escola.

Na mesma direção, a utilização de filmes de ficção científica tem consequências determinantes para um processo de formação que valorize a História, Filosofia e Sociologia da Ciência. A utilização de filmes exige uma discussão com os alunos das intenções do diretor e/ou do roteirista do filme quando atribuem ao cientista esse ou aquele papel, levando-os a se distanciar por alguns instantes da narrativa do filme. Isso é necessário, na medida em que se transmite uma imagem que pode ter vários significados, pois um filme de ficção pode fortalecer concepções equivocadas de ciência no imaginário dos alunos (CUNHA & GIORDAN, 2009).

Por meio da seleção de cenas do filme que se quer utilizar com finalidade didática em sala de aula, o professor poderá discutir os critérios de seleção e análise. Cunha e Giordan (2009) acreditam que, por meio de seleção de cenas e filmes de diferentes épocas, seja oportuno para discutir com os alunos como a ciência é apresentada, o que é cientificamente passível de acontecer, o momento histórico em que a ciência e o filme foram produzidos. Estas discussões poderão levar os estudantes e professores a uma visão mais crítica quanto à discussão da natureza da ciência em produções cinematográficas.

De acordo com Oliveira (2006, p.137-138), é nas ficções científicas que primeiramente pensamos, quando se fala de ciência no cinema, entretanto, não é o único tipo de filme capaz de projetar visões sobre a ciência e suas relações com a sociedade. Filmes de aventuras, dramas, comédias e desenhos também podem contribuir para a formação do imaginário científico das pessoas e servem de referência para a percepção da sociedade sobre ciência, tecnologia e sociedade. Ainda possibilita a realização de veementes debates entre os grupos de cientistas e a opinião pública sobre os rumos e limites dos projetos científicos e tecnológicos. Estudos nesta linha têm sido desenvolvidos no Brasil pelo grupo Scientia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) com as publicações “História da Ciência no Cinema” nos anos de 2005, 2007 e 2010, que além de focarem sobre estudos de História da Ciência, apresentam subsídios para os professores, inclusive para os da educação básica.

Diante de todas essas possibilidades de uso de História, Filosofia e Sociologia da Ciência, será que os professores estarão preparados para pôr em prática este desafio? Duarte (2004), ao fazer uma revisão das pesquisas sobre os conhecimentos e práticas

sobre História da Ciência de professores portugueses, concluiu que, apesar dos professores valorizarem a História da Ciência no ensino das ciências, não é explícito a utilização em suas práticas de ensino. Outra questão é a visão distorcida da natureza do conhecimento científico presente nas suas práticas de ensino, evidenciando fortemente o caráter empirista-indutivista da ciência (GIL-PÉREZ et al., 2001), além do modo como os professores são formados e a disponibilidade/indisponibilidade de bons materiais de ensino.

1.4 Tendências das pesquisas em História, Filosofia e Sociologia da Ciência na formação de professores

O objetivo principal deste capítulo é apresentar o estado da arte dos estudos sobre História, Filosofia e Sociologia da Ciência na Formação de professores. A partir daí, explicitar as questões e os problemas de pesquisa do presente trabalho de tese. Para tanto, foram selecionados alguns periódicos (Tabela 1). O critério de escolha dos periódicos foi feito com base na avaliação da Capes (Qualis) relativo à área de ensino de Ciências e Matemática e pela diversidade das áreas de ciências naturais como Física, Química e Biologia que estes periódicos se dedicam. A metodologia utilizada é a análise de conteúdo de Bardin (1977).

1.4.1 Metodologia e forma de análise

A *Análise de Conteúdo*, tal como a conhecemos atualmente, iniciou seu desenvolvimento no século XX nos Estados Unidos, com a análise do conteúdo jornalístico. O primeiro nome que representa a história da análise de conteúdo é o de H. Lasswell, que fez análises de imprensa e de propaganda. No período de 1950-1960, começou a ser utilizada em outras disciplinas como a Etnologia, a História, a Psiquiatria, a Linguística, Sociologia e Ciência Política (BARDIN, 1977, p. 13-18). A análise de conteúdo é utilizada para a análise de quaisquer materiais oriundos da comunicação verbal ou não verbal, como cartas, revistas, jornais, informes, relatos

autobiográficos, livros, questionários, gravações, diários pessoais, filmes, fotografias, vídeos e outros. De acordo com Bardin (1977, p. 37), a análise de conteúdo é:

um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens, indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) destas mensagens.

Existem duas práticas científicas relacionadas à análise de conteúdo, quer pela identidade do objeto, quer pela proximidade metodológica: a Linguística e as Técnicas Documentais. A Linguística estuda a língua para descrever o seu funcionamento. A Análise de Conteúdo procura conhecer aquilo que está por trás das palavras sobre as quais se debruça. Apesar destas diferenças, na medida em que a Linguística se socializa, ela se aproxima da análise de conteúdo e como esta visa o conhecimento de variáveis de ordem psicológica, sociológica, histórica, etc. a aproximação da Linguística com a Análise de Conteúdo se dá por meio da Semântica, da Sociolingüística, da Lexicologia, da Estatística Lexical.

A Semântica é o estudo do sentido das unidades linguísticas; a Sociolingüística é um movimento da língua para as palavras; a Lexicologia estudo científico do vocabulário e a Estatística Lexical visa a aplicação da estatística à descrição do vocabulário, que se aproximam da análise de conteúdo por compreenderem as unidades de significações simples (a palavra) e por remeterem para classificações e contabilização referentes às frequências. Estas ciências podem ser úteis à análise de conteúdo (normas de comparação e índices de inferência, porém a semelhança é muito técnica e limitada) (BARDIN, 1977, p. 39).

Segundo Bardin (1977, p.40-41), a análise documental é um conjunto de operações que visa representar o conteúdo de um documento sob uma forma diferente da original, a fim de facilitar num estado posterior a sua pesquisa e referência. Este conjunto de operações compreende: os resumos e abstracts, indexação por palavras chave, classificação de documentos por meio de critérios comuns etc.

Essas operações, o recorte da informação, a divisão em categorias de acordo com as semelhanças, são iguais ao processo de tratamento das mensagens ou

documentos de certas formas de análise de conteúdo. Entretanto, existem algumas diferenças:

- A documentação trabalha com documentos; a análise de conteúdo com mensagens (comunicação).
- A análise documental faz-se, principalmente, por classificação-indexação; a análise categorial temática é, entre outras, uma das técnicas da análise de conteúdo.
- O objetivo da análise documental é a representação condensada da informação, para consulta e armazenagem; o da análise de conteúdo é a manipulação de mensagens (conteúdo e expressão desse conteúdo), para evidenciar os indicadores que permitam inferir sobre outra realidade que não a da mensagem (BARDIN, 1977, p. 41).

As fases da análise de conteúdo organizam-se em três polos cronológicos: a pré-análise; a exploração do material, o tratamento dos resultados, a inferência e a interpretação.

A pré-análise é o momento da escolha dos documentos a serem submetidos à análise, a formulação das hipóteses e dos objetivos e a elaboração de indicadores que fundamentem a interpretação final. Esta ordem não é necessariamente obrigatória, podendo a escolha dos documentos depender dos objetivos. No caso do presente capítulo, o objetivo é fazer um levantamento bibliográfico em periódicos de pesquisas que envolvam HFSC e formação de professores; a escolha dos documentos (artigos publicados em periódicos) serão os artigos que contém a referida temática.

O objetivo principal da pré-análise é a organização, pois ao mesmo tempo, pode ser composta por atividades não estruturadas, “abertas”, por oposição à exploração sistemática dos documentos. Na pré-análise, a leitura flutuante é o primeiro contato com o documento que possibilita formar as primeiras impressões e fornecer futuras orientações de análise. A formulação de hipóteses nem sempre é estabelecida na pré-análise, mas podem ser formuladas durante as primeiras impressões. Nela, ocorre a escolha dos índices de análise que pode ser uma menção explícita de um tema numa mensagem como, por exemplo, a ocorrência da expressão “natureza da ciência” nos artigos analisados. Estabelecidos os índices, começa a construção de indicadores precisos e seguros.

Em nossa pesquisa, num primeiro momento, foram selecionados os trabalhos dos periódicos de 2005 a 2011. Fizemos uma leitura flutuante dos artigos, realizando uma busca por meio da análise dos títulos, palavras-chave que continham os termos: formação de professores, Filosofia, História e Sociologia da Ciência agregados, ou quando algum dos termos (HFSC) apareciam sozinhos ou agregados com a palavra formação de professores. Entretanto, em muitos artigos, as palavras chaves não revelavam o foco principal e, neste caso, fizemos uma leitura flutuante, incluindo os artigos que continham no corpo do texto os termos formação de professores e HFSC e excluindo aqueles que não faziam parte do foco da nossa pesquisa. Desta forma, selecionamos um total de 153 artigos que abordaram formação de professores e HFSC.

Uma vez concluída a pré-análise determina-se as operações de recorte do texto em unidades que possibilitam a categorização e a análise temática dentro da codificação para sistematização dos dados. As operações de codificação consistem na exploração do material. Uma vez que o material foi explorado, os resultados são organizados de tal maneira a serem significativos (falantes) e válidos (BARDIN, 1977).

Nessa direção, uma vez que selecionamos os artigos para análise, fizemos uma leitura dos resumos e quando não eram suficientes, fazíamos a leitura completa dos artigos com vistas à classificação das pesquisas, nos termos de estabelecer os códigos para a categorização.

A codificação é o processo pelo qual os dados do documento a ser analisado são transformados sistematicamente em unidades, com a finalidade de permitir uma descrição das características pertinentes do conteúdo. A organização da codificação compreende três escolhas (no caso de uma análise quantitativa e categorial): o recorte (escolha das unidades); a enumeração (escolha das regras de contagem); a classificação e a agregação (escolha das categorias) (BARDIN, 1977, p.97-98).

A unidade de registro possui várias dimensões, mas o seu principal objetivo é fazer os recortes a nível semântico no conteúdo que consideramos, inicialmente, como unidade de base. Os recortes são feitos no documento, definindo temas, palavras ou frases. No caso da presente pesquisa a unidade de registro estava na palavra polo Formação de professores associadas às outras três: História, Filosofia e Sociologia da

Ciência e algumas derivações como teoria da ciência, teoria do conhecimento e epistemologia.

Enquanto as unidades de registro são o que se conta, as regras de enumeração são o modo de contagem, que pode ser de diversas maneiras, tais como: a presença ou ausência de determinado elemento de análise, pela frequência daquilo que se considera significativo; a intensidade, a direção a ordem, a coocorrência. Dependendo das hipóteses e objetivos do trabalho de análise, deve se procurar o modo mais pertinente de contagem (BARDIN, 1977, p. 100-106).

Estas regras de enumeração são bastante interessantes na facilitação da categorização e interpretação dos resultados. Neste levantamento, por exemplo, o objetivo geral é sabermos o que está sendo pesquisado sobre a temática formação de professores e HFSC, mas estamos querendo analisar como está o processo de aproximação da HFSC na formação de professores? Mas, será que elementos, como a Sociologia da Ciência, estão presentes nos processos formativos de professores? Para responder esta questão vamos averiguar a presença e a ausência destes elementos nos artigos selecionados.

A categorização segundo Bardin (1977, p. 111-113) é uma classificação de elementos comuns em categorias com critérios previamente definidos. Elas reúnem as unidades de registro, sob um título que a caracteriza. O critério de categorização pode ser temático como, por exemplo, os temas que significam currículo ficam agrupados na categoria "Currículo". O objetivo da categorização é fornecer, por condensação, uma representação simplificada dos dados brutos. A categorização possibilita explicitar informações invisíveis contidas nos dados brutos, com isso facilita as inferências (interpretações) de acordo com os objetivos e questões de análise.

Desse modo, algumas categorias de análise foram estabelecidas, envolvendo as principais temáticas de pesquisas que os artigos continham relacionadas à História, Filosofia e Sociologia da Ciência na formação de professores.

As categorias estabelecidas foram: Histórias de Biografias e Episódios Científicos para o Ensino de Ciências; Utilização da História e Filosofia da Ciência na sala de aula; Filosofia das Ciências/Natureza das Ciências; Sociologia das Ciências;

História e Filosofia da Ciência e Movimento CTS; Currículo, História, Filosofia e Sociologia da Ciência e Outros.

Percebemos, a partir da leitura dos resumos e artigos, a perspectiva abordada por vários trabalhos, principalmente aqueles de história de episódios científicos, o que nos levou a criar as subcategorias gerais: internalismo e externalismo. Ainda, devido ao grande número de trabalhos, cujo objetivo era levantar concepções acerca da natureza da ciência, de episódios científicos e da importância da (HFSC) no ensino de Ciências, criamos a subcategoria “levantamento de concepções”.

Após o estabelecimento das categorias, utilizamos um processo de contagem dos artigos, que se enquadravam em alguma das categorias estabelecidas. Em seguida, apresentamos os resultados por meio de tabelas com as respectivas porcentagens das categorias encontradas em cada trabalho. Segundo Bardin (1977, p. 93-95), a apresentação dos resultados obtidos por meio de tabelas, gráficos, porcentagens, modelos, põe em destaque as informações pela análise. A partir da organização destes resultados, o analista pode tentar procurar responder seus objetivos iniciais e propor novas interpretações a resultados não esperados.

Assim, o presente trabalho de revisão bibliográfica assume uma perspectiva quantitativa, pois buscamos a frequência com que determinados elementos (sociologia, natureza da ciência, etc) aparecem nas pesquisas e a abordagem qualitativa, que nos permite inferir sobre a ausência ou presença destes elementos nos processos formativos de professores.

1.4.2 Organização e interpretação dos dados

A partir de uma análise quantitativa exposta na Tabela 1, temos um total de 153 artigos publicados com pesquisas envolvendo HFSC na formação de professores no período de 2005 a 2011. De todos os periódicos analisados, o periódico *Science Education* é o que tem maior número de pesquisas publicadas, nestes últimos sete anos. Isto é explicado por este periódico ser especializado em disseminar trabalhos na área de História, Filosofia e Sociologia da Ciência e Ensino de Ciências. Apesar de ser

especializado, se for comparado com outros periódicos que não o são, apresenta poucas pesquisas relacionando a temática HFSC à formação de professores.

Tabela 1 – Quantidade de trabalhos sobre HFSC na Formação de Professores nos periódicos

Periódicos	Quantidade
Science & Education	31
International Journal of Science Education	23
Ciência & Educação (C & E)	19
Revista Eletrónica de Enseñanza de las Ciencias	15
Caderno Brasileiro de Ensino de Física (CBEF)	14
Investigações em Ensino de Ciências (IENCI)	12
Revista Brasileira de Ensino de Física (RBEF)	10
Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências	9
Química Nova na Escola (QNE)	9
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)	7
Química Nova (QN)	4
Total	153

Na tabela 2, temos a porcentagem dos trabalhos em relação às categorias de análise. A categoria *história de biografias e episódios científicos para o Ensino de Ciências* representa 39,8% do total de trabalhos encontrados. Nesta categoria, foram considerados os trabalhos que exploraram a história de episódios científicos e biografias de cientistas com uma abordagem da filosofia da ciência (natureza da ciência) de forma explícita e implícita. Os episódios estudados foram: Escala Fahrenheit, quincunx, sistema de unidades de medida, pressão atmosférica, sistemas copernicano e ptolomaico; lei de Arquimedes, DNA, evolução, sistema cartesiano, história da óptica, decomposição do ar, quadraturas de figuras planas, mecânica clássica, eletromagnetismo, teoria da resistência dos materiais, semelhança física, teoria das flexões, conceito de gene, conceito de átomo, elementos transurânicos, síndrome respiratória, lei de Ohm, história da radioatividade, termômetro, máquina a vapor, modelo de reprodução humana, afinidade química, equilíbrio químico, mecânica

quântica, aquário, calor, tempo, rotação da luz, alquimia, física dos quarks, óptica newtoniana e geométrica, conceito de campo, átomo de Bohr, diabetes Millitus e Insulina. As biografias foram: Michael Faraday, Laurent Lavoiseir, Oliver Heaviside, Paul Nahin, Tycho Brahe, Kepler, Marie Currie, Pierre Currie, Joseph Priestley, Millikan e Ehrenhaft.

Tabela 2: Distribuição dos trabalhos quanto às categorias de análise

Categorias	Quantidade	Porcentagem
Filosofia das Ciências/Natureza das Ciências	120/56	78,4/36
História de Biografias e Episódios Científicos para o Ensino de Ciências	61	39,8
Utilização da História e Filosofia da Ciência na Sala de Aula	58	37,9
Outros	15	9,8
Sociologia das Ciências	13	8,5
Currículo e História, Filosofia e Sociologia da Ciência	12	7,8
História e Filosofia e Movimento CTS	6	3,9

Esses trabalhos caracterizaram-se por pesquisas documentais de episódios históricos e biografias de cientistas das diversas áreas do conhecimento científico, dos quais muitas utilizaram fontes primárias, secundárias e terciárias. Entretanto, estas faziam apenas alguns apontamentos da importância de se abordar a história desses fatos e biografias, nos cursos de formação de professores. Outras prescreveram como os professores poderiam utilizar a história desses episódios científicos em sala de aula, para possibilitar a construção e divulgação de uma visão de ciência como uma construção humana, não neutra, passível de erros, o que desmistificaria a ideia de ciência como produto pronto e acabado, mas como um processo dinâmico em constante modificação.

Quanto à categoria *utilização da História e Filosofia da Ciência na sala de aula*, os trabalhos caracterizaram-se em levantar as concepções dos professores ou futuros professores; os conceitos científicos fazendo um paralelo com o desenvolvimento

histórico destes episódios e de concepções sobre a importância e dificuldades dos professores em inserir a História e Filosofia da Ciência no ensino de Ciências. Constatamos uma forte tendência de pesquisas que discutiam a história de episódios científicos no ensino, sem uma abordagem explícita da natureza da ciência. Entretanto, a história de fatos científicos abordada em uma perspectiva explícita da natureza da ciência, contribui de forma mais eficaz para que os professores e estudantes do ensino básico adquiram uma visão de ciência mais próxima da epistemologia contemporânea. Esta constatação é corroborada com Massoni e Moreira (2007, p. 16):

[...] A percepção da natureza da ciência quando não ocorre de forma explícita é muito sutil e a utilização de elementos históricos precisa ser bem pensada, pois se em alguns casos enriquece e auxilia na compreensão das novas visões, em outros pode parecer confirmar a lógica indutivista.

No contexto internacional⁸, encontramos um maior número de pesquisas com intervenção didática na sala de aula, do que em relação ao contexto brasileiro. Além disso, estas pesquisas em sua maioria fizeram uma utilização de episódios científicos com uma abordagem explícita da natureza da ciência, nos cursos de formação de professores.

Uma das poucas pesquisas que estudaram o processo de aproximação da História e Filosofia da Ciência na sala de aula no Brasil, com uma abordagem explícita da natureza da ciência foi a realizada por Gatti et. al. (2010). Os autores descreveram o processo de inserção da HF em curso de formação de professores e posterior acompanhamento da inserção da HF, por parte dos professores no Ensino Médio.

Algumas pesquisas relataram a produção de materiais didáticos baseados em estudos de HFSC por parte de alunos dos cursos de formação inicial de professores de Ciências, discutindo elementos de historiografia e natureza da ciência, no entanto, estudos deste tipo ainda são muito tímidos, sinalizando a busca de uma maior discussão destes elementos nas disciplinas de metodologia de ensino de ciências. Assim, diante da análise da categoria: *utilização da História e Filosofia da Ciência na sala de aula*, entendemos a necessidade do aumento de pesquisas dos processos de

⁸ Tais pesquisas foram disseminadas nos periódicos: *Science Education* e *International Journal of Science Education*, *Revista Eletrônica de Enseñanza de las Ciencias*

utilização da História, Filosofia e Sociologia da Ciência em uma intervenção efetiva em sala de aula, no contexto brasileiro.

Pensando em uma contribuição à visão de Ciências na formação de professores, a categoria *Filosofia da Ciência* é a que melhor expressa os trabalhos encontrados nesta perspectiva com aproximadamente 78,4% das pesquisas. Classificaram-se nesta categoria: todos os trabalhos que investigaram a história de fatos científicos à luz da filosofia da ciência de forma explícita; as contribuições da epistemologia da ciência nos processos de formação de professores, no que diz respeito a argumentação do que é o conhecimento científico e suas relações com a sociedade. Os epistemólogos da ciência encontrados na amostra investigada foram: Thomas Kuhn, Ludwik Fleck, Imre Lakatos, Toulmim, Gaston Bachelard, Larry Laudan, Bruno Latour, Piaget e Maturana (Tabela 3).

Tabela 3: Referenciais Teóricos encontrados nos trabalhos analisados

Referenciais	Quantidade
Fleck	9
Lakatos	7
Tolmim	7
Larry Laudan	6
Bachelard	5
Latour	3
Vygostsky	3
Piaget	2
Bakhitin	2
Kuhn	2
Woolgar	2
Paulo Freire	2
Ernst Mach	1
Maturana	1
Moscovici	1
Verganaud	1
Descartes	1
Miguel e Miorim	1
Ausubel	1
Análise do discurso Francesa -Eni Orlandi	1
Não Especificado	95

Resolvemos separar Filosofia da Ciência e Natureza da Ciência em duas categorias, para sabermos de maneira mais profunda como as pesquisas sobre a natureza da ciência estão contribuindo para a área de ensino de Ciências. Foram classificadas como natureza da ciência todas as pesquisas que continham explicitamente o termo “*natureza da ciência*”, como foco principal de suas investigações. Dos 78,4% dos trabalhos encontrados na categoria *Filosofia da Ciência*, 36% são sobre *natureza da ciência*.

Constatamos que uma quantidade significativa das pesquisas sobre natureza da ciência seguiu os pontos consensuais de McComas et al.(idem) que apresentamos na seção 1.3.1. Em poucas ocasiões, explicitaram algum referencial teórico específico da epistemologia contemporânea. Nesta direção, as pesquisas, salvo algumas exceções, utilizaram o famoso questionário VNOS-C (*Views of Nature of Science – Form C; Visões da Natureza da Ciência – Modelo C*), elaborado e inicialmente validado por Lederman et al. (2002). Este questionário e algumas de suas variações foram utilizados com o objetivo de levantar as concepções de professores sobre a natureza da ciência. Tais pesquisas constataram uma visão racionalista e predominantemente empirista-indutivista da ciência na formação de professores.

Essa visão foi encontrada de forma preponderante entre estudantes dos cursos de licenciatura e bacharelados em ciências e pós-graduação em educação em Ciências, quando comparados com os alunos dos cursos de Ciências Humanas. De forma geral, os estudantes dos cursos de Ciências se mostraram mais resistentes no entendimento da dependência teórico-cultural da ciência. Diante de tais constatações, as pesquisas trazem apontamentos para uma maior utilização da História e Filosofia da Ciência como estratégia didática, com a finalidade de melhorar as concepções de Ciências dos professores para uma visão mais próxima da epistemologia contemporânea.

As pesquisas que fizeram intervenção didática, utilizando HFSC como metodologia de ensino, concentraram-se mais nos pontos consensuais sobre a natureza da Ciência; poucas utilizaram a história de episódios científicos com uma discussão explícita da natureza da Ciência.

Várias estratégias foram usadas para se discutir a natureza da ciência, das quais podemos enumerar: estratégias metacognitivas, diferentes contextos de NdC, filosofia da ciência no entendimento de conceitos científicos, controvérsias de episódios científicos, HFSC e CTS, modelos e modelagem, biografias de cientistas e mapas conceituais. De forma geral, estes estudos mostraram que a utilização da abordagem da NdC promoveu mudanças significativas na visão de ciência dos professores.

Quanto à aprendizagem da natureza da ciência por professores e sua prática de ensino há uma divergência entre as pesquisas; algumas defendem uma visão linear de que, uma vez que os professores adquiram uma visão de ciência mais próxima da epistemologia contemporânea, ela será exposta em sua prática de ensino; outras dizem que uma aprendizagem da natureza da ciência não garantirá uma prática de ensino com uma visão de ciência mais próxima da epistemologia contemporânea.

Na categoria *Sociologia da Ciência* foi encontrado um baixo número de trabalhos (13%). Uma possibilidade de explicação para esta constatação é que ainda existem poucas discussões sobre a influência de fatores sociais e históricos na construção do conhecimento científico. Além disso, embora a maioria dos pesquisadores considere que esses fatores desempenham um importante papel na ciência, há um desacordo sobre sua origem e importância (EFLIN et. al. 1999, p.109).

Talvez isso explique o fato de que quase a totalidade dos trabalhos analisados, apesar de não aprofundarem, segue a linha de um externalismo crítico, procurando explicar as relações entre o desenvolvimento da ciência e os fatores culturais, econômico e políticos, não assumindo um externalismo mecanicista (aquele que concebe a ciência como um produto determinado pelas condições econômicas e políticas).

O propósito dos autores dos trabalhos, nessa perspectiva, foi contextualizar os acontecimentos científicos e apontar o conhecimento científico como uma construção social, voltado para as discussões dos fatores externalistas da ciência como a política, a economia, o contexto social e cultural das realizações científicas.

Alguns episódios científicos (História do DNA, síntese dos elementos transurânicos, Diabetes Millitus e Insulina) foram abordados, utilizando a sociologia do

conhecimento de Fleck⁹; outros episódios como: o conceito de método em Descartes, quadratura de figuras planas, sistemas de unidade de medida, síndrome respiratória, discutiram as implicações políticas, econômicas e sócio-culturais na construção desses episódios científicos. Estas discussões sugerem metodologias de utilização da história desses episódios nos cursos de formação de professores e nas salas de aula do Ensino Médio. Houve um número reduzido de pesquisas com intervenção didática, discutindo o papel social, ético e político da ciência na formação de professores. Nesta perspectiva, as poucas intervenções possibilitaram aos professores reverem seus processos formativos, estabelecendo relações entre produção científica e critérios sociais de validação da ciência, como também submeterem à análise suas próprias práticas educativas a esses critérios.

A discussão de episódios na perspectiva sociológica, como a questão da Síndrome respiratória, abrangeu também as relações entre Ciência, Tecnologia e Sociedade. Essas relações são expressas na *Categoria História e Filosofia da Ciência e Movimento CTS*. Os trabalhos referentes a essa categoria enfatizaram questões como: Procura de consenso sobre a natureza da ciência e as relações CTS, utilizando como suporte o Questionário de Opiniões sobre Ciência, Tecnologia e Sociedade (QOCTS). As crenças consensuais poderiam ser consideradas conteúdos curriculares da NdC. Utilização de hipermídia como metodologia de ensino de CTS e HFSC. Comparações de concepções entre professores de Ciências Naturais e de Filosofia de nível médio e universitário sobre a importância da inclusão da NdC e das relações CTS no currículo dos cursos de Ciências. Comparação de concepções entre estudantes de Ciências naturais e humanas, com respeito a questões sociocientíficas, mostraram uma maior sensibilidade dos últimos quanto a estas questões.

Tanto a categoria *sociologia da ciência* quanto as relações *CTS e HFSC* estão incluídas na subcategoria *externalismo*, que tiveram por objetivo caracterizar o tipo de abordagem da História e Filosofia da Ciência utilizada nas pesquisas. Além de representar as pesquisas que mostram a influência de fatores políticos econômicos, sociais e culturais nos episódios científicos, tal subcategoria engloba também os

⁹ Devido Fleck ser um referencial teórico adotado nesta pesquisa, um levantamento das pesquisas sobre Fleck e o ensino de ciências está exposto no capítulo 2.

trabalhos que mostram a utilização da História e Filosofia da Ciência, na fundamentação de propostas pedagógicas que são, ou podem vir a ser utilizadas em sala de aula.

A utilização da epistemologia contemporânea associada com referenciais da Psicologia da Educação e da Sociologia foi constante nesses trabalhos (Tabela 3). Como exemplos destas associações, temos: a aproximação feita entre a epistemologia Lakatosiana com referenciais críticos, como Paulo Freire e Habermas, associação de Fleck com Paulo Freire para fazer uma análise epistemológica do processo educativo; a utilização da epistemologia Bachelardiana, na análise dos processos de conhecimento na sala de aula, conjugada com a ideia de perfil conceitual, na tentativa de superar a abordagem dicotômica sujeito/contexto social no processo de aprendizagem. A consonância da epistemologia de Bachelard com os referenciais reflexivos de formação de professores como Schon (2000), Zeichner (1993), Nóvoa (2002); a utilização da epistemologia fleckiana como fundamento para uma reflexão das interações entre coletivos de professores, com diferentes estilos de pensamento, no ensino de Ciências.

Também apontam a importância de se fazer, não somente uma história da ciência de episódios científicos e de cientistas, mas também a necessidade da História da ciência dialogar com a história da educação e com a história da arte e de todas as histórias que possam auxiliar a educação em Ciências. Existe a defesa de que uma história dessa natureza possa modificar a maneira como o licenciando vê a si mesmo e a cultura científica, mostrando como ele próprio e a cultura científica são historicamente condicionados e influenciados por várias práticas sociais.

Quanto à categoria *Currículo e HFSC*, algumas pesquisas discutem a implantação da HFSC no ensino básico, evidenciando que, mesmo com a recomendação dos documentos oficiais (PCNs, DCNs, LDB), tal abordagem ainda não foi incorporada ao ensino de Ciências. Outras analisam as concepções epistemológicas presentes nos documentos oficiais, como os Parâmetros Curriculares Nacionais da área de Ciências Naturais do Ensino Fundamental. Nota-se a falta de comprometimento dos PCNs em tomar uma posição frente aos referenciais teóricos da epistemologia reconhecidos pela área de ensino de Ciências. Tal carência de referenciais teóricos

acaba induzindo os professores a uma visão empirista-indutivista do conhecimento científico, ainda predominante no ensino de Ciências.

Mesmo que adequando às orientações legais, a visão empirista-indutivista é exposta nos projetos pedagógicos dos cursos de licenciatura em Ciências, dando ênfase à experimentação como forma de confirmar teorias ou como aspecto central no processo de formação docente. As atividades do futuro docente são associadas ao trabalho de laboratório, ao controle de qualidade e às indústrias, em detrimento das atividades pedagógicas.

Tal constatação sugere a ampliação de aportes relacionados à HFSC nos currículos das licenciaturas da área de Ciências Naturais. Assim, nesta perspectiva, as pesquisas salientam: a falta de pesquisas sobre o desempenho de um currículo; a falta de divulgação de experiências das universidades; as dificuldades dos docentes em inserirem elementos de HFSC nas discussões de conteúdos de suas disciplinas, por não terem uma formação abrangente em HFSC. Esse problema suscita a utilização da HFSC em cursos de formação continuada para docentes de todos os níveis de educação.

Algumas pesquisas mostraram também um forte interesse em inserir discussões sobre a natureza da ciência nos currículos das licenciaturas e outras áreas das Ciências. Enfatizaram suas problemáticas, quanto a sua inserção e os consensos sobre NdC, apontando que as crenças consensuais poderiam ser consideradas conteúdos curriculares da NdC. É sugerida a incorporação de questões socioculturais e a natureza da ciência nos currículos, principalmente por algumas pesquisas mostrarem que a visão de natureza da ciência dos professores está inter-relacionada com suas crenças socioculturais. Entretanto, existe uma resistência de professores de nível universitário e médio em incluir a natureza da ciência nos currículos dos cursos de Ciências, ao passo que os professores de Filosofia são mais sensíveis sobre esta importância.

Na categoria “outros”, encontramos trabalhos que relacionam ciência e religião. Nesta direção, identificamos pesquisas que promovem discussão de critérios de demarcação entre ciência e religião na formação de professores. As contribuições das motivações religiosas de cientistas como Joseph Priestley na produção do conhecimento científico na formação de professores de Ciências.

Pesquisas do uso do teatro e cinema na divulgação científica e na análise das representações de ciência e dos cientistas; critérios de análise para filmes e desenhos animados que subsidiem o professor em sua prática de ensino; utilização do computador como ferramenta didática na mediação e discussão sobre epistemologia da ciência; estudos que apresentam opções teóricas sobre historiografia da ciência com o objetivo de auxiliar pessoas que estão iniciando na pesquisa em história da ciência e subsidiar a formação de professores nas escolhas de fontes e alguns problemas encontrados em trabalhos de história da ciência.

Classificamos, também, nesta categoria pesquisas que utilizaram da história e filosofia da ciência por meio de episódios científicos e biografias para fazerem uma análise crítica de materiais didáticos como: livros, textos paradidáticos e de divulgação científica. Além disso, encontramos poucas pesquisas que fizeram uma análise epistemológica do papel da Matemática na Física; nesta mesma direção, encontramos pesquisas que fizeram uma análise epistemológica da produção acadêmica de pesquisas na área ensino de Biologia, bem como levantamentos bibliográficos sobre estudos de história da ciência e natureza da ciência na formação de professores.

Ainda nesta categoria *outros*, detectamos pesquisas que discutem epistemologicamente a presença das mulheres nas ciências naturais, analisando estratégias e práticas pedagógicas que melhor se adaptem ao perfil feminino para permitir que professores de ciências naturais atuem como agentes de mudanças de modo a atrair mais mulheres para este campo de conhecimento.

Apesar do baixo número de trabalhos na abordagem externalista, tivemos uma quantidade expressiva (96,7%) de trabalhos na perspectiva internalista (Tabela 4). Essa perspectiva foi constatada em todas as outras categorias mencionadas nesta pesquisa, sobretudo na história de fatos científicos em que a prioridade foi o entendimento de como é construído o conhecimento científico, enfatizando, em alguns momentos, as concepções filosóficas e os debates dos cientistas, as dificuldades na elaboração dos experimentos, as cartas entre os cientistas e seus familiares e apenas comentários vagos das interações dos cientistas com as questões políticas e econômicas de uma determinada época.

Tabela 4 – Categorização dos trabalhos de acordo com as subcategorias gerais

Subcategorias	Quantidade	Porcentagem %
Visão internalista	148	96,7
Levantamento de concepções	81	52,9
Visão externalista	35	22,8

1.5 O Problema de pesquisa

Na análise mostrada no item anterior, observa-se que, principalmente nos periódicos nacionais, foi realizado um grande número de pesquisas de episódios e biografias de cientistas com abordagens explícitas e implícitas da filosofia da ciência. Estas pesquisas mostram, por exemplo, considerações sobre a lógica e a construção dos conceitos científicos e suas relações com os cientistas que participaram no processo de estabelecimento desses conceitos. Poucas fazem uma análise sociocultural dos episódios científicos e das biografias dos cientistas. Algumas delas descrevem estratégias didáticas para serem utilizadas na formação de professores e prescrevem como os professores que estão atuando em sala de aula poderiam utilizá-las em suas práticas de ensino. Muitas destas prescrições preconizam inserção da HFSC apenas como um complemento dos conteúdos e dos currículos.

Isto é preocupante, porque muitas destas pesquisas acabam por transmitir uma visão positivista do conhecimento científico como discutimos na seção 1. Passa a idéia de que a História da Ciência é algo desconectada da construção do conhecimento científico. Encontramos raríssimas propostas didáticas da História da Ciência que mostrem alguma metodologia, em que a HFSC esteja imiscuída nos conteúdos científicos.

As prescrições, o baixo número de pesquisas com intervenções didáticas com a História da Ciência nos cursos de formação de professores corroboram para o que Pena e Filho (2009) dizem, que, apesar das orientações curriculares dos PCNEM, a abordagem histórica ainda não foi traduzida, de forma significativa em sala de aula, em termos de experiências didáticas.

A maior parte das experiências didáticas encontradas foi um considerável número de levantamento de concepções acerca da importância da utilização da História da Ciência no ensino de Ciência, bem como questões relacionadas à natureza do conhecimento científico. Esse resultado é condizente com Massoni (2005, p.24), em um trabalho de revisão bibliográfica, nas principais revistas de circulação nacional e internacional sobre as pesquisas realizadas com relação a aspectos da natureza da ciência. Ficou evidente que as características dos trabalhos nesta perspectiva visavam apenas levantar as concepções da natureza da ciência por professores e estudantes e outras apontando as vantagens e estratégias de transformação dessas concepções, para torná-las mais adequadas à visão epistemológica contemporânea.

Ainda, em nossa amostra foi encontrada uma problema fundamental sobre a aprendizagem da NdC. Quando algumas pesquisas defendem uma visão linear de que uma vez que os professores adquirem uma visão de ciência mais próxima da epistemologia contemporânea, tal visão será exposta em sua prática de ensino.

De acordo com Acevedo et. al (2005), é ingenuidade pensar que as crenças dos professores sobre a NdC relacionam-se diretamente com a sua prática docente. Os autores defendem que, em muitas ocasiões, quando o professor transfere para a sala de aula conteúdos de NdC, vários outros fatores interferem, o que geralmente não tem a ver com os próprios conteúdos da NdC, mas com as resistências às inovações educativas e às condições externas da sala de aula.

Outro questionamento levantado por esses autores é a visão acrítica que as pesquisas em didática das ciências se apóiam, ao afirmarem que uma boa compreensão da NdC apresenta como fator decisivo para os estudantes tomarem melhores decisões sobre questões tecnocientíficas de interesse social. Os autores citam várias pesquisas a respeito do fato de que diferentes pontos de vista sobre a NdC (independentes de serem adequados) não são um fator crucial para a tomada de decisão sobre os dilemas tecnocientíficos. Outras pesquisas apresentadas pelos autores, sobre a tomada de decisões em questões sociocientíficas, mostraram que os fatores mais influentes são os valores morais e pessoais, os aspectos culturais, sociais e políticos. A tomada de decisões nos assuntos tecnocientíficos de interesse social por parte dos cidadãos é de grande importância, no entanto, para abordá-los,

adequadamente, é necessário mais esforços por parte da educação científica, no sentido de valorizar os aspectos sociais, morais, emotivos e atitudinais, características que o movimento CTS vem propagando.

Ainda fica a pergunta: Como a NdC pode contribuir para educar cidadãos para a participação nos assuntos Tecnocientíficos? É fácil comprovar na bibliografia especializada que a didática das ciências tem dado ênfase quase que, exclusivamente, à natureza da ciência dominante no passado, baseada em Popper, Kuhn, Feyerabend, Lakatos, Laudan e todos os pensadores englobados no que se denominou nova filosofia da ciência, que não dá conta de forma profunda dos aspectos sociais que dividem espaço com a ciência acadêmica como a tecnociência, a macrociência, a ciência associada às indústrias, sem falar das questões éticas e morais. Existem poucas pesquisas que se propõem a estudar estes fatos nos estudos de NdC, inserindo-os na didática das ciências (ACEVEDO, 2005, VASQUEZ et. al., 2008).

Essa forte tendência em utilizar a epistemologia contemporânea para se discutir a natureza da ciência é corroborada no levantamento bibliográfico feito nesta pesquisa, que mostra estudos com forte abordagem internalista dos episódios científicos, utilização do questionário VNOS-C, que praticamente não contempla a dimensão social do conhecimento científico. Ou seja, estes estudos, em geral, não dão ênfase aos pontos que mostram a relevância social da ciência e da educação em Ciências. Entretanto, algumas pesquisas ainda que timidamente procurem associar os referenciais da Filosofia da Ciência com referenciais ligados a sociologia e filosofia da educação; a exemplo disso, temos a associação de Habermas, Paulo Freire com Lakatos, os referenciais da análise do discurso com Latour. Pensamos que a ampliação de pesquisas com este viés pode ser bastante frutífero, uma vez que a educação em Ciências é uma área que, além de se preocupar com as questões científicas, preocupa-se também com as questões como aquelas de natureza social, psicológica e filosófica, que devem estar presentes nas relações de ensino aprendizagem.

Contudo, com respeito a episódios científicos, encontramos um número muito pequeno de pesquisas com uma abordagem sociológica da ciência. A sugestão seria, portanto o desenvolvimento de pesquisas em História e Filosofia da Ciência que abordassem o caráter externalista, mostrando a importância dos fatores sociais,

políticos e econômicos no desenvolvimento de um episódio científico. O que queremos dizer não é uma supervalorização da investigação de fatores sociológicos na produção do conhecimento científico, mas uma investigação equilibrada e coerente dos elementos históricos, filosóficos e sociológicos na construção de um episódio científico.

Diante de toda essa problemática exposta, parece plausível incentivar pesquisas que visem estudar o processo de aproximação da HFSC na formação de professores. Pensamos que, antes de inserir a HFSC como disciplina que compõe os currículos dos cursos de licenciatura em Ciências, deveríamos nos questionar: Para que queremos ensinar HFSC? Além das opiniões defendidas na seção 1.3.1, há alguns estudiosos como Martins (2000) que, apesar de defender uma postura mais equilibrada dos elementos históricos, filosóficos e sociológicos na investigação dos episódios científicos, defende que na educação em Ciências o mais interessante são os elementos metodológicos, conceituais e filosóficos do conhecimento científico.

Outros, como Abrantes (2002), são bastante céticos quanto à utilização da História da Ciência para o ensino de conceitos e teorias científicas contemporâneas. O autor defende que a principal função da História da Ciência no ensino de Ciências, nos diversos níveis, é a de desenvolver uma visão crítica com respeito às imagens da ciência em um dado momento histórico que muitas vezes aparece distorcida nos meios de comunicação, na prática de professores e nos materiais didáticos. Para o autor, uma história da ciência com uma abordagem externalista pode contribuir para uma compreensão das relações entre a ciência com a sociedade e com diversos setores da cultura.

Dependendo dos objetivos educacionais, os dois caminhos apontados pelos autores podem contribuir para a educação em Ciências. Quanto às imagens de ciência das quais Abrantes enfatizou, elas estão diretamente ligadas à sua natureza. Quanto a questão da NdC cabe os seguintes questionamentos levantados por Acevedo et. al (idem): Qual é a NdC que queremos transmitir? Que consensos sobre a NdC podem ser válidos? Para que queremos ensinar NdC? Quanto a última pergunta os autores alertam que propostas de NdC no ensino de Ciências podem se tornar sem eficácia, se não levarem em consideração as finalidades da educação científica. Por exemplo, se pretende educar para a tomada de melhores decisões cívicas, formação da cidadania,

entendimento das políticas científicas e tecnológicas, um caminho alternativo seria o ensino da natureza da tecnociência do que os da ciência acadêmica. No caso de um ensino para satisfazer as necessidades estéticas pessoais, os aspectos internalistas do conhecimento científico, talvez pudesse ser mais interessante o conhecimento da natureza da ciência acadêmica. Entretanto, existem poucas propostas sobre estas questões nos artigos de Didática das Ciências, a ponto de limitar o problema na inserção da NdC na educação científica.

1.5.1 Questões e objetivos da pesquisa

Recapitulando os principais resultados e problemáticas apontadas sobre HFSC, percebemos a necessidade de expandir pesquisa com episódios científicos, visando não somente ao aspecto internalista, mas também uma abordagem externalista, ou seja, em uma perspectiva sociocultural. Além disso, é necessária maior reflexão quanto ao aspecto da aproximação da HFSC com o ensino de Ciências, não ficando somente em apontamentos, mas concretizando essa abordagem em sala de aula. Neste processo de experiências didáticas de HFSC em sala de aula nos diversos níveis, faz-se necessário considerar o conhecimento histórico, não somente como um complemento ou uma forma de motivação, mas assumindo seu lugar como elemento epistemológico nas práticas de ensino dos conteúdos científicos.

Quanto à visão crítica de ciência, existem várias possibilidades. Duas delas procuram desenvolver nos cursos de formação uma reflexão da natureza da ciência acadêmica e a natureza da tecnociência. Em nosso levantamento, constatamos uma forte tendência das pesquisas em proporcionar reflexões sobre a natureza da ciência acadêmica em que, por exemplo, os aspectos sociais do conhecimento não são enfatizados. Isto sinaliza para a necessidade de incentivar pesquisas que valorizem, além das questões internalistas lógico-formais, questões externalistas-culturais, religiosas, políticas e sociais. Entendemos que pesquisas envolvendo a natureza da ciência com foco na sociologia da ciência, na antropologia e nas discussões da natureza da tecnologia podem possibilitar ao ensino de Ciências a formação de cidadãos preparados para a tomada de decisões.

Segundo Gurgel e Mariano (2008, p. 68), o processo histórico compreendido em suas contradições, poderá ajudar a desmistificar a imagem do cientista e do tecnólogo como sujeitos exclusivos das áreas do saber e da ação, que elaboram o conhecimento científico de forma mágica. Para os autores, é importante que se introduza a História e Sociologia da Ciência no ensino das Ciências, sobretudo na formação de professores, pois o estudo histórico-sociológico é um dos meios pelo quais os estudantes podem aprender a reconhecer a Ciência e a Tecnologia como construções humanas, marcadas por sucessos e fracassos, como resultado de complexas condições sociais, culturais, conflitos, diferenças e atitudes, valores e modos de pensar de grupos históricos. Nesta perspectiva social e histórica, é que os princípios da revolução de Copérnico e da termodinâmica, as leis de Newton e do eletromagnetismo, o pensamento cartesiano, os avanços da Engenharia Genética do século XX, os estudos de Sabin sobre a poliomielite, a lâmpada elétrica de Thomas Edson, a nanotecnologia do século XXI dentre outros, poderão ser compreendidos e terem significado em seus processos.

Nessa direção, defendemos que o estudo histórico social e cultural do desenvolvimento do princípio da conservação da energia é um bom exemplo que pode contribuir para a discussão de aspectos da natureza da ciência em uma perspectiva sociocultural. Primeiramente, do ponto de vista conceitual, pois foi a partir de seu estabelecimento que houve a emergência do conceito de energia, que é um conceito integrador nas diferentes partes da Física e de outras áreas do conhecimento científico. Segundo, porque no processo de construção desse princípio, houve grandes disputas entre cientistas de diferentes áreas e a emergência, não somente de elementos experimentais, mas principalmente de motivações metafísicas, permeada por elementos externalistas de grande significado, como a Revolução Industrial e Francesa.

A formulação do Princípio da Conservação da Energia foi um processo complexo, que teve a contribuição de muitos cientistas de diferentes áreas do conhecimento. Segundo Kuhn (1977), a hipótese da conservação da energia foi publicamente anunciada por quatro cientistas europeus amplamente dispersos, dentre eles, Mayer, Joule, Colding e Helmholtz. Kuhn enumera doze homens e declara que o número poderia ainda ser aumentado. Assim, pela extensão e a complexidade do tema, a presente proposta se concentrará em estudar apenas um dos que contribuíram para a

formulação do princípio da conservação da energia. Escolhemos Joule, devido ao seu trabalho ter influenciado outros cientistas, como Helmholtz, na formulação do princípio da conservação da energia e por estar inserido no processo de industrialização de Manchester na Inglaterra. Desta forma a nossa primeira questão de pesquisa é:

Quais foram os elementos conceituais, experimentais, sociais e culturais que influenciaram o trabalho de Joule?

A nossa hipótese é de que Joule teve interesses técnicos e econômicos, uma vez que seus estudos experimentais, segundo Martins (1984), eram muito específicos. Ele assumiu a indústria de cervejaria após a morte de seu pai. Além disso, não há nenhum sinal nas suas correspondências e artigos que dão indicação da existência de quaisquer dúvidas ou influências filosóficas de Boscovitch, Kant, Hegel, Hamilton ou qualquer outro filósofo que o antecedeu, ou de sua época, na sua vasta obra (CARDWELL 1989, p. 275).

Ao investigar os elementos lógicos, sociais e culturais do trabalho de Joule referentes ao princípio da conservação da energia, a presente proposta assume uma perspectiva Histórico-sociocultural. Acreditamos que tal perspectiva poderá contribuir para um processo de formação de professores, para a tomada de decisões cívicas, no que diz respeito aos processos tecnocientíficos, bem como uma participação mais ativa nas questões sociais e políticas que permeiam o ensino de Ciências na educação escolar.

Um processo formativo que contemple a tomada de decisão tecnocientífica e os problemas que permeiam a educação escolar exige uma formação em ciência, sobre ciência e, sobretudo, em ciências humano-pedagógicas. Entretanto, na atualidade, há vários problemas que afetam a formação inicial de professores de Ciências, entre eles a dissociação entre a formação científica e a pedagógica nos currículos de formação. A maioria dos currículos limita-se a oferecer disciplinas de conteúdos científicos somados a conteúdos pedagógicos de maneira desvinculada (GATTI et. al, 2004). Assim, temos as duas culturas, a científica e a humanística, desarticuladas.

Entretanto, as reformas estabelecidas pelas Leis de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB 9394/96) e pelas Diretrizes Curriculares para Formação de Professores (CNE/CP1/2002) sinalizam para uma integração entre as disciplinas de

conteúdo específico com as pedagógicas, ou seja, a articulação das duas culturas. No entanto, mesmo que os cursos de licenciatura atendam à proposta das leis, ainda ficam problemas a serem estudados como: a definição de conteúdos e objetivos das disciplinas, o trabalho dos docentes que atuarão no curso e como os alunos lhe darão vida e consistência (CAMARGO e NARDI, 2008).

No bojo da implantação de uma reforma curricular que contemple a integração das disciplinas específicas com as pedagógicas, ou seja, a articulação das duas culturas, a científica e a humanística, se os professores que participarem do processo de implantação e da prática de ensino não tiverem consciência da importância desta articulação, esta proposta terá dificuldades de ser implantada e concretizada na prática de ensino dos professores universitários. Isso é corroborado por Duarte (idem), para quem, de nada serve mudar currículos, se não houver mudanças nos professores que os implementam. Dessa forma, formulamos a segunda questão de pesquisa deste trabalho:

Os professores Universitários da área de Ciências Naturais possuem uma visão articulada das culturas humanística e científica? Para tanto, será consultada a literatura da área de ensino de Ciências em que explicitaremos dados empíricos da literatura sobre concepções de professores universitários sobre natureza da ciência, ensino-aprendizagem, currículo e HFSC. Analisaremos também as diretrizes curriculares para os cursos de Física. A triangulação desses dados propiciará uma leitura da visão dos professores universitários sobre esta questão.

A nossa hipótese a essa questão de pesquisa é que os professores universitários têm uma visão tradicional dos conhecimentos científicos, desarticulados dos conhecimentos humanísticos. Levando em consideração essa hipótese e a nossa primeira questão de pesquisa formulada anteriormente é que formulamos a nossa terceira e principal questão de pesquisa:

Por que uma abordagem Histórico-Sociocultural poderá contribuir para articulação das duas culturas no processo formativo de professores? Especificamente, como a partir do estudo do trabalho de Joule, poderemos ter uma visão mais crítica do processo de formação de professores universitários de Física na articulação das culturas científica e humanística?

Com a finalidade de contribuir para um maior diálogo entre as duas culturas, assumimos a perspectiva curricular crítica no processo de formação de professores que visa, entre outras características, problematizar sobre as concepções da prática de ensino e suas circunstâncias, que normalmente se encontra assentada, tanto sobre o papel do professor, como sobre a função da educação escolar. Para tanto, apropriaremos da perspectiva de formação de professores, como intelectual crítico de Henry Giroux e utilizaremos da epistemologia de Ludwik Fleck (1986), tanto para fazer a leitura histórica sociocultural dos trabalhos de Joule, quanto para a leitura crítica dos dados empíricos, que apresentam a concepção de articulação das duas culturas por professores universitários.

Tendo exposto as questões de pesquisa, definimos como **objetivo geral** do presente trabalho fazer uma leitura, na perspectiva Fleckiana, dos trabalhos de James Prescott Joule e mostrar as possibilidades de contribuições dessa leitura no processo de articulação das culturas científica e humanística, visando à formação de professores universitários em uma perspectiva transformadora.

CAPÍTULO 2: A EPISTEMOLOGIA DE LUDWIK FLECK: CONTRIBUIÇÕES PARA O ENSINO DE CIÊNCIAS

2.1 Introdução

Este capítulo tem por objetivo apresentar a epistemologia da ciência de Ludwik Fleck (1896-1961) e suas possibilidades para as ciências humanas, além de apresentar os resultados de um levantamento bibliográfico de pesquisas da área de ensino de Ciências Naturais que o adotam como referencial teórico e mostrar as possíveis contribuições na análise epistemológica do princípio da conservação da energia.

Fleck é o principal referencial teórico desse trabalho que subsidiará a análise epistemológica dos trabalhos de James Prescott Joule na resposta à questão de pesquisa levantada: Quais foram os elementos conceituais, experimentais, sociais e culturais que influenciaram o trabalho de Joule? A epistemologia de Fleck também nos auxiliará na interpretação dos dados empíricos da literatura da área de ensino de Ciências relativos à questão de pesquisa: Os professores Universitários da área de Ciências naturais possuem uma visão articulada das culturas humanística e científica?

Assim, a discussão da epistemologia Fleckiana, neste capítulo, centrar-se-á em apresentar as categorias epistemológicas de Fleck como: Estilo de Pensamento, Coletivo de Pensamento, Circulação Intercoletiva e Intracoletiva de Ideias e Práticas, Conexões Passivas e Ativas, Harmonia das Ilusões, Instauração, Extensão e Transformação dos Estilos de Pensamento.

Por meio de um levantamento bibliográfico, evidenciaremos as contribuições de análises feitas sobre a utilização dessas categorias em trabalhos na área de ensino de Ciências e Matemática, envolvendo a formação de professores, análise de episódios históricos, divulgação científica e a formação da área de ensino de Ciências e Matemática.

Faremos uma comparação da epistemologia Fleckiana com a epistemologia de Thomas Kuhn para analisar as limitações do trabalho deste sobre a descoberta simultânea da conservação da energia e as possíveis contribuições que uma análise a partir da epistemologia fleckiana pode oferecer.

2.2 O contexto Histórico-Cultural e a influência da Escola Polonesa de Filosofia da Medicina na produção epistemológica de Ludwik Fleck (1896-1961)

Filho de judeus poloneses, Ludwik Fleck (1896-1961) nasceu em 11/07/1896, na cidade de Lwów na Galícia polonesa, que hoje faz parte da Ucrânia. A vida cultural da cidade, apesar de ser caracterizada por certa autonomia cultural, era estreitamente ligada à cultura e à ciência de Viena (SHAFER & SCHNELLE, 1986).

Vivendo nesta atmosfera cultural, Fleck concluiu o curso ginásial em 1914 e cresceu dominando as línguas polonesa e alemã. Em 1920, já doutor em Clínica geral, pela Universidade Jan Kazimierz, ingressou como assistente no laboratório de pesquisa para doenças infecciosas do especialista em tifo, Rudolf Weigl. Ficou pouco tempo neste laboratório, até 1923; ainda em 1939 não havia conseguido voltar para a Universidade por diversas razões, tais como: dificuldades pessoais de relacionamento e pela situação tensa da Polônia e da cidade de Lwów nos planos político e econômico.

Em 1923, passa a trabalhar no laboratório privado do Departamento de Medicina interna do hospital geral em Lwów até 1925. De 1925 a 1927, assume o laboratório de doenças dermatológicas e venéreas do mesmo hospital. De 1935 até 1939 trabalha exclusivamente em seu laboratório privado, tendo por interesse geral as suas pesquisas sobre questões sorológicas gerais. Entre 1922 e 1939, publicou, ao todo, 37 trabalhos científicos em vários periódicos alemães (SHAFER & SCHNELLE, 1986).

Com a segunda guerra mundial, Lwów ficou sob o poder soviético e Fleck assumiu o cargo de professor e chefe do departamento de microbiologia do Instituto Médico Ucrâniano. No entanto, com a invasão da Alemanha nazista na cidade de Lwów, Fleck foi obrigado a deixar o cargo e levado juntamente com sua mulher e filho para viverem em condições degradáveis em um gueto judeu. Durante esta fase passou por diferentes campos de concentrações, entre eles o de Auschwitz e o de Buchenwald, onde continuou a desenvolver suas pesquisas, principalmente a vacina contra o tifo.

No período pós-guerra, efetuou trabalhos sobre os agentes e defesas da difteria, da leucocitose, do diagnóstico de Wassermann da sífilis. Os anos de 1946 e 1957 foram de produtividade para Fleck: orientou cerca de 50 teses de doutorado e uma série de teses de livre-docência. Publicou 87 artigos em medicina em periódicos

franceses, ingleses, americanos e suíços. Participou de congressos e conferências em países como a Dinamarca, França, União Soviética, Estados Unidos e no Brasil. Ganhou alguns prêmios, como a Cruz dos Oficiais da Ordem do Renascimento da Polônia em 1955 (SHAFER & SCHNELLE, 1986).

Fleck não se ocupou somente da Medicina, mas também de outras áreas do conhecimento, como a Filosofia. Durante as décadas de 1920 e 1930, dedicou as horas vespertinas aos estudos de obras filosóficas, sociológicas e de história da ciência. O clima interdisciplinar da época influenciou a sua construção epistemológica, o que fez Fleck interagir com cientistas da área de Matemática, Bioquímica, Pediatria, Microbiologia, Bacteriologia, além de um intenso contato com a escola de Filosofia de Lwów. Naquela época, criou-se na Polônia, a partir dos discípulos de Twardowski, a “escola de Lwów-Varsóvia”, uma escola com uma orientação neo-positivista muito influenciada pelo círculo de Viena, que tinha interesses na interação e discussão de cunho interdisciplinar. Fleck participava regularmente dessas discussões, devido ao seu conhecimento da filosofia positivista do círculo de Viena, cuja postura era bastante crítica (SHAFER & SCHNELLE, 1986).

Da Ros (2000) ao estudar o livro: “The Polish School of Philosophy of Medicine” (1990), de Ilana Lowy, descreve o estudo da influência da escola polonesa de filosofia da medicina no trabalho de Fleck. Uma das questões que Ilana Lowy tenta responder é: Por que os médicos poloneses são atraídos pela filosofia da medicina?

A hipótese da autora é de que o interesse em Filosofia e História da Medicina pelos médicos poloneses seria consequência dos problemas sociais que o país estava vivendo, bem como da distância entre as pretensões profissionais dos médicos e as possibilidades práticas de alcançá-las. Como exemplo, temos o caso do médico R. Virchow que, a pedido do governo da Prússia, foi investigar uma epidemia de tifo e concluiu no seu relato que o único caminho para prevenir futuras epidemias, era mudar as condições de vida dos camponeses, com uma educação de qualidade e assegurando os direitos políticos. Este estudo marcou em Virchow a convicção de que a medicina era uma ciência social e os problemas médicos poderiam ser resolvidos por via política. Não só para Virchow, mas também para outros médicos da época como Sniedecki e Schleiden, a Medicina era também uma ciência social. Esta atmosfera de

pensamento da Medicina teve grande impacto na epistemologia de Fleck (DA ROS, 2000).

Os primeiros estudos filosóficos de Fleck estavam em sintonia com as discussões feitas na Escola Polonesa de Filosofia, como por exemplo, os aspectos convencionais de taxonomia médica e a natureza não absoluta do conhecimento médico com sua dependência dos fatores socioculturais. O entendimento da epistemologia de Fleck é facilitado na medida em que estudamos as relações entre Fleck e os outros filósofos da escola polonesa de Medicina dentro de um contexto sociocultural.

Dessa forma, as ideias de Fleck foram influenciadas pela Escola Polonesa de Filosofia da Medicina. Os principais referenciais que tiveram certa influência no trabalho de Fleck foram: o fundador oficial da Escola Polonesa de Medicina, Tytus Chalubinski (1820-1889), Edmund Biernacki (1866-1911), Wladislaw Bieganski (1857-1917), Zigmunt Kramsztyk (1848-1920), Wladislaw Szumowski (1875-1954). Vejamos as características de alguns destes autores, que possivelmente influenciaram a epistemologia de Fleck:

Tytus Chalubinski:

- Cada nova geração criticará a velha. A ciência é mutável, conforme cresce o conhecimento.
- Ninguém tem o direito de produzir dogmas.
- Cada escola, modo de pensar, instila o mais forte possível na formação de jovens médicos.
- As doenças como construções didáticas dos médicos.

Estes excertos, mais a concepção materialista da ciência, como a complexidade do pensar médico, com sua necessidade de resposta imediata; a visão holística e a presença da história do conhecimento humano estarão presentes como premissas fortes no pensamento de Fleck (DA ROS, 2000, p.14).

Para Wladislaw Bieganski, que foi professor de Fleck de História e Filosofia da Medicina, os cientistas já trabalham com “verdades anteriores”, sendo toda a visão científica, uma visão com viés, ou seja, a aproximação com o objeto não se daria de forma “neutra”. Zigmunt Kramsztyk (1848-1920) parece ser umas das fontes principais de Fleck devido à originalidade, síntese e crítica aos outros autores da escola Polonesa de Filosofia da Medicina. Vários conceitos da epistemologia de Fleck que desenvolveremos mais adiante estão diretamente relacionados à filosofia de Kramsztyk

como: a importância da História/protoideias; a dificuldade de comunicação entre uma ciência e outros EP, a incomensurabilidade; o cientista com um modo próprio de pensar e a necessidade do trabalho com as outras profissões, os círculos eso e exotéricos; a complexidade e a diferença do pensar em medicina; a inexistência de um pensar livre de pressupostos; a relação sujeito-objeto; a imposição de uma forma de pensar/coerção de pensamento, etc (DA ROS, 2000, p. 19-24).

Além destes referenciais, Fleck foi influenciado também pela psicologia gestáltica por ter feito críticas aos estudos sociológicos e antropológicos de Durkheim, Lévy-Bruhl, Jerusalém. Mas, de acordo com Da Ros (2000), apesar de não ser corroborada por muitos biógrafos de Fleck, a Escola Polonesa de Filosofia da Medicina teve grande influência na epistemologia fleckiana defendida por Ilana Lowy. Ainda de acordo com o autor, o motivo por muitos discordarem deve ser porque a escola de filosofia da medicina estava na periferia do mundo, portanto, a elite intelectual do mundo não tinha muito conhecimento e que quando procuramos entender os originais de Fleck e os referenciais da escola, na qual ele estudou e conviveu, pode-se concluir que Ilana Lowy tinha razão.

2.3 A Epistemologia de Ludwik Fleck

A epistemologia de Fleck é contemporânea à de filósofos como Popper, Bachelard, assumindo uma posição contra o empirismo lógico do Círculo de Viena. Considerado pioneiro na Europa na abordagem sociológica do conhecimento, sua epistemologia começa a ser reconhecida com a citação que Kuhn faz em seu livro a “Estrutura das Revoluções Científicas” e com Baldamus em 1966, além de alguns simpósios e colóquios sobre a concepção fleckiana, realizados nos anos de 1981 e 1984 (DELIZOICOV et al. 2002).

A primeira publicação de cunho epistemológico de Fleck data de 1927, uma conferência proferida no ano de 1926, na Sociedade Amigos da História da Medicina de Lwów, cujo título era “Über Einige Besondere Eigensachften des Artzlichen Denkens” (sobre algumas características especiais do pensamento médico). Segundo Shafer e Schnelle (1986, p. 18), neste artigo Fleck caracteriza e diferencia epistemologicamente

a Medicina de outras áreas do conhecimento como a Física e a Astronomia; além de questionar a visão tradicional da teoria da ciência em encontrar o indivíduo responsável pela investigação, propõe uma visão coletiva e interdisciplinar da investigação científica.

No artigo de 1927, Fleck tenciona as diferenças epistemológicas do ponto de vista internalista entre a Medicina e as outras Ciências Naturais, citando, como exemplo, o caso das “enfermidades” que deve ser considerado sob diferentes ângulos, devido às várias variáveis que surgem das relações dela com cada organismo. Em outras disciplinas como o atomismo na Química ou a energia na Física, é possível a formulação de um princípio que abarque a totalidade da disciplina, porém na Medicina não existe a possibilidade de uma consideração unitária.

Uma generalização epistemológica sobre a medicina e as Ciências Naturais em geral é exposta em seu segundo trabalho epistemológico de 1929, no artigo intitulado “Zur Krise der Wirklichkeit” (sobre a crise da realidade). Suas reflexões têm duas linhas básicas de pensamento: a primeira resume suas primeiras ideias sobre o que ele elegeria como os pilares fundamentais de sua epistemologia, ou seja, os conceitos de pensamento “de acordo com um estilo”, “estilo de ideias” e EP; o segundo tema fundamental do seu artigo é a análise de forma sistemática da relação entre o objeto, a atividade do conhecimento e o marco social da ciência. Estes e outros artigos de Fleck contêm um esboço de suas primeiras ideias que seriam desenvolvidas posteriormente com algumas modificações mais aprofundadas no seu livro de 1935 (“Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache”).

A primeira versão do seu livro, em 1935, “Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen tatsache” (“A Gênese e o desenvolvimento de um fato científico”) é um clássico comparável à lógica da investigação científica de Popper (1934) e ao discurso do método de Descartes. O motivo de tais comparações se deve ao fato de que a teoria da ciência dá uma contribuição diferente da tradicional, por considerar a ciência não somente uma construção formal, mas uma atividade dirigida por comunidades de investigadores. Sua obra não se dirige somente à especialistas em teoria da ciência, mas também a um público amplo com interesses científicos. Entretanto, seu livro não teve grande expansão, como os grandes clássicos da época devida possivelmente, à perseguição nazista (SHAFER & SCHNELLE, 1986).

A abordagem de Fleck opõe-se claramente ao modelo empirista–mecanicista, pois defende que o ato de conhecer está condicionado a fatores externos (social e cultural). Fatores estes que podem influenciar as ideias prévias dos indivíduos nas observações e experimentos, ou seja, o conhecimento depende da relação sujeito-objeto e fatores externos. Os fatores externos podem caracterizar um EP que determina e seleciona o que um indivíduo ou o coletivo deve estudar: “*O conhecer representa a atividade mais condicionada socialmente da pessoa e o conhecimento é a criação social por excelência*” (FLECK, 1986, p. 89).

Para Fleck (1986), uma teoria do conhecimento que não leva em conta como princípio geral a condição sociológica de todo o conhecimento é uma trivialidade. Para o autor, a relação sujeito-objeto é condicionada socialmente e os pressupostos sociais e históricos do sujeito caracterizados dentro de um EP são chamados de *conexões ativas* e as características captadas do objeto pelo sujeito são chamadas de *conexões passivas*. Ambas as conexões não podem ser vistas de forma separadas, nem logicamente e nem historicamente, pois estão presentes uma na outra.

Para Fleck (1986, p.67) não há erros e nem verdades absolutas. Cita como exemplo, os “erros” de Robert Mayer que, supostamente, para alguns teóricos não tiveram nenhuma importância para o estabelecimento do Princípio da Conservação da Energia. Para o autor é uma ilusão, pois as formulações de conceitos aceitos no presente podem herdar os “erros” do passado. Esta herança está presente nas formas de conceber os problemas, nos programas de ensino formal, na vida diária, na linguagem e nas instituições. Não existe nenhuma geração espontânea de conceitos, mas são por assim dizer, determinada pelos seus antepassados.

Por meio da Medicina, Fleck aprendeu a investigar histórico-evolutivamente um conceito em desenvolvimento, como o entendimento do conceito de sífilis que é dificultado sem o estudo de sua história. Apesar de o caminho histórico ser tortuoso e complicado, é ingênuo crer no conceito da entidade nosológica “sífilis” de forma simples e segura, somente mediante a utilização de técnicas da observação e da experimentação atuais. Os meios de investigação atuais são precisamente o resultado do desenvolvimento histórico e, não somente, de uma única possibilidade lógica, como exemplo, o conceito atual de entidade nosológica. Em síntese, existe uma dialeticidade

entre os elementos históricos sociais e os fatores lógicos na formulação de um conceito científico.

No processo de construção de um conceito científico, devem ser consideradas as primeiras ideias, o que Fleck denomina de protoideias, até se chegar ao desenvolvimento atual deste conceito. O surgimento de um conceito científico atual é compreendido sócio-cognitivamente, explicitando as ideias confusas, as fundamentações científicas de acordo com cada época, até receber a conceituação moderna. Exemplos deste processo têm o princípio de conservação da matéria, o conceito de energia e o sistema heliocêntrico. Vale ressaltar que esta relação dos conceitos atuais com os antigos não é fixa, porque nem todo conceito atual foi originado de uma protoideia e nem toda protoideia originou um conceito atual (FLECK, 1986, p. 71-72).

Uma vez estabelecido um conceito ou teoria, Fleck (1986, p. 75) assinala que uma das tarefas da teoria comparativa do conhecimento é investigar como as concepções e as ideias confusas passam de um EP a outro. Como emergem as pré-ideias gerais e espontâneas e como se mantêm, graças a uma espécie de harmonia das ilusões, como estruturas persistentes e rígidas. Somente por meio dessa comparação e investigação das relações podemos começar a compreender a nossa época.

Para Fleck (1986, p.138), o observar livre de pressuposições é psicológica e logicamente um absurdo. Em oposição ao conceito de fato dos empiristas lógicos, Fleck utiliza a psicologia da Gestalt. Para ele, o observar no contexto do conhecimento, divide-se em dois tipos: 1) o observar como *um ver confuso inicial* e 2) o observar como *um ver formativo direto e desenvolvido*. Entre ambos existem níveis intermediários.

O observar como *um ver confuso inicial* não está orientado por um estilo. É uma mistura e luta caótica de vários EPs distintos formados por várias visões conceituais diferentes. O observar como *um ver formativo* (Gestalt) direto exige estar experimentado no campo de pensamento em que o cientista quer atuar. Para isso é necessário um treinamento preliminar a fim de adquirir uma capacidade para perceber um sentido, uma forma (Gestalt) e uma unidade fechada. É justamente a disposição

para o perceber dirigido que constitui o principal componente para o EP. Entre outras definições, Fleck considera EP, como:

[...] um perceber dirigido com a correspondente elaboração intelectual e objetiva do percebido. Fica caracterizado pelos traços comuns dos problemas que interessam ao coletivo de pensamento, pelos juízos que o pensamento coletivo considera evidentes e pelos métodos que emprega como meio de conhecer. O estilo de pensamento também pode existir acompanhado pelo estilo técnico literário do sistema de saber (FLECK, 1986, p.145).

Apesar dessa definição direta de EP, no seu livro aparecem várias outras definições, tais como: um corpo de conhecimentos e práticas, memória social, linguagem específica etc. Sua argumentação na teoria da ciência é de estabelecer um terceiro elemento na relação sujeito-objeto, o “estado de conhecimento”, que pode ser entendido como os fatores históricos, sociais e culturais que caracterizam o EP, cujo “portador comunitário é chamado de coletivo de pensamento” (FLECK, 1986, p.149).

Assim, o EP condiciona os diferentes CP. Ambos estruturam-se em círculos esotéricos concêntricos, em que se mantém uma solidez mais intensa, interagindo com os círculos que lhes são exotéricos. O significado dos *círculos esotéricos e exotéricos é relativo*. Podemos ter um coletivo de físicos da matéria condensada interagindo com outro coletivo de físicos da matéria condensada, formando assim um círculo esotérico. O coletivo de pedagogos entre eles constitui um círculo esotérico, mas este mesmo círculo é exotérico em relação aos físicos da matéria condensada, e assim da mesma forma, os físicos em relação aos pedagogos. Um ponto relevante é que nem sempre essa relação de círculos esotéricos e exotéricos ocorre entre grupos de diferentes especialidades. Podemos ter círculos exotéricos formados por pessoas leigas, um exemplo seria os estudantes do Ensino Médio (círculo exotérico de leigos) que interagem com professores de Física do Ensino Médio (exotérico em relação a um grupo de pesquisadores em física nuclear).

A interação entre os círculos esotéricos e exotéricos ocorre através da circulação intracoletiva e intercoletivas de ideias e práticas. A primeira é quando especialistas de um mesmo círculo compartilham entre si o seu EP; a segunda, por sua vez, quando há interação entre coletivos com EPs distintos. Deste modo, para Fleck o saber é uma

atividade social, cuja dinâmica da produção do conhecimento científico ocorre por meio da circulação intercoletiva e intracoletiva de ideias e práticas, ocorrendo a instauração, a extensão e a transformação de EP.

A *instauração do EP* se dá inicialmente de forma confusa e pouco organizada, passando por um estado de formação de conceitos até se tornar estilizado, permitindo a construção do fato científico de forma mais elaborada e consistente. Após a *instauração do EP*, ocorre a *extensão do mesmo*, é o que Fleck define como a *harmonia das ilusões*, em que um sistema de ideias entra em consenso com o EP, adaptando o sujeito ao conhecimento consolidado pelo EP. A consolidação e persistência dos sistemas de pensamento acontecem pelo:

[...] caráter fechado dos sistemas, assim como as interações entre o conhecido, o que está por conhecer e o cognoscente garantem a harmonia dentro do sistema. Mas, ao mesmo tempo, também asseguram a harmonia das ilusões, que precisamente por isto, não podem desmascarar-se nunca dentro do estilo de pensamento (FLECK, 1986, p. 85).

Durante a fase de *extensão do EP* podem suceder dois grandes momentos: *classicismo e complicação*. No primeiro, só se observam fatos que vão de acordo com a teoria dominante; no segundo há uma aceitação das complicações. O CP faz todo um esforço para manter a *harmonia das ilusões*; no entanto, as complicações do EP dominante podem se tornar valiosas para que, após um período de instauração e extensão do EP, aconteça a transição do EP em um processo cíclico.

Nesse processo de instauração e extensão de EP, cabe ressaltar o papel das conexões ativas e passivas. Quando o sujeito ou o coletivo observa determinado objeto, há uma discussão inicial que são as chamadas conexões ativas e daí, devido à coerção do EP, o sujeito junto ao coletivo tende a elaborar um consenso sobre o objeto, o que passa a ser uma conexão passiva, surgindo assim um fato científico. Quando há uma mudança no EP, a maneira do sujeito ou coletivo ver modifica-se, então o que tinha se tornado passivo anteriormente volta a ser discutido e se torna uma conexão ativa neste novo EP, até se tornar passivo novamente.

Essa dinâmica de produção do conhecimento científico de Fleck está de acordo com a perspectiva do realismo crítico, uma vez que a realidade para ele é objetiva, ou

seja, independente de nós conhecedores o CP sofre a coerção do EP. Essa postura realista crítica é reforçada quando afirma que nem tudo se explica histórico social e psicologicamente:

[...] Quando se leva em conta essas relações gerais da história cultural e as particulares da história do conhecimento, limita-se significativamente o convencionalismo. No lugar da escolha livre e racionalista, surgem condições específicas. Mesmo assim, encontram-se sempre no conteúdo do conhecimento outras relações que não se explicam psicologicamente (seja no plano individual, seja no coletivo), nem historicamente. Por isso, elas passam a impressão de serem relações “reais”, “objetivas” ou “efetivas”. Nós as denominamos de relações passivas, em oposição àquelas outras, que denominamos ativas. Assim, na nossa história da sífilis, a união de todas as doenças venéreas sob o conceito da “epidemia venérea” representava um acoplamento ativo dos fenômenos, que se explica pela história cultural. Ao contrário disso, a descrição do efeito do mercúrio na frase citada acima, “em alguns casos, o mercúrio não cura a doença venérea, mas chega a piorá-la”, representa, em relação ao ato do conhecimento, um acoplamento passivo. É claro, ainda, que esse acoplamento passivo sozinho, sem o conceito da epidemia venérea, nem poderia ter sido formulado, assim como o próprio conceito “epidemia venérea”, ao lado dos elementos ativos, também contém elementos passivos (FLECK, 2010, p. 50).

Fleck alerta também que na concepção da gênese da reação de Wassermann, apesar de apresentar-se como um entrelaçamento histórico no âmbito das idéias, não deve ser entendida somente a partir de momentos históricos e da psicologia coletiva e individual em todo o seu conteúdo objetivo e que sempre resta algo coercitivo, imóvel e inexplicável em sua história evolutiva:

[...] Assim se explica, por exemplo, do ponto de vista da psicologia coletiva, que, após os primeiros trabalhos de Wassermann sobre a sorologia da sífilis, havia muitos verificadores que procederam à “elaboração técnica”. O alcançar de um resultado positivo, contudo, e se o conteúdo objetivo *inicialmente* não se explica por elementos da história evolutiva. Esses verificadores testaram muitas combinações, mas nem todas foram aprovadas da mesma maneira: somente uma delas tinha que ser avaliada como sendo a melhor; ou, pelo menos, somente algumas tinham que ser consideradas boas. Não há como reconstruir qual desses elementos chegou a sê-lo (FLECK, 2010, p.127).

Isso nos mostra que além dos elementos histórico-culturais na gênese do conhecimento científico, os fatores lógicos, experimentais e conceituais participam da gênese do conhecimento científico, o que evidencia a materialidade da teoria de conhecimento de Fleck, ao explicar o processo de construção dos fatos científicos. Esta

visão está em sintonia com o realismo crítico. Além disso, a sua postura é reforçada quando, ao final do seu livro, Fleck faz um comentário sobre a atitude do *EP* moderno, como sendo “o culto comum a um ideal, ao ideal de verdade, clareza e exatidão objetiva.” Em sua concepção realista crítica, a verdade não é universal, mas existe uma verdade melhor temporariamente, pois, a verdade é uma eterna busca.

2.3.1 Possibilidades da epistemologia Fleckiana para as Ciências Humanas

Fleck não reduz a sua epistemologia apenas ao entendimento das ciências naturais, mas também a uma investigação da produção do conhecimento de outros grupos sociais:

A fertilidade da teoria do pensamento coletivo se mostra precisamente na possibilidade que nos proporciona para comparar e investigar de forma uniforme o pensar primitivo, arcaico, ingênuo e psicológico também pode ser aplicado ao pensamento de um povo, de uma classe ou de um grupo. Considero o postulado da experiência máxima como a lei suprema do pensar científico, pois uma vez que surgiu a possibilidade de uma epistemologia comparativa, este postulado se converte em uma obrigação (FLECK, 1986, p.98)

Fleck deixa claro o potencial de sua epistemologia para investigar aspectos das ciências humanas, principalmente em outras definições da categoria *EP*, como sendo uma atitude e uma disposição para uma ação dirigida, criando expressões adequadas além da ciência, como religião, arte, costume, guerra, etc. (FLECK, 1986, p.145).

A sua definição de CP é ampla, servindo, além de grupos de cientistas a outros grupos sociais organizados. Um exemplo citado por Fleck (1986, p. 150) é na diferenciação de comunidade oficial de uma religião e os CPs de uma religião. Na comunidade oficial de uma religião, seus membros são formalmente aceitos sem entenderem as suas formas de pensar, enquanto o CP, ou comunidade de pensamento entende e aceita os fundamentos da religião. Então, pode-se pertencer ao CP de uma religião, sem haver sido admitido na comunidade oficial e vice-versa.

Além dos coletivos de pensamento de uma ciência ou religião, Fleck expande a ideia de coletivo para os profissionais de uma determinada área, como a de comerciantes, militares, esportistas, artistas, políticos, moda etc. Quanto mais

especializado e restrito o conteúdo de um *EP*, mais forte é o vínculo de pensamento entre os membros.

Diferentes CPs estão inseridos em *EPs* distintos. Se compararmos diferentes *EPs*, podemos notar que as diferenças entre eles podem ser maiores ou menores. A diferença de *EPs* entre físicos e biólogos não é, em geral, muito grande, por outro lado, a diferença é muito maior entre físicos e filólogos e, maior ainda, entre um físico europeu moderno e um médico chinês ou um místico cabalista. As distâncias entre estes *EPs* são tão grandes que a diferença entre os *EPs* dos físicos com o dos biólogos tende a desaparecer. Deste modo, Fleck fala em nuances, variedades e diferenças de estilo (FLECK, 2010, p. 160).

Quanto maior a diferença entre *EPs*, menor é a *circulação intercoletiva de ideias e práticas*. Os CPS com *estilo de pensamento* diferente de outro coletivo, quando entram em contato, parecem inicialmente estar em um misticismo; os problemas que levantam parecem triviais, como o coletivo dos cientistas naturais com o dos espiritualistas, mas os fatos espiritualistas estudados por coletivos menos divergentes como os dos teólogos, são mais bem acolhidos.

As palavras têm um papel central na *circulação intercoletiva*, pois podem variar de significado quando passam por esse processo. Comparemos, por exemplo, o significado das palavras “força” e “energia” para um físico, um filólogo ou um esportista, ou a palavra “explicar” para um filósofo e um químico, ou “lei” para um jurista e um cientista. O que Fleck nota é que, apesar das dificuldades de comunicação entre os diferentes CPs, a *circulação intercoletiva de ideias* tem como consequência um deslocamento ou transformação de valores de pensamento em escala que vai desde pequenas mudanças, passando por uma mudança quase completa de sentido, até a destruição do mesmo. Essa disposição para a mudança do perceber orientado oferece novas possibilidades de descobrimentos e cria fatos novos. Para Fleck (1986, p. 156-157) este é o significado epistemológico mais importante da *circulação de pensamento intercoletivo*.

Um exemplo da *circulação intercoletiva de ideias e práticas* está na caracterização da área de ensino de Ciências no Brasil, feita por Delizoicov (2004, p.145-175) demonstrando que a área de pesquisa em ensino de Ciências constitui de

fato um campo social de produção do conhecimento em que sua gênese pode ser compreendida como a instauração, extensão e transformação de *EPs*, compartilhada por coletivos de físicos, químicos, biólogos entre si e com outras áreas do conhecimento com *EPs* mais distantes das ciências naturais como a Filosofia, a Psicologia e a Sociologia, o que o autor caracteriza como circulação intercoletiva de ideias, a possibilidade de instauração de outros *EPs*, diferentes daqueles originários de suas áreas, podendo, um mesmo pesquisador, participar de um ou de vários coletivos.

Quanto à possibilidade de utilização das categorias epistemológicas em sala de aula, o mesmo autor afirma:

[...] Além da utilização para investigações no âmbito da História, da Filosofia e da Sociologia da Ciência, que vêm sendo desenvolvidas na Europa, destacamos também o potencial deste modelo epistemológico como uma referência para investigação de problemas de ensino de ciências, não só porque suas categorias analíticas poderiam ser aplicadas tanto para o caso do conhecimento do senso comum, como para o científico, e as possíveis inferências que daí tiraríamos para a busca de soluções dos problemas de pesquisa, como também para agrupamentos de outros profissionais, como, por exemplo, professores das ciências dos vários níveis de ensino. Este modelo, caracterizado pela sociogênese do conhecimento, auxiliaria na caracterização e compreensão da atuação de grupos de docentes, indicando novos caminhos a serem percorridos na formação inicial e contínua de professores (DELIZOICOV et al. 2002, p. 64-65).

Dessa forma, pelo que enfatizamos até o momento, mostrando várias possibilidades do uso das categorias *EP* e *CP*, a epistemologia fleckiana, além de ser utilizada para estudar fatos científicos, pode também auxiliar na pesquisa da área de educação. Um exemplo disso seria um grupo de professores que poderia ser compreendido como um *CP* influenciado por um *EP*.

Delizoicov (2007, p. 91) faz uma leitura do processo educativo na disseminação de saberes na sala de aula, utilizando-se das categorias fleckianas. Segundo o autor, na medida em que há *circulação intercoletiva de ideias* há ou pode haver transformação de *EPs*. Quando a escola proporciona condições de circular outro coletivo diferente dos estudantes, pode fazer com que o *EP* do coletivo ao qual o aluno pertença se transforme, elevando-se o nível cultural. Um exemplo disto seria o professor de

Ciências funcionando como mediador desse processo educativo da apropriação pelos alunos dos *EPs* produzidos pelos cientistas.

Uma vez apontadas as possibilidades da epistemologia fleckiana para as ciências humanas, em especial a educação em Ciências, apontaremos como as categorias epistemológicas de Fleck poderiam contribuir para fundamentar uma possível resposta às nossas questões de pesquisa. Primeiramente, no que concerne à questão: Os professores Universitários da área de Ciências Naturais possuem uma visão articulada das culturas humanística e científica? Esta questão sob o olhar fleckiano diz que lidamos com *EPs* e *CPs* diferentes e aparentemente, distantes. Para Fleck, existe dificuldade de comunicação entre esses *EPs*; no entanto, ele não diz que é impossível. Para o autor, um *coletivo* que não consegue resolver um determinado problema com seu *EP* e adquire consciência das complicações, poderá gerar uma circulação intercoletiva de ideias e práticas com outro *CP* distinto, o que pode ocasionar tanto a solução das complicações, como uma transformação do *EP* anteriormente compartilhado pelo coletivo de pensamento.

Acreditamos que uma abordagem sociocultural da história da Ciência seja uma alternativa para aproximar as duas culturas, a humanística e a científica. Diante disso, tentaremos ao longo do trabalho, discorrer de forma mais completa sobre essa questão e, ao mesmo tempo, procurar tentar responder uma questão diretamente relacionada à anterior: Por que uma abordagem Histórico-Sociocultural poderá contribuir para articulação das culturas científica e humanística no processo formativo de professores? Especificamente, como a partir do estudo do trabalho de Joule, poderemos ter uma visão mais crítica do processo de formação de professores de universitários de Física na articulação das culturas científica e humanística?

2.4 Um panorama da epistemologia de Ludwik Fleck na pesquisa em ensino de Ciências no Brasil

Após a apresentação das possibilidades da epistemologia fleckiana serem utilizadas nas Ciências Humanas, faremos agora um levantamento de trabalhos

específicos da área de Ensino de Ciências e Matemática, que apresentem a epistemologia de Ludwik Fleck como referencial teórico. Os periódicos utilizados nesta pesquisa estão listados na tabela 5. A busca dos artigos que continham pesquisas relacionadas à Fleck foi feita desde a origem dos periódicos até o ano de 2011.

Como recurso metodológico, utilizamos a análise de conteúdo (BARDIN, 1977). Os textos completos e resumos foram classificados em cinco categorias: história de fatos científicos e ensino de Ciências, formação de professores, divulgação científica, epistemologia fleckiana, análise de pesquisas em ensino de Ciências no Brasil.

Tabela 5: Lista de Periódicos com a quantidade de Artigos que utilizam Ludwik Fleck como referencial teórico

Periódicos	Quantidade
Ciência & Educação	3
Investigações em Ensino de Ciências	4
Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências	4
Caderno Brasileiro de Ensino de Física	2
Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências	1
Química Nova na Escola	1
Total	15

2.4.1 A análise dos dados

Conforme explicitado anteriormente, os textos foram selecionados em cinco categorias (Tabela 6), que passamos a detalhar.

Tabela 6: Distribuição dos trabalhos segundo as categorias de análise

Categorias	Quantidade	%
História de Fatos Científicos e ensino de ciências	5	33,3
Formação de Professores	4	26,7
Análise das Pesquisas em Ensino de Ciências no Brasil	4	26,7
Epistemologia Fleckiana	2	13,3
Divulgação Científica	1	6,7

a) História de Fatos Científicos e o Ensino de Ciências

Nesta categoria, analisaremos as abordagens das pesquisas acerca de *fatos científicos*.

Leite et al. (2001), a partir das categorias *EP* e *CP* de Fleck, buscaram estabelecer relações entre a produção científica de Mendel com o contexto social, histórico e econômico de sua época. Mostraram que a participação de Mendel em diversos coletivos de pensamento influenciou na sua abordagem sobre a hereditariedade, apontando a importância de se discutir este fato na formação de professores.

Outro episódio científico estudado por Castilho et al. (2004) foi o surgimento, a aceitação e o uso do modelo de Harvey para a circulação sanguínea. As justificativas apresentadas pelos autores para esse estudo é que o mesmo possibilita contrapor as seguintes concepções: a) a concepção empirista de que a origem do conhecimento científico está na experimentação; b) que o crescimento do conhecimento científico é linear e essencialmente cumulativo; c) a concepção individualista e neutra do sujeito que, ao tratar os dados observados com um aparato lógico-matemático, descobre leis naturais e d) a imagem descontextualizada e socialmente neutra da ciência. Com o intuito de contrapor as concepções acima citadas, os autores apresentaram e exploraram fatos históricos relativos ao movimento do sangue no corpo humano a partir da perspectiva epistemológica de Ludwik Fleck. As categorias utilizadas para a análise

epistemológica foram: *EP*, *CP* e *Circulação Intracoletiva e Intercoletiva de ideias*. A partir destas categorias, foi possível examinar os modelos explicativos que se sucederam ao longo do tempo sobre a dinâmica do sangue no corpo humano.

Exemplificando o ponto de vista acima, Castilho et al (idem) discorrem sobre o modelo de Galeno. Neste modelo, o sangue originava-se a partir de alimentos que, absorvidos pelo intestino, eram levados ao fígado onde eram transformados em sangue. Para ele, o sangue se movimentava num sistema aberto, tinha um princípio e um fim. O modelo de Galeno que sofreu várias influências, dentre as quais a crença de que tudo era determinado por Deus, se pautou em conhecimentos de anatomia e fisiologia adquiridos em sua formação. Foi a partir da circulação intercoletiva e intracoletiva de ideias, por meio de livros, palestras e da influência da igreja católica na sociedade da época é que houve a instauração e extensão do *EP* galênico. Entretanto, segundo os autores e cientistas, como André Vesálio, apontaram complicações no modelo galênico. Isto facilitou a circulação Intercoletiva de idéias no período do Renascimento, possibilitando a transformação do *EP* galênico.

Nesse período, os médicos não ficavam mais isolados e limitados ao círculo do catolicismo, interagiam também com outros CP, ao qual André Vesálio pertencia. Outro modelo considerado por Castilho et al (idem) é o de Harvey. Os autores mostram as contribuições de outros cientistas que influenciaram Harvey; um deles foi Hieronymus Fabricius de Acquapendente (1533-1619), cuja obra mais conhecida, foi *Das Válvulas nas Veias*. Os autores argumentam que Harvey teve inspiração em uma visão mecânica de mundo, interpretando o corpo nesta concepção. Harvey acreditava na perfeição do movimento circular e isso o levou a conceber o movimento do sangue como um círculo e depois um sistema fechado de vasos.

Na época de Harvey, já havia alguns conhecimentos sobre o sistema sanguíneo, tais como: a estrutura do coração era bem conhecida desde os tempos de Vesálio; a ação das válvulas na aorta e na artéria pulmonar na prevenção da regurgitação do sangue havia sido descrita por Galeno e reconhecida por muitos outros. Castilho et al (idem) argumentam que as influências mecanicistas em Harvey refletem-se como o mesmo considerava o funcionamento do coração: uma bomba hidráulica com válvulas. Com isso, ao realizar experiências com animais vivos, em uma perspectiva quantitativa,

afirmou que a quantidade de sangue não pode proceder dos alimentos ingeridos, nem ser apenas necessária para a nutrição do coração e ainda inferiu que o fígado não era a fonte de produção do sangue.

Uma das complicações encontradas no modelo galênico foi a explicação da presença de sangue na cavidade esquerda do coração. Assim o modelo galenico já não foi mais capaz de impedir a observação de elementos que aquele modelo não previra. A consciência de complicações é um elemento inicial para a emergência de um novo *EP*. Portanto, a concepção do movimento do sangue, segundo uma dinâmica em circuito fechado, foi a grande transformação ocorrida com a proposição de Harvey, contrariando Galeno, que previa um sistema aberto.

Em outro estudo, Scheid et. al (2005) usando as categorias epistemológicas de Fleck, analisaram a história da proposição do modelo do DNA. A aceitação do modelo de dupla hélice (modelo do DNA) foi o ponto de partida para esclarecer a genética da transmissão em nível molecular. Os autores interpretaram que na construção do modelo do DNA, proposto por Watson e Crick, ocorreu a contribuição de vários cientistas predecessores e contemporâneos ao fato científico. Esta condição exigiu: o trabalho individual dos cientistas contribuindo com coletivos; as observações ou teorias influenciadas por EPs distintos; a circulação intercoletiva de ideias entre grupos esotéricos e exotéricos, no caso os grupos dos físicos, químicos e biólogos. Estes fatores foram decisivos para a proposição final deste modelo.

A partir da história dos fatos científicos, Scheid et al (2005) concluíram que a ciência não é algo acabado, linear, constituída de erros e verdades absolutas, interpretando tais fatos e mostrando que não existe uma “descoberta acidental”, um cientista como um indivíduo, que trabalha isento de pré-concepções de natureza psicológica, cultural e sociológica. Concluem ainda que um fato científico é aceito de acordo com o EP de uma época. Os autores ainda sugerem que tais trabalhos poderiam servir de suporte em um ensino de Ciências mais contextualizado, especialmente na formação de professores.

Flôr (2009) desenvolveu um estudo sobre a comunicação das idéias e produções da síntese de elementos transurânicos e a consequente alteração da tabela periódica, no contexto do projeto Manhattan. Para isso, apropriou-se dos conceitos de CP,

circulação intracoletiva e intercoletiva de ideias e círculos esotéricos e exotéricos de conhecimento de Fleck. A autora aponta a necessidade de se fazer uma abordagem de textos históricos, a partir de referenciais epistemológicos nos cursos de licenciatura e ainda a importância de publicação de trabalhos, envolvendo a história de fatos científicos como acervo de pesquisa para professores.

Delizoicov e Heidrich (2009), em outro estudo que objetiva fornecer subsídios para uma abordagem histórica no ensino de Ciências Biológicas em uma perspectiva histórico-social, mostram como distintos CPs como o de anatomistas médicos, fisiologistas e bioquímicos ligados às ciências da saúde lançaram olhares com enfoque diferenciado para um mesmo objeto de estudo: o paciente diabético, tais estudos voltados para o isolamento, purificação e aplicação da insulina.

b) Formação de Professores

Nesta categoria, classificamos as pesquisas que investigam as concepções de professores acerca da natureza da ciência, bem como os trabalhos de fundamentação epistemológica dos processos formativos de professores.

Em uma análise geral dos trabalhos publicados nos periódicos levantados, percebemos duas tendências: a primeira em mostrar a importância da história da Ciência na formação de professores para o desenvolvimento de uma concepção de ciência como uma construção sócio-histórico-cultural, o que pode auxiliar na compreensão conceitual de um conteúdo ou temática específica; a segunda é caracterizada pela utilização das categorias fleckianas como uma reflexão para a fundamentação epistemológica da prática e dos processos formativos de professores.

Na primeira tendência, Scheid et. al (2007) desenvolveram pesquisa com o intuito de analisar as concepções sobre a natureza da ciência de estudantes iniciantes do curso de Ciências Biológicas. Como instrumento para construção dos dados, os autores utilizaram-se de questionários e entrevistas semiestruturadas. As questões de pesquisa foram focadas na história da genética, bem como nas aplicações tecnológicas e nas implicações éticas. Os dados mostraram que os estudantes identificam no trabalho dos cientistas a descoberta de leis naturais e verdades absolutas. Com isso, os autores concluem que entre os estudantes ocorre o predomínio de uma visão indutivista-empirista, na qual a observação e a experimentação são entendidas como

atividades independentes de compromissos teóricos. Os autores consideraram que essa problemática se deve à ausência de discussões epistemológicas, as quais poderiam contribuir para a compreensão da complexidade na construção dos fatos científicos. Sugerem que as ideias equivocadas a respeito da natureza do conhecimento científico podem repercutir na forma de ensinar.

Em outro estudo, Castilho et. al. (2004) referem-se a uma pesquisa realizada por um dos autores, em que entrevistou professores de Ciências e Biologia do ensino fundamental e médio e constataram que os mesmos não conseguiam contextualizar historicamente a analogia coração-bomba, tendo como consequência a distorção do entendimento da mesma. Diante disso, sugerem que na formação docente precisam ser consideradas discussões sobre a história, a filosofia da ciência e uma análise epistemológica do conceito de movimento do sangue no corpo humano. Isto poderia contribuir para a melhoria das concepções acerca da natureza do conhecimento científico.

Quanto à segunda tendência, podemos citar o trabalho de Gonçalves et al. (2007) que tiveram por objetivo sinalizar, à luz da epistemologia de Ludwik Fleck, possibilidades para a promoção do desenvolvimento profissional dos formadores de professores de Química, de modo que a ação docente possa favorecer uma formação inicial de professores em consonância com as discussões contemporâneas sobre a área de ensino de Ciência e Matemática. Para tanto, os autores apontaram reflexões sobre o estabelecimento de interações entre os professores das disciplinas de conteúdo específico e os pesquisadores em ensino de Química.

Outro trabalho semelhante foi o de Lambach e Marques (2009), cujo objetivo foi identificar elementos caracterizadores de *EPs* de professores de Química que atuam na Educação de Jovens e Adultos (EJA) no Estado do Paraná. Para tanto, foram comparados os *EPs* de professores com e sem participação em cursos de formação continuada, analisando as práticas, concepções e valores docentes extraídos por meio de entrevistas, utilizando os princípios pedagógicos e dialógico-problematizadores propostos por Paulo Freire. Procurou-se evidenciar e avaliar a forma de influência da formação inicial, do tempo de atuação no magistério, e em especial, dos cursos de formação continuada sobre a forma de entender o conhecimento científico e ensiná-lo

aos alunos da EJA. Por fim, utilizaram como referencial de análise, a Análise Textual Discursiva. Realizou-se um estudo comparativo entre os *EPs* presentes no discurso docente, suas contradições e conceituações, por meio do qual se objetivou evidenciar a existência da formação de CPs que agregam professores em torno de determinados *EPs*.

c) Análise de Pesquisas na Área de Ensino de Ciências no Brasil

Nesta categoria foram encontrados dois trabalhos que utilizaram as categorias de Fleck com o intuito de analisar a área de investigação em ensino de Ciências, a partir do estudo de algumas características desta área, tais como: os cursos de pós-graduação, as teses e dissertações de mestrado, os grupos de pesquisa, com diferentes e semelhantes enfoques teóricos e metodológicos. Delizoicov (2004) classifica esta área como um campo social de conhecimento, constituído por diferentes CPS.

Delizoicov (2004) menciona que a circulação intercoletiva e intracoletiva de ideias e práticas, através de periódicos e dos congressos, permitiu o compartilhamento e discussões dos problemas relativos ao ensino de Ciências. Em diferentes momentos, a circulação de ideias propiciou a instauração, extensão e transformação de um *EP* na área de ensino de Ciências, como por exemplo, as pesquisas de aprendizagem por descoberta e por mudança conceitual, que atingiram o auge nos anos 90. O autor considera esse processo dinâmico, possibilitando mudanças contínuas na pesquisa em ensino de Ciências no Brasil.

Em outro estudo, Slongo e Delizoicov (2006) realizaram investigação com teses e dissertações em ensino de Biologia. Os autores analisaram 130 pesquisas desenvolvidas em programas nacionais de pós-graduação no período de 1972 e 2000. Após obterem uma visão panorâmica sobre teses e dissertações em Ensino de Biologia, realizaram um estudo desses documentos amparados em pressupostos teóricos defendidos por Fleck. De forma semelhante ao estudo de Delizoicov (2004), os autores utilizaram a categoria CP que, por sua vez, formam os círculos exotéricos e esotéricos. Os autores consideraram os professores e os alunos do ensino básico como sendo um CP, fazendo parte de um círculo exotérico, pois, salvo algumas exceções, não fazem pesquisa em Biologia e tampouco em ensino de Biologia.

Os autores mostraram a evolução das pesquisas na área de ensino de Biologia, apontando os diferentes momentos do foco das pesquisas que tinham como objeto de pesquisa, esses grupos exotéricos. Entenderam que a relação entre os resultados de pesquisa em ensino de Ciências e o que é ensinado nas escolas pode ser interpretada como uma circulação intercoletiva de conhecimentos, de ideias e práticas entre a produção do grupo esotérico, os pesquisadores do ensino de Biologia e os grupos exotéricos professores de Biologia do Ensino Médio.

Em um trabalho posterior Slongo e Delizoicov (2010) analisaram a produção acadêmica em Ensino de Biologia desenvolvida em programas de pós-graduação no Brasil, no período entre 1972 a 2000. Analisaram, por meio de um estudo histórico-epistemológico, 77 pesquisas de um universo de 130 documentos localizados. Para subsidiar a fundamentação no estudo da produção acadêmica em Ensino de Biologia, os autores levaram em conta pesquisas que investigaram teses e dissertações nas áreas da Educação, Educação Matemática e Ensino de Ciências. Utilizando as categorias *EP*, *CP*, *circulação intracoletiva* e *intercoletiva de pensamento*, os autores argumentaram que os grupos de pesquisadores em Ensino de Biologia podem ser compreendidos como CPs que compartilham premissas epistemológicas, educacionais e metodológicas, as quais foram sendo transformadas na medida em que a área de Ensino de Biologia foi se constituindo.

Assim, nos trabalhos analisados até o ano de 2000, os autores apontam a possibilidade de estarem diante de dois EPs que parecem estar norteando a pesquisa em ensino de Biologia. O primeiro estilo apontado pelos autores é caracterizado por pesquisas que priorizam aspectos epistemológicos não empiristas. Estes estudos identificados pelos autores focam o processo de aprendizagem, por exemplo, identificando concepções alternativas e formas de superá-las com algumas relacionadas com o desenvolvimento histórico dos conceitos/teorias em análise. Uma lacuna evidenciada pelos autores é que estes estudos mantêm uma interlocução muito restrita com as outras áreas da educação como Filosofia e Sociologia da Educação. Por sua vez, a circulação intracoletiva de idéias ocorre em grande número com pesquisadores em Ensino de Ciências/Biologia em âmbito internacional.

O segundo estilo, além de buscar evidenciar os aspectos epistemológicos, também contempla reflexões com referenciais da Filosofia e Sociologia da Educação. Os principais aspectos priorizados pelas pesquisas deste EP foram: o processo de formação de professores, os currículos e programas, as metodologias de ensino, os recursos didáticos, dentre outros. Observa-se, ainda, que as pesquisas pertencentes a este EP mantêm uma intensa circulação intracoletiva e intercoletiva de idéias, havendo o predomínio de autores nacionais, tanto na área de Ensino de Biologia quanto na área de Educação Geral.

A pesquisa realizada pelos autores aponta algumas lacunas detectadas que podem influenciar o desenvolvimento da área de ensino de Biologia, como: a falta de uma interlocução maior da área de ensino Ciências/Biologia com os referenciais da Filosofia e Sociologia da Educação, ou seja, nesta ótica foi detectada praticamente a inexistência de pesquisas, que investigam o que ensinar articulado ao por que ensinar Biologia. Ou seja, faltam reflexões que contemplem as finalidades ou a função social da educação científica. Outro ponto relevante considerado na pesquisa é uma maior necessidade de pesquisas que mostrem a articulação existente entre o círculo esotérico formado por pesquisadores em Ensino de Biologia e o círculo exotérico formado por professores de Biologia, analisando o processo de disseminação e incorporação dos resultados anunciados pelas pesquisas nas práticas de ensino de Biologia na escola básica. Por fim, os autores apontam a falta de pesquisas na área de genética/biotecnologia e as implicações de ordem ética econômica e social; os autores esperam que após o ano de 2000 muitas destas lacunas já estejam sendo superadas.

Lorenzetti e Delizoicov (2006) apresentam um panorama da pesquisa em Educação Ambiental no Brasil, a partir da localização de dissertações e teses produzidas em educação ambiental nos distintos programas de pós-graduação, identificando os autores dos trabalhos, seus orientadores, as instituições de ensino, os programas de pós-graduação e as temáticas envolvidas nas pesquisas. Analisam também os resumos de 132 dissertações de mestrado dos programas de Educação da Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, da Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT e do mestrado em Educação Ambiental da Fundação Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Segundo os autores, os dados sugerem a emergência

da pesquisa em Educação Ambiental aliada aos grandes eventos relacionados à área como a Rio-92 e à divulgação dos Parâmetros Curriculares Nacionais – PCNs, que têm o Meio Ambiente e Saúde como temas transversais. Entretanto, no final do artigo, os autores apenas sinalizam a utilização da categoria *EP* na caracterização da área de Educação Ambiental.

d) Divulgação Científica

Esta categoria é representada por um trabalho que utiliza Fleck como referencial na fundamentação da divulgação científica. Nascimento (2005) busca caracterizar as condições de produção dos textos de divulgação científica, tendo como apoio em categorias da Análise do Discurso e da epistemologia de Fleck. Deste modo, a autora apresenta um esquema em que a divulgação científica é compreendida em termos de circulação intercoletiva de ideias, ou seja, pelo fluxo de informações que ocorre entre o círculo esotérico e o círculo exotérico de não especialistas. Além disso, discute as implicações das mediações realizadas durante a produção dos textos de divulgação e sua inserção na sala de aula.

e) Epistemologia Fleckiana

Esta categoria *epistemologia fleckiana* representa os trabalhos que descrevem a epistemologia fleckiana.

Delizoicov et. al (2002), na primeira parte do artigo, apresentam a epistemologia Fleckiana, bem como o seu contexto de produção, definindo as principais categorias epistemológicas de Fleck (EP, CP, circulação intercoletiva e intracoletiva de ideias e práticas, círculos esotéricos e exotéricos). Na segunda parte do artigo é feita uma breve análise das diferenças e semelhanças das epistemologias de Fleck e Kuhn. Na parte final, são apresentadas algumas pesquisas realizadas na área de educação em Ciências e saúde utilizando Fleck como referencial teórico, bem como as potencialidades de sua epistemologia na investigação de problemas da área de ensino de Ciências.

Pfuetzenreiter (2002) analisou as metodologias empregadas nos trabalhos de Backes (2000), Cutolo e Delizolico (1999), Cutolo (2001), Da Ros e Delizoicov (1999), Da Ros (2000) e Koifmam (2001) da área da saúde. Ela questiona os trabalhos, no que diz respeito ao EP, pois nessas pesquisas foram encontradas uma variedade e diferenças de quantidades de *EP* que norteia os cursos e a produção acadêmica em saúde pública.

O estudo procura explicar a quantidade de *EPs* diferentes, a compreensão das interfaces e interrelações entre os três *EPs* ou categorias encontrados na Medicina, em relação ao processo saúde-doença (CUTOLO e DELIZOICOV, 1999; CUTOLO 2001), com os estilos estabelecidos na produção acadêmica em saúde pública (Da ROS e DELIZOICOV, 1999; Da ROSS, 2000) e na enfermagem (BAKES, 2000).

Pfuetzenreiter (2002) faz uma análise desses trabalhos, especialmente das mudanças ocorridas do primeiro artigo de Cutolo e Delizoicov (1999), para o trabalho de Cutolo (2001), percebendo que o segundo texto foi uma reelaboração do artigo anterior, incluindo outros dados, como a análise de currículo e de entrevistas. No primeiro artigo, foram identificados três *EPs* em Medicina, que no trabalho posterior, passaram a constituir três categorias que formam os *EPs*, a partir das visões de saúde e doença. Pfuetzenreiter (2002) apresenta a justificativa do autor, que argumenta que o fato do conceito de saúde ser uma construção ligada à cultura, os *EPs* seriam vinculados a valores práticos sociais. Neste estudo, indaga sobre os critérios que devem ser utilizados para determinar e diferenciar elementos caracterizadores de *EPs* e *EPs*, propriamente ditos.

A partir das indefinições mencionadas, Pfuetzenreiter (2002) adverte que é preciso que se formule com mais clareza o conceito de *EP*, a fim de garantir um maior consenso entre as pesquisas. Entretanto, entre o ano em que a autora submeteu o artigo e os trâmites para a publicação, o grupo ao qual pertencia estava estudando a epistemologia fleckiana, que com o passar do tempo, esta fragilidade do conceito de *EP* foi sendo superada.

2.4.2 Algumas Considerações

Esse levantamento procurou mostrar as tendências do uso da epistemologia de Ludwik Fleck como referencial na área de ensino de Ciências. A partir da análise dos artigos publicados nos periódicos, percebemos um considerável número de trabalhos na área de Ciências Biológicas e Saúde, destacando-se um maior número de pesquisas relacionadas à história de fatos científicos e a formação de professores.

Uma possível justificativa pelo maior número de trabalhos estar relacionado a Ciências Biológicas e a área da Saúde é que o modelo epistemológico de Fleck tem sua gênese na Medicina, uma vez que o próprio Fleck era médico e os primeiros trabalhos com sua epistemologia foram no campo da Medicina. Então, poderíamos inferir que os *EPs* dos coletivos de saúde pública e de Biologia, aqui explicitados, enquadram-se com mais facilidade com o *EP* fleckiano.

No entanto, como foi explicitado anteriormente, epistemologia de Fleck pode ser utilizada para compreender a estrutura e a organização de grupos sociais, como o de professores. O trabalho de Scheid et al (2007) mostrou essa possibilidade, quando interpreta a concepção de ciência dos estudantes de graduação em um curso de Ciências Biológicas. Segundo Fleck (1986), a maneira como o sujeito encara o objeto está permeada de questões culturais e sociais. No caso do trabalho de Scheid, uma das questões analisadas foi a forma com que os estudantes interpretam o modelo do DNA, mostrando que esta interpretação está relacionada a valores sociais e culturais. Da mesma forma, podemos perceber na análise dos fatos científicos, como o movimento do sangue no corpo humano, os diversos modelos propostos por vários cientistas estavam imersos nos valores socioculturais destes, ou seja, pelo *EP* de cada época, pela circulação intercoletiva e intracoletiva de ideias. Isto mostra que a construção do conhecimento científico não é uma atividade neutra, individual e atórica.

Essas características da construção do conhecimento científico reforçam a ideia de se fazer uma reformulação na concepção de ciência dos livros didáticos, dos cursos de formação inicial e continuada de professores e da divulgação científica, que, infelizmente, transmite uma imagem distorcida da natureza da ciência. Ou seja, os estudos realizados mostram que a epistemologia de Ludwik Fleck apresenta-se como

adequada para, a partir de um olhar sociológico, analisar a construção do conhecimento científico e de CPs de professores e pesquisadores.

Mostra-se também importante a consideração feita por Pfuetzenreiter (2002) sobre a necessidade de se formular com mais clareza o conceito de *EP*, a fim de garantir um maior consenso entre as pesquisas. A autora comenta que existem poucos grupos de pesquisa que desenvolvem trabalhos utilizando Fleck como referencial teórico, o que é constatado neste levantamento: apenas um trabalho em ensino de Química e a inexistência de trabalhos na área de ensino de Física e outras áreas da ciência.

Diante dessas constatações, sugere-se a utilização desse referencial teórico em outras áreas do conhecimento. Particularmente, no caso da Física uma sugestão seria trabalhar com temas de Física de repercussão social, como por exemplo, o desenvolvimento histórico do princípio da conservação da energia.

2.5 Diferenças e semelhanças entre as epistemologias de Fleck e Kuhn

O nosso objetivo nesta seção é apresentar as diferenças e semelhanças entre as epistemologias de Fleck e Kuhn, preparando o leitor para o entendimento da seção seguinte, na qual faremos uma crítica ao trabalho feito por Kuhn sobre a história da conservação da energia, intitulado: “*A descoberta simultânea do Princípio da Conservação da Energia*”. Além das críticas feitas ao trabalho de Kuhn, a idéia é mostrar os possíveis avanços que uma análise a partir da epistemologia de Fleck pode dar na construção histórica do princípio da conservação da energia.

A obra de Fleck começa a ser conhecida depois de três décadas de sua publicação, quando Kuhn em sua famosa obra “*A Estrutura das Revoluções científicas*” referencia Fleck:

[...] Apenas através dela eu poderia ter encontrado a monografia quase desconhecida de Ludwik Fleck, *Entstehung und Entwicklung einer wissenschaftlichen Tatsache*, (Basileia, 1935), um ensaio que antecipa muitas de minhas próprias idéias. O trabalho de Fleck, juntamente com uma observação de outro Junior Fellow, Francis X. Sutton, fez-me compreender que essas idéias podiam necessitar de uma colocação no âmbito da sociologia da comunidade científica. Embora os leitores encontrem poucas referências a qualquer desses trabalhos ou conversas, devo a eles mais do que me seria possível reconstruir ou avaliar neste momento (KUHN, 1962, p.11).

Entretanto, Kuhn não dialogou de forma mais direta com a obra de Fleck. Alguns anos após a publicação de “*A estrutura das revoluções científicas*”, admitiu dificuldades de compreensão da obra de Fleck “*A gênese e o desenvolvimento de um fato científico*” devido não apenas ao alemão, mas pelo complexo vocabulário da área de Medicina e Bioquímica.

A pesquisa de Thomas Kuhn (2006) sintetizada em sua obra “*A Estrutura das Revoluções Científicas*” (1962) foi precursora na construção das idéias sobre o desenvolvimento científico, na qual criticou o positivismo lógico na filosofia da ciência e a historiografia tradicional. Kuhn defende a ideia de que a observação é antecedida por teorias, apontando a inseparabilidade entre pressupostos teóricos e observações.

Kuhn acredita que não existe uma justificativa lógica para o método indutivo e, assim como outros estudiosos, representa uma oposição à postura puramente empirista-indutivista da ciência. Para Kuhn, a ciência segue o seguinte modelo de *desenvolvimento*: “Uma sequência de período de *ciência normal*, na qual a *comunidade de pesquisadores* adere a um *paradigma*, interrompidos por *revoluções científicas*”. Os episódios extraordinários são marcados por *anomalias*, *crises no paradigma* dominante, culminando com sua ruptura.

A obra de Kuhn “*estrutura das revoluções científicas*” foi criticada por vários estudiosos, dentre eles Masterman (1979) que constatou a ambiguidade apresentada pelo autor na palavra paradigma, que foi utilizada por pelo menos vinte e uma formas diferentes. Na obra de Kuhn, a palavra paradigma assume significados, como: conjunto de idéias e práticas científicas de uma comunidade; modelo ou padrão aceito.

A ciência normal é a tentativa de forçar a natureza a encaixar-se dentro dos limites preestabelecidos e relativamente inflexíveis fornecidos diretamente pelo paradigma. A ciência normal não tem como objetivo trazer à tona novas espécies de fenômeno; na verdade, aqueles que não se ajustam aos limites do paradigma, frequentemente, nem são vistos. A ciência normal restringe drasticamente a visão do cientista, pois as áreas investigadas são certamente minúsculas (KUHNS, 2006, p. 44 - 45).

Uma comunidade científica, ao adotar um paradigma, adquire também um critério para a escolha de problemas que, enquanto o paradigma for aceito, pode ser considerado como dotado de uma solução possível. Um dos motivos pelos quais a

ciência normal parece progredir é o de que seus praticantes se concentram em problemas que somente com a sua falta de habilidade pode impedir de resolver.

A imagem da ciência normal, concebida por Kuhn é a de uma atividade extremamente conservadora, na qual há uma adesão estrita e dogmática a um paradigma. Mas, para Kuhn, essa rigidez é necessária para um progresso científico.

Alguns exemplos de ciência normal apresentados por Kuhn são: a astronomia durante a idade média (paradigma ptolomaico); a mecânica nos séculos XVIII e XIX (paradigma newtoniano); a ótica do século XIX (paradigma ondulatório); a teoria da relatividade do século XX (paradigma relativístico).

Há períodos nos quais o quebra-cabeça da ciência normal fracassa em produzir os resultados esperados. Quanto maior for a precisão e o alcance de um paradigma, tanto mais sensível será como indicador de anomalias e, conseqüentemente, de uma ocasião para a ocorrência de outro paradigma.

Kuhn dá três exemplos na história da ciência, de crise e emergência de um novo paradigma:

1. Fim do século XVI: fracasso do paradigma ptolomaico e emergência do paradigma copernicano
2. Fim do século XVIII: substituição do paradigma flogístico pelo paradigma de Lavoisier
3. Início do século XX: fracasso do paradigma newtoniano e surgimento do paradigma relativístico.

Uma teoria científica, após ter atingido o status de paradigma, somente é considerada inválida, quando existe uma alternativa disponível para substituí-la. Decidir rejeitar um paradigma é sempre decidir aceitar outro. Essa transição é nomeada por Kuhn de revolução científica.

Durante o período de transição, o antigo e o novo paradigma competem pela preferência dos membros da comunidade científica e os paradigmas rivais têm uma diferente visão de mundo. A competição entre paradigmas concorrentes não pode ser feita passo a passo por imposição da lógica e de experiências neutras e, por isso, os procedimentos avaliativos não são dados pela ciência normal, pois estes dependem em

partes de um paradigma determinado que esteja em questão. Para Kuhn, a natureza do argumento científico envolve a persuasão e não a prova. Ele acredita que o cientista que adota um novo paradigma precisa ter fé na sua capacidade de resolver os problemas com os quais se defronta.

De um modo geral, os conceitos kuhnianos de paradigma e revolução científica e as noções Fleckianas de *EP* e transformação de *EP* apresentam semelhanças e diferenças. Quanto às semelhanças, um primeiro aspecto a chamar atenção, e até mesmo reconhecido por Kuhn, são as influências sociais presentes na produção do conhecimento científico. A partir desta idéia de que a ciência sofre influências sociais, outro ponto semelhante é a consideração de Fleck, para quem muitas teorias científicas apresentam duas épocas: uma clássica, em que há uma acentuada concordância – a harmonia das ilusões; e uma segunda fase, durante a qual as exceções começam a aparecer, ou seja, começam aparecer as complicações no EP vigente. Esta ideia é bem semelhante às categorias de ciência normal/revolução científica. Para Kuhn, a ciência normal segue o que foi estabelecido pelo paradigma, até que apareçam as discordâncias (anomalias) e instaura-se uma crise. Também para Fleck essas mudanças ocorrem nestes momentos de confusão.

Outra semelhança de Fleck presente em Kuhn é o papel dos manuais na formação dos cientistas, que impressionou Kuhn ao reler o livro de Fleck. Também presente na obra de Fleck e utilizado por Kuhn é o conceito de Gestalt. Entretanto, Fleck não radicaliza este conceito como Kuhn. Para Fleck, se Gestalt nos impede de ver o que o outro vê imediatamente a partir de seus pressupostos, não significa dizer que impeça de ver radicalmente. Essa radicalidade é exposta por Kuhn pela metáfora pato/coelho, “patos no mundo do cientista antes da revolução, são coelhos depois dela” (Kuhn, 2006, p.148) fortalecendo a ideia de incomensurabilidade e ruptura revolucionária.

O conceito de *paradigma* encontrado em Kuhn, também é encontrado em Fleck; no entanto, não é tão valorizado em Fleck. Para Fleck, a palavra *paradigma* é usada como descoberta. Embora não privilegie fortemente a expressão, ele dá início à ideia de *paradigma* apresentada por Kuhn. Segundo Fleck, uma determinada produção científica pode vir a se tornar paradigma, como por exemplo, a descoberta da reação de

Wassermann como paradigma para se fazer ciência. Segundo Condé (2005) a noção de paradigma de Fleck, é semelhante à noção de matriz disciplinar desenvolvida posteriormente por Kuhn no posfácio de “A Estrutura das Revoluções Científicas”, com o intuito de corrigir o próprio conceito kuhniano de *paradigma*.

Segundo Delizoicov (2002) o termo paradigma utilizado por Fleck não está associado ao termo EP, mas já o termo utilizado por Kuhn está associado à categoria *EP*. No entanto, o termo *EP* se diferencia de paradigma Kuhniano por considerar não somente o desenvolvimento histórico das ciências maduras, mas também ideias de outros campos do saber, como explicitamos na seção 2.3.1.

Isso é condizente com as críticas feitas a alguns epistemólogos das ciências sociais, que utilizam os termos da epistemologia kuhniana, em especial o termo paradigma, de forma não fiel das intenções propostas na Estrutura das Revoluções científicas. De acordo com Assis (1993), não tem sentido nenhum aplicar o modelo de desenvolvimento científico de Kuhn às ciências sociais, porque não está propondo um modelo, que deva ser articulado e expandido para outras áreas. Ele está propondo um modelo para a racionalidade humana e apenas usa exemplos retirados das ciências naturais por conveniência de exposição.

Nesse sentido, a categoria *EP* de Fleck pode vir a dar uma contribuição maior do que Kuhn ao desenvolvimento da nossa questão de pesquisa relacionada com a aproximação das Ciências Humanas com as Ciências Naturais, pois o autor deixa explícito o uso dessa categoria para outras ciências, como explicado anteriormente.

Segundo Condé (2005), a teoria da ciência de Fleck, além de sua própria experiência como cientista, forma-se a partir de quatro pontos: 1) a crítica ao positivismo lógico; 2) a influência recebida pela escola de Filosofia e História da Medicina Polonesa; 3) a Sociologia, sobretudo de K. Mannhein, de quem Fleck extrai o conceito de *EP*; 4) pelo darwinismo.

De acordo com o autor, as diferenças entre Kuhn e Fleck têm relação com as distintas influências por eles recebidas, além das divergências das comunidades científicas às quais pertenceram. Kuhn pertencia a uma comunidade de historiadores do século XX, que tinha uma tradição historiográfica revolucionária, inaugurada por autores como Koyré, enquanto Fleck não se inseriu nesta tradição.

Quando o livro de Fleck foi publicado em 1935, a historiografia da ciência ainda não havia legitimado a expressão “revolução científica”. No entanto, sua epistemologia dá conta de explicar porque a ciência desenvolve-se, ampliando e modificando-se. Para Fleck, não há propriamente uma “revolução científica;” ao contrário, a ciência apresenta um desenvolvimento gradual com avanços e retrocessos, ou seja, de maneira descontínua. Enquanto para Kuhn a dimensão “revolução” faz parte do desenvolvimento da ciência, explicando como se organizam os paradigmas que atuam em mundos diferentes, conduzindo a incomensurabilidade e consequentemente, a uma visão descontínua do conhecimento científico.

Em vez da incomensurabilidade, Fleck reconhece a “dificuldade de comunicação” entre os diferentes EPs, mas não a impossibilidade total de comunicação, pois a circulação de ideias de diferentes EPs garante a possibilidade de entender o processo de construção de novos fatos. É importante também salientar que Kuhn não defendeu uma incomensurabilidade total entre teorias, pois de acordo com o autor:

Os proponentes de paradigmas competidores praticam seu trabalho em mundos diferentes (...) Praticando em mundos diferentes, os dois grupos vêem coisas diferentes quando olham para o mesmo ponto, na mesma direção (...) antes que eles possam esperar comunicar-se completamente, um grupo ou o outro deve experimentar o que vimos chamando de mudança de paradigma (KUHN, 2006).

No entanto, Kuhn não faz em sua epistemologia uma exposição mais abrangente de como poderia ocorrer, mesmo com as dificuldades, a comunicação entre paradigmas distintos. Já a epistemologia Fleckiana, ao contrário de Kuhn, propõe a categoria circulação intercoletiva de ideias e práticas, ficando evidente como poderia ocorrer a comunicação entre EPs diferentes.

De acordo com Condé (2005, p.123-146), Fleck entende o desenvolvimento científico como uma “evolução” ou “mutação” da ciência, ou seja, sua teoria da ciência tem característica darwinista. A ciência opera analogicamente a um sistema biológico. O conhecimento evolui de um EP ao outro. Desta forma, podemos ver características de um determinado EP em EPs antigos. Um EP pode conter as protoideias que constituirão novas ideias, conceitos e teorias de um novo EP. A ideia de átomo da

Física contemporânea teve sua protoideia entre os gregos. Da mesma forma que outros conceitos como o de sífilis também tiveram suas protoideias em *EPs* anteriores.

A oposição das ideias de Kuhn como uma teoria da ciência de caráter revolucionário e a de Fleck como evolucionária tende a desaparecer, na medida em que Kuhn procura sanar os problemas enfrentados na sua teoria da ciência e, neste processo, aproxima-se mais de Fleck. Assim, Kuhn procura seguir uma perspectiva epistemológica evolucionária, já que nesta perspectiva o conhecimento não é mais visto como uma ruptura, mas de modo semelhante à Fleck, como uma especialização. Para Kuhn, a especialização é a evolução de um novo ramo, uma nova espécie que se constitui diferenciando-se de sua origem:

Em primeiro lugar, as revoluções que produzem novas divisões entre campos no desenvolvimento científico são muito semelhantes a episódios de especiação na evolução biológica. O paralelo biológico da mudança revolucionária não é a mutação, como pensei por muitos anos, mas a especiação (KUHN, 2006b, p. 124-125).

Percebemos que Kuhn não abandona completamente a perspectiva revolucionária; no entanto, se aproxima mais da perspectiva evolucionária, principalmente em relação ao segundo paralelo que faz entre o desenvolvimento biológico e científico, referindo-se a uma unidade que sofre uma especiação, ou seja, no caso biológico é uma população isolada do ponto de vista reprodutivo que garante tanto a autoperpetuação da população, quanto seu isolamento continuado. No campo científico, a unidade é a comunidade de especialista que se intercomunica, uma unidade, cujos membros compartilham uma linguagem, que fornece a base tanto para a condução, quanto para a avaliação de sua pesquisa dentro de determinada comunidade caracterizada por determinados termos, protocolos e valores.

2.5.1 Fleck e Kuhn: Análise epistemológica da construção do conceito de energia

Estudar o desenvolvimento histórico do princípio da conservação da energia é de fundamental importância, pois foi a partir dele que houve a emergência do conceito de

energia. O conceito de energia é um elemento de ligação entre diferentes partes da Física, bem como possibilita estabelecer relações com outras áreas do conhecimento. Segundo Angotti (1991), “é o conceito de energia que sinaliza para o mais sofisticado princípio da termodinâmica, o do crescimento da entropia, princípio atualmente considerado como grande inspirador para os avanços da pesquisa em Ciência e Tecnologia”.

O entendimento do conceito de energia surge em uma época do século XIX, em que as pesquisas no campo da Física estavam dentro dos termos de referência estabelecidos por Isaac Newton. Nesta época, utilizando a expressão kunhiana, não houve nenhuma revolução científica. A ciência continuou nas linhas de pesquisa, seguidas no século XVIII, ou expandindo as antigas descobertas incompletas em sistemas teóricos mais amplos. A mais importante das construções teóricas foi a descoberta das leis da termodinâmica, as relações entre calor e energia (HOBBSAWM, 1977, p. 388).

O estabelecimento do princípio da conservação da energia surge pela integração de áreas do conhecimento científico, aparentemente, desconexa. É nesse momento que a termodinâmica e o conceito de energia têm um grande avanço. Para Fleck (1986), a emergência de um fato científico se dá pelo trabalho individual que contribui para o coletivo, mediado por um *EP* inserido em um contexto histórico. E ainda, no início da emergência de um fato, há resistências da concepção dominante do CP, mediante os problemas novos encontrados, há uma confusão na forma de conceber o novo fato, o que para Fleck (2010, p. 144): “Assim nasce o fato: primeiro um sinal de resistência no pensamento inicial caótico, depois certa coerção de pensamento e, finalmente, uma forma (Gestalt) a ser percebida de maneira imediata.”

O surgimento do fato pode ocorrer pela circulação inter e intracoletivas de ideias e práticas, ou seja, pela divulgação dos trabalhos dos cientistas em revistas científicas, palestras, conferências. Isto é corroborado por Martins (1984) para quem, para se chegar ao princípio da conservação da energia, foi necessário o trabalho de muitos pesquisadores que contribuíram de diferentes formas para a elaboração da teoria e a sua fundamentação experimental.

Kuhn (1977) no seu livro *“A Tensão Essencial”* escreve o capítulo 4 denominado: “A conservação da energia como exemplo de descoberta simultânea”. Neste capítulo, que passaremos a analisar agora, Kuhn descreve sucintamente a contribuição dos vários pesquisadores no estabelecimento do princípio da conservação da energia. Apesar de o título suscitar uma “descoberta simultânea”, Kuhn (1977, p. 107) alerta: [...] “O que vemos nos seus trabalhos não é realmente a descoberta simultânea da conservação da energia. É antes a emergência rápida e, muitas vezes, desordenada dos elementos experimentais e conceituais a partir dos quais essa teoria em breve se iria constituir”.

A preocupação de Kuhn não era saber quem realmente teria descoberto primeiro o princípio da conservação da energia, mas por que razão, nos anos de 1830 a 1850, tantos experimentos e conceitos exigidos para uma afirmação completa da conservação da energia se encontraram tão perto da consciência científica.

Para Kuhn (1977), existem dois momentos fundamentais para a construção do princípio da conservação da energia. Um entre 1800 e 1842, em que o princípio de convertibilidade das várias forças, em especial de calor em trabalho, era compartilhado por vários pesquisadores da época (C. F. Mohr, William Grove, Faraday e Liebig) sem, contudo, envolver a ideia de conservação. Essa “força”, mais tarde, viria a ser chamada pelos cientistas de energia.

O outro momento, entre 1842 e 1847, em que ocorre a descoberta simultânea do princípio da conservação da energia, é marcado pela “generalidade na formulação” e “aplicações quantitativas concretas”, características que fez do princípio da conservação da energia uma das descobertas mais importantes da história da ciência.

Essa generalidade na formulação e aplicações quantitativas concretas pode ser exemplificada em Martins (1984), na sua análise feita do primeiro artigo publicado por Mayer (1842), no qual enfatiza como um princípio filosófico, a ideia de que alguma coisa deve se conservar nas transformações físicas. Ele justifica essa ideia a partir dos princípios metafísicos de que “nada pode surgir do nada”, e “a causa é igual ao efeito”. Um exemplo da quantificação é do cálculo feito por Mayer do equivalente mecânico do calor como sendo: $1 \text{ cal} = 3,6 \text{ J}$, que atualmente é $4,18 \text{ J}$.

A descoberta desse princípio se deu de forma desordenada do surgimento de elementos experimentais e conceituais por alguns cientistas como Mayer, Joule, Colding, Helmholtz, Sadi Carnot, Marc Séguin entre outros.

Kuhn (1977, p. 106) comenta que os cientistas não trabalharam de forma independente e que Grove e Helmholtz conheciam o trabalho de Joule e citaram nas suas publicações de 1843 e 1847. O mesmo acontece com Joule e Faraday. Segundo Martins (1984), suspeita-se que as idéias de Faraday tenham influenciado Joule, pois os primeiros trabalhos de Joule foram o estudo das reações químicas e fenômenos eletromagnéticos que eram semelhantes aos trabalhos de Faraday.

No entanto, Kuhn (1977, p. 106) acrescenta que: “...Estas interdependências, pelo menos identificáveis, parecem pouco importantes”. Através desta passagem, percebemos que Kuhn não valoriza a *circulação intracoletiva e intercoletiva de ideias*, o que para Fleck é um fator importante na construção de um fato científico. Para Fleck (1986), a interação entre os membros de um coletivo e entre aqueles de distintos coletivos se dá pela *circulação intercoletiva de ideias*. A circulação de ideias pode contribuir para instauração, extensão e transformação de um *EP*.

Segundo Kuhn (1977), existem três fatores significativos que desencadearam a descoberta simultânea do princípio da conservação da energia: a disponibilidade dos processos de conversão, a preocupação com motores e o movimento Naturphilosophie¹⁰. O primeiro fator retrata uma época marcada pela descoberta de vários processos de conversão entre as diferentes formas de energia. O segundo fator, a preocupação com os motores, o que para Kuhn é um produto secundário da revolução industrial e que este aspecto da ciência foi determinante na formulação quantitativa da conservação da energia. O conceito de trabalho vindo da tradição da engenharia forneceu um pano de fundo para a quantificação da energia.

O terceiro fator foi o movimento Naturphilosophie que buscava o princípio unificador de todos os fenômenos, usando o “organismo” como metáfora. Oersted, um Naturphilosoph, persistiu na relação entre a eletricidade e o magnetismo devido à sua convicção filosófica de que tal relação existia. Podemos dizer, a partir da epistemologia

¹⁰ O movimento Naturphilosophie tinha uma perspectiva filosófica romântica contrária ao mecanicismo newtoniano.

de Fleck, que esse movimento representava o EP da época, que determinou a forma do CP (comunidade de indivíduos) olhar para o objeto de conhecimento.

Apesar de Kuhn considerar que a preocupação com os motores e o movimento Nathurphilosophie contribuíram para a emergência do princípio da conservação da energia, não aprofunda como estes fatores poderiam ter influenciado o estudo dos cientistas, que culminou no estabelecimento deste princípio. Isto se confirma, quando dizia estar seguro na influência dos dois primeiros fatores (disponibilidade dos processos de conversão e a preocupação com motores) no estabelecimento do princípio da conservação da energia, afirmando que suspeita que o terceiro (Movimento Nathurphilosophie) também é importante. Neste caso, parece haver a confluência de EPs, ou seja, CPs diferentes que tratam do mesmo problema:

[...] As corporações de ofício representam, de forma expressiva, comunidades voltadas para a prática; é instrutivo constatar como, de acordo com a atividade profissional, problemas práticos semelhantes são resolvidos de maneira diferente. Uma rachadura no revestimento, por exemplo, é algo bem diferente para um pintor e pedreiro. O pintor vê apenas os danos de superfície e os trata como tais; o pedreiro pensa no conjunto da parede e tende, também na prática, a intervir na profundidade da parte interna: o aspecto estilístico do pensamento dos mesmos aparece em cada aplicação (FLECK, 2010, p.156).

Essa ideia de confluência de EP é considerada uma vantagem da utilização da epistemologia fleckiana em relação a Kuhn para a análise do princípio da conservação da energia. Além disso, Kuhn não faz um estudo com a finalidade de esmiuçar o interesse dos industriais ao financiar muitas pesquisas de construção e aperfeiçoamento de motores. Em uma rápida passagem, apenas aponta o interesse do governo francês nas máquinas a vapor.

Essa forma de abordar a história desse episódio científico pode ser explicada pela sua epistemologia. Para Kuhn, mesmo que os fatores externos possam influenciar a produção do conhecimento científico, as comunidades científicas são relativamente independentes da esfera sociopolítica mais ampla. Ele restringe o seu externalismo às comunidades científicas, não priorizando em sua epistemologia as questões econômicas e políticas fora das comunidades científicas. Esta interpretação é

corroborada com a de Medonça e Videira (2007), os quais afirmam que Kuhn foi um defensor de uma explicação internalista da ciência.

Acreditamos que, no aspecto externalista, a teoria de conhecimento de Fleck dá conta de fazer uma análise mais aprofundada dessa relação, por considerar, como vimos anteriormente, os fatores externos como elementos primordiais na relação sujeito-objeto, no processo de construção do conhecimento:

A teoria comparada do conhecimento não deve considerar o processo do conhecimento como uma relação binária entre sujeito e objeto, entre o ator do conhecimento e algo a ser conhecido. O respectivo estado do saber, enquanto fator fundamental de cada conhecimento novo deve entrar como o terceiro elemento nessa relação. Caso contrário, não haveria como entender de que maneira se chega a um sistema de opinião fechado e conforme a um estilo e por que se encontram predisposições para um determinado saber no passado que não eram legitimadas por razões “objetivas” (pré idéias) (FLECK, 2010, p. 81).

Para Fleck, um fato não pode ser uma pura descrição que o sujeito, isoladamente, faz de seu objeto, mas é observado por um *EP* que sofre um reforço social do CP. Desse modo, um conceito e um fato científico nunca é algo isolado. A influência mútua de diferentes estratos sociais de épocas distintas inter-relaciona com o *EP* dominante que contribui para o entendimento de um conceito científico (FLECK 1986, p.48). Falamos de um *EP* que determina a formulação de um conceito científico. No caso do princípio da conservação da energia, podemos falar dos *EPs* que contribuíram para a formulação do conceito de energia.

No caso particular da análise da construção do princípio da conservação da energia, essas categorias assumem um papel importante, porque para o estabelecimento deste fato, houve a contribuição de diferentes CPs, inseridos no período de “ciência normal” - o mecanicismo newtoniano - e o movimento *Nathurphilosophie*.

Na construção do princípio da conservação da energia, tínhamos a coexistência de paradigmas diferentes, com cientistas trabalhando em áreas distintas do conhecimento, como Mayer na Medicina, Joule na “engenharia”, além de outros físicos, químicos e biólogos. O fato de Kuhn não se aprofundar nas possíveis interações entre esses grupos com diferentes abordagens científicas e filosóficas pode ser devido à sua

categoria epistemológica incomensurabilidade, ou seja, da quase impossibilidade de comunicação entre estes diferentes paradigmas. Ao contrário, Fleck admite que, mesmo com a dificuldade, existe a possibilidade de comunicação entre os diferentes EPs de pensamento, enfatizando que, com a circulação de ideias e práticas entre diferentes *EPs* pode-se instaurar, transformar e surgir um novo *EP* e fato científico, quando se enfrentam determinados problemas, caracterizados por Fleck como complicações.

Além dos possíveis EPs (mecanicismo newtoniano, movimento *Nathurphilosophie*), também o “tecnicismo” influenciou substancialmente a prática científica de vários cientistas da época. Para Kuhn, estas influências parecem ser secundárias na produção do conhecimento; ao contrário, para Fleck estes fatores são primordiais na construção do conhecimento, pois a relação sujeito-objeto é permeada pelas condições socioculturais.

CAPÍTULO 3: UMA ANÁLISE DOS TRABALHOS DE JAMES PRESCOTT JOULE NA PERSPECTIVA HISTÓRICO-SOCIOCULTURAL

3.1 Introdução

O objetivo do presente capítulo é fazer um estudo histórico-sociocultural, numa perspectiva fleckiana dos trabalhos de James Prescott Joule. Neste sentido queremos explorar o papel da circulação intracoletiva e intercoletiva de ideias e práticas dos coletivos, da qual Joule participou e interagiu. Mostraremos os problemas enfrentados que contribuíram para o processo de instauração e transformação de estilos de pensamento no decorrer do desenvolvimento da sua obra científica até as suas contribuições para o estabelecimento do princípio da conservação da energia. Assim, procuraremos responder a primeira questão da pesquisa: Quais foram os elementos conceituais, experimentais, sociais e culturais que influenciaram o trabalho de Joule?

Para tanto, realizamos uma pesquisa por meio de fontes secundárias e primárias. As fontes secundárias principais utilizadas foram: *James Joule: A biography* de Donald S. L. Cardwell (1989); *James Prescott Joule and The Concept of Energy* de Henry de John Steffens (1979). Os artigos de *Joule's Scientific Outlook* (1952) de Leon Rosenfeld; *Les gestes de la mesure: Joule, les pratiques de la brasserie et la science* de H. Otto Sibum and Ginette Morel (1998). Utilizamos como fontes primárias os artigos originais de Joule, da sua coletânea de artigos reunidos no: *Scientific Papers of James Prescott Joule* volumes I e II. Uma das metas é fazer uma abordagem tanto internalista como externalista, na perspectiva do realismo crítico de Ludwik Fleck.

Exploraremos os aspectos históricos e sociais que permearam o trabalho de Joule, apresentando um breve histórico do desenvolvimento da ciência no período da Revolução Industrial, bem como o desenvolvimento industrial de Manchester, onde Joule nasceu e cresceu. Em seguida mostraremos a importância e a influência cultural da cervejaria no trabalho de Joule, além de apresentarmos outros elementos teóricos, da prática técnico-científica de Joule, que influenciaram o seu trabalho. Os principais trabalhos de Joule analisados foram as suas investigações sobre a substituição do motor a vapor pelo elétrico, o famoso efeito Joule, as pesquisas sobre o equivalente

mecânico do calor e o impacto do seu trabalho na ciência inglesa, mostrando o papel de William Thomson no processo de aceitação dos trabalhos de Joule. E ainda, as contribuições do trabalho de Joule para a formulação do princípio da conservação da energia. Por fim, apresentaremos algumas considerações por meio da epistemologia fleckiana da evolução do trabalho de Joule, enfatizando a circulação de ideias e práticas dos vários coletivos e os processos de transformação e instauração de estilos de pensamentos (EP) que contribuíram para o estabelecimento do princípio da conservação da energia.

3.2 A Ciência e a revolução industrial na Inglaterra

Segundo Hobsbawm (1977, p 51), apesar das controvérsias entre os historiadores, uma investigação criteriosa levou a maioria dos estudiosos a entenderem que a Revolução Industrial surgiu na década de 1780, na Grã-Bretanha. Nesta década, houve uma transformação rápida dos bens de consumo e das relações de trabalho, fazendo a economia crescer substancialmente. Para o autor, não faz sentido perguntar quando ela se completou, uma vez que ainda prossegue assumindo significados diferentes do seu começo, no século XIX.

Uma das razões para a Revolução Industrial ter começado na Grã-Bretanha foi porque, tradicionalmente, mesmo com a Monarquia, a política da Inglaterra voltou-se para o desenvolvimento econômico; havia uma quantidade significativa de proprietários de terras com forte interesse comercial. O homem era visto mais como um comerciante do que um simples camponês que se dedicava a agricultura de subsistência. As relações de campesinato na Inglaterra eram diferentes das que aconteciam na França, na Alemanha e na Rússia, já que as atividades agrícolas estavam predominantemente voltadas para o mercado. O setor agrícola já estava preparado para exercer o papel do processo de industrialização, em três funções fundamentais:

Aumentar a produção e a produtividade de modo a alimentar uma população não agrícola em rápido crescimento; fornecer um grande e crescente excedente de recrutas em potencial para as cidades e as indústrias; e fornecer um mecanismo para o acúmulo de capital a ser usado nos setores mais modernos da economia (HOBSBAWM, 1977, p. 54-55).

A infraestrutura necessária para se adaptar à nova realidade da industrialização já estava sendo feita com a construção de navios, portos, estradas e novos meios de transportes. A finalidade básica era facilitar o escoamento do excedente de produção, a fim de aumentar as exportações e garantir o aumento do capital interno. Entretanto, ainda no século XVIII, a maior parte da expansão industrial não se caracterizou por um sistema fabril mecanizado, mas apenas atendia à demanda do mercado existente. Um exemplo foi a indústria de pequeno porte, como as produtoras de objetos de metal para uso doméstico, que se expandiram na Inglaterra central e na região de Yorkshire.

A primeira indústria a revolucionar foi a de algodão. Até a década de 1830, o algodão era a única indústria britânica em que predominava a fábrica ou o “engenho”. A máquina a vapor foi, pioneiramente, usada por volta de 1815 na mineração. Assim na década de 1830, a “indústria” e a “fábrica”, no sentido moderno, ainda significavam quase que exclusivamente, as áreas algodoeiras do Reino Unido.

Em outros setores como mercadorias de consumo, produtos têxteis, alimentos e bebidas, cerâmicas e outros produtos de uso doméstico, a Revolução Industrial fez-se presente, principalmente, no crescimento das cidades. Em termos de pessoal, estas indústrias empregavam muito menos pessoas do que as indústrias algodoeiras. Um exemplo eram as indústrias cervejeiras; um negócio técnico e, cientificamente, muito mais avançado e mecanizado que revolucionou muito antes da indústria algodoeira e afetou muito pouco a economia na época. Já a indústria algodoeira provocou o surgimento de outras inovações e indústrias como a de máquinas, eletrificação industrial, transportes e inovações químicas. Estas indústrias do ramo têxtil contribuíram para o crescimento econômico da Grã-Bretanha até a década de 1830 (HOBSBAWM, 1977, p.63-64).

Uma diminuição no crescimento industrial ocorreu na década de 1830 e início de 1840, talvez pelo declínio da renda nacional britânica neste período. As consequências principais desta crise foram as revoltas sociais, como o movimento das quebras das máquinas pelos trabalhadores da indústria. Os homens simples, que eram a mão de obra da indústria, julgavam que a razão dos problemas eram as máquinas. As revoltas sociais produziram as revoluções de 1848 no continente e os amplos movimentos

cartistas na Grã-Bretanha. A crise atingiu também os pequenos comerciantes e outros setores da economia (HOBSBAWM, 1977, p. 64-65).

Outro tipo de indústria que se destacou foi a metalurgia, no processo de obtenção de ferro e aço. Tal indústria teve grande força, principalmente, com a construção de ferrovias, motivadas pela mineração de carvão, que foi a principal fonte de energia industrial do século XIX. A produção de carvão foi impulsionada pelo crescimento das cidades, desde o final do século XVI. Em princípios do século XVIII, a indústria de carvão era moderna, principalmente, com o uso da máquina a vapor na região da Cornuália (HOBSBAWM, 1977, p. 70-75).

Com o processo de Industrialização, as relações de trabalho ficaram cada vez mais complexas. Inicialmente, o primeiro problema foi a saída do homem do campo para a cidade, provocando um aumento da população urbana; além do rápido aumento geral da população houve o aumento no fornecimento de alimentos, principalmente da agricultura doméstica, ou seja, uma revolução agrícola. No campo de trabalho na indústria, a dificuldade era conseguir trabalhadores qualificados, pois a maioria vinha do campo sem, praticamente, nenhuma instrução para trabalhar com maquinaria. A exploração de mulheres e crianças era uma constante, principalmente nos engenhos de algodão.

O avanço britânico, no início da Revolução Industrial, não se deu devido à superioridade tecnológica e científica; nas ciências naturais, os franceses estavam mais avançados. A Revolução Francesa foi incentivadora do desenvolvimento científico, principalmente, nas áreas de Física, Matemática e Ciências Sociais. O geômetra e engenheiro Lazare Carnot estava à frente da organização militar; o matemático e físico Monge era ministro da Marinha e uma equipe de matemáticos e químicos à frente da produção bélica (HOBSBAWM, 1977, p. 52, 384).

Já na Inglaterra, as principais indústrias foram as têxteis, de algodão, de carvão, do ferro, das ferrovias e da construção de navios mercantes e representaram os avanços mais transcendentais do século XIX (BERNAL, 1973). Diferentemente da França, os conhecimentos que revolucionaram estas indústrias foram de homens empíricos; George Stephenson, um super artesão, considerado o herói da ferrovia britânica, um intuitivo que por tentativas, projetava várias possibilidades de máquina a

vapor. Na época, houve várias tentativas de cientistas em estruturar as ferrovias em bases racionais e não simplesmente empíricas, mas não conseguiram grandes avanços (HOBSBAWM, 1977, p. 384-385).

A imensa riqueza na Inglaterra produzida pela Revolução Industrial tornou possível a criação de laboratórios particulares, como o de Henry Cavendish e o de James Prescott Joule. Houve também uma pressão geral das pessoas inteligentes da classe média por uma educação técnica e científica para obtenção de bons resultados; Associações, Sociedades e Institutos de ciências foram criados. O conde Rumford fundou a instituição Real, em 1799, dando possibilidades para o desenvolvimento da ciência experimental, principalmente, o que auxiliou os cientistas Humphry Davy e Michael Faraday. A criação da Sociedade Lunar de Birmingham, a Sociedade Filosófica e Literária de Manchester tiveram a contribuição de industriais nos Estados ingleses, além do Instituto mecânico de Londres, a Universidade de Londres e a Associação Britânica para o progresso da ciência (1831) (HOBSBAWM, 1977, p. 386)

A expansão da Revolução Industrial inglesa contribuiu para o avanço industrial e científico em outros países. Este processo colocou em destaque países como Noruega, com os matemáticos Henrik Abel, Janos Bolyai da Hungria e Nicolai Lobachevsky, da cidade de Kozan. Esta expansão permitiu aos cientistas permanecerem em seu país, saindo apenas para aperfeiçoamento ou para ministrar conferências. A comunicação entre os pares se dava, basicamente, através dos periódicos especializados, dos quais podemos citar alguns: as *Atas da Real Sociedade (1831)*, as *Comptes Rendues de L'Academie des Sciences (1837)*, as *Atas da Sociedade Filosófica Americana (1838)*, ou as *novas revistas especializadas tais como o Journal fur Reine und Angewandte Mathematick, de Grelle*, ou os *Anais de Química e Física (1797)* (HOBSBAWM, 1977, p. 386-387).

Segundo Hobsbawm (1977), as clássicas ciências físicas não sofreram revolução, seguiram basicamente o paradigma newtoniano ou continuaram as linhas de pesquisa do século XVIII. Um dos mais importantes campos abertos foi o da eletricidade: a descoberta¹¹ da corrente elétrica por Galvani em 1786; a construção da

¹¹ O termo “descoberta” aqui não é usado no sentido do empirismo-indutivismo, mas no sentido proposto pela epistemologia contemporânea.

bateria por Alessandro Volta em 1800; a conexão entre eletricidade e magnetismo por Oersted, em 1820. Outro avanço importante, de todas as sínteses teóricas, foi a descoberta das leis da termodinâmica e as relações entre calor e energia.

De acordo com Bernal (1973, p.23), os desenvolvimentos mais importantes da Física, no século XIX, foram a teoria da conservação da energia e a interconexão de suas distintas formas, ou seja, as ciências da termodinâmica e a eletrodinâmica se inspiraram no estudo das fontes utilitárias de energia e nasceram das necessidades de transporte e comunicação; apesar de que sua utilização mais abrangente, como base de uma indústria química e elétrica racional, aconteceu só no século XX.

De acordo com o mesmo autor, o começo do século XIX representou a união da Mecânica com a Astronomia; segundo as concepções de Newton e Galileu, a ciência acadêmica continuou sendo preponderante. A expansão da física newtoniana é explícita nos trabalhos de cientistas como Lagrange, Fourier, Hamilton e Gauss, na evolução da linguagem matemática para a descrição dos fenômenos físicos de caráter mais geral, como a eletricidade e o magnetismo na teoria cinética dos gases e nos fundamentos da termodinâmica.

Na eletricidade, iniciou-se uma nova era com o descobrimento da corrente elétrica por Galvani e Volta. O estudo da eletricidade veio constituir uma inesgotável linha de pesquisa de novos e apaixonantes fenômenos que serviram de verdadeiro estímulo para experimentos posteriores, do tipo qualitativo, culminando no desenvolvimento da teoria eletromagnética de Maxwell. Tal teoria foi uma tentativa de matematizar os fenômenos estudados por Faraday e de estabelecer interconexões matemáticas entre as teorias de Fresnel e de Gauss, bem como entre os sistemas de unidades elétricas e magnéticas de Weber (BERNAL, 1973, p. 28-29).

Esta teoria eletromagnética foi uma tentativa de matematizar os fenômenos estudados por Faraday e de estabelecer interconexões matemáticas entre as teorias de Fresnel e de Gauss, bem como entre os sistemas de unidades elétricas e magnéticas de Weber (BERNAL, 1973, p. 28-29).

Segundo Bernal (1973), a termodinâmica, segundo ramo principal da Física, é uma consequência direta do desenvolvimento e aperfeiçoamento da máquina a vapor. A produção econômica e a utilização da força mecânica foram resultados da inspiração

de Carnot, Joule, Rankine e Thomson. O desenvolvimento da primeira e segunda lei da termodinâmica beneficiou a indústria, que tomou forma com o motor de combustão interna e os primeiros experimentos com as técnicas de refrigeração. Estes dois ramos, o Eletromagnetismo e a Termodinâmica no século XIX, desenvolveram-se e ganharam novas formulações da Física atômica e aglutinaram-se nas generalizações de Einstein e Max Planck sobre a teoria quântica, no século XIX.

A Química foi uma das ciências que mais sofreu influência da Revolução Industrial, principalmente com a indústria têxtil em que os processos de tingimento e branqueamento eram requisitados, cujos criadores eram ligados a homens práticos, como Dalton na sociedade Filosófica e Literária de Manchester e Priestley na Sociedade Lunar de Birmingham. A Química, como a Física, foi uma ciência fortemente francesa; Lavoisier um dos seus principais representantes publicou seu *Tratado Elementar de Química* no próprio ano da revolução.

Os principais avanços antes de 1789 consistiram em estabelecer uma ordem elementar no emaranhado de experiências empíricas, através da elucidação de certos processos químicos fundamentais, como o oxigênio. A teoria atômica de Dalton (1803-1810) tornou possível a invenção da fórmula química, abrindo um vasto campo para o estudo de estruturas químicas. Apesar dos avanços, essa ciência ainda mantinha alguns métodos do século XVIII. Outras descobertas importantes da Química foram a descoberta por Lavoisier, de que a respiração é uma forma de combustão do oxigênio e, a síntese da Ureia, por Woehler, em 1828, que abriram um vasto campo para a Química Orgânica.

Já o desenvolvimento da engenharia foi caracterizado pelo desenvolvimento da indústria metalúrgica, que alimentou a indústria mecânica e de construção de máquinas. Um dos principais representantes deste ramo foi James Watt, o primeiro construtor profissional de máquinas. A sua associação com o industrial Matthew Boulton, em 1775, sinalizou a fundação da primeira empresa de construção de maquinaria. A indústria que estava nascendo tinha como objetivo a aplicação diversificada da força expansiva do vapor, a nova energia motriz gerada pela máquina a vapor. Era necessário, portanto, o seu aperfeiçoamento e o melhoramento da resistência dos materiais e a técnica dos métodos de trabalho. Ocorreram várias

melhorias sobre a máquina a vapor até chegar à turbina a vapor, no final do século XIX, além do aperfeiçoamento das máquinas, no campo da termodinâmica, resultante do desenvolvimento de conhecimentos práticos.

No que diz respeito ao trabalho com o metal e os elementos constituintes das máquinas, as conexões com a ciência foram limitadas. Os criadores das modernas máquinas e ferramentas, como Bramah, Maudslay, Whitworth, Roberts, Muir e Clements, eram operários que utilizaram em suas engenhosidades, conhecimentos geométricos simples e experiência prática. A característica do inventor era, em geral, um simples amador e entusiasta da ciência que conseguiu confeccionar rodas, engrenagens e alavancas que pretendiam imitar os movimentos do artesanato, imprimindo maior velocidade com a força motora da máquina a vapor.

O projeto de máquinas capazes de produzir uma força imensamente superior ao do homem, como a prensa hidráulica, propiciou o nascimento da engenharia pesada, combinada com a necessidade de barcos a vapor e, mais tarde, armas e navios de ferro blindados, tornaram-se uma lucrativa especialidade. O progresso da indústria pesada foi viável, graças aos procedimentos para a fabricação de aço a baixo custo, o que deu uma vantajosa posição a um reduzido número de empresas na Inglaterra, Alemanha, França e Estados Unidos, que tinha grande poder, principalmente, para financiar sua própria investigação, em especial no campo da turbina a vapor. A tendência geral da indústria mecânica foi a de constituir-se em uma atividade independente da vida acadêmica (BERNAL, 1979).

No campo da Biologia, a “descoberta” de que todas as coisas vivas eram compostas de múltiplas células, feita por Schleiden e Schwann, estabeleceu uma espécie de equivalência da teoria atômica para a Biologia, entretanto os campos da biofísica e da bioquímica ainda estavam longe de amadurecerem (HOBSBAWM, 1977, p. 388-389). Segundo Bernal (1973, p.31), as investigações de Helmholtz sobre a fisiologia dos sentidos constituem exemplos da conexão entre as ciências físicas e biológicas em meados do século XIX, sendo talvez a maior integração entre as duas ciências naquela época.

No campo da Matemática, houve praticamente uma verdadeira revolução, em especial na geometria. As teorias de Lobachevsky (1826-1829) e do húngaro Bolyai

(1831) propuseram uma geometria que viesse ampliar em muito a geometria euclidiana. Estas teorias representaram um ato de audácia intelectual, comparado à formulação da teoria heliocêntrica. Neste período, foi crescente a aplicação de métodos matemáticos à sociedade e uma maior proximidade das ciências sociais às ciências físicas; houve, também, um grande desenvolvimento da ciência estatística, na interpretação do crescimento e desenvolvimento das populações humanas (HOBSEAWM, 1977, p. 389-393).

No campo das Ciências Sociais, destaca-se a criação da Sociologia por Augusto Conte; a criação da História como uma disciplina acadêmica empolgou vários pesquisadores a escrever e interpretar o passado de vários países, dentre eles, destacam-se Karamzin, na Rússia (1818-24), Geijer, na Suécia (1832-6), Palacky na Boêmia (1836-67); são os fundadores da historiografia em seus países. Neste período, a História deixa de ser apenas relato cronológico para uma sucessão lógica de acontecimentos. Estes desenvolvimentos estão intrinsecamente atrelados a Revolução Industrial e Francesa (HOBSEAWM, 1977, p. 392-395).

No campo da Geologia e da Biologia, os problemas mais preocupantes eram, respectivamente, como explicar a evolução da terra, a formação da vida e a evolução das espécies. A Revolução Industrial parece ter contribuído para a investigação e elucidação destas questões. William Smith, um engenheiro inglês, descobriu por meio das escavações industriais na década de 1790, que a sucessão histórica das camadas da terra, podia ser mais convenientemente, datada pelos seus fósseis característicos.

Várias teorias evolucionistas sobre a terra, plantas e animais foram construídas por cientistas como Buffon (*Les Époques de La Nature*, 1778); James Hutton, de Edinburgo (*Teoria da Terra*, 1795), e o excêntrico Erasmus Darwin, que brilhava na sociedade Lunar de Birmingham e escrevia parte de sua obra científica em versos (*Zoonomia*, 1794). Em 1809, Lamarck, da França, propôs a primeira teoria moderna e sistemática da evolução, baseada na herança de caracteres adquiridos.

Nenhuma destas teorias obteve triunfo; na década de 1830, teorias sobre a evolução ganharam um importante papel com a publicação da famosa obra de Lyell *Princípios de Geologia* (1830-33); a descoberta de fósseis do homem pré-histórico por

Schmerling e Boucher de Perthes; mas a ciência conservadora negou a existência até a descoberta do homem Neanderthal, em 1856.

Enquanto as teorias da evolução biológica engatinhavam, as teorias sobre evolução social sofreram vários progressos. Um exemplo disto foi a teoria da evolução social de Marx e Engels e as teorias da raça. O mesmo ocorria em outros campos, como a antropologia e psicologia. A maioria destas ciências sociais buscava uma explicação para as diferenças sociais humanas, em termos de meio ambiente, organização econômica e outros fatores igualmente relevantes (HOBBSAWM, 1977, p. 393-400).

De acordo com Hobsbawm (1977), essas mudanças no campo das ciências estão diretamente relacionadas à Revolução Industrial e Francesa. Os problemas reivindicados pela indústria, como o da máquina a vapor, levaram vários cientistas a tentar aperfeiçoá-la, dentre eles Sadi Carnot que muito contribuiu para o seu desenvolvimento. O grande incentivo para engenheiros e industriais na exploração das minas deu grande impulso à pesquisa em Geologia. A análise dos recursos minerais deu aos químicos inúmeros compostos inorgânicos, e assim nesta direção, a metalurgia, as artes têxteis, as indústrias de iluminação a gás, produtos químicos e a agricultura estimularam os trabalhos de vários cientistas.

Muitos cientistas começaram a se envolver no campo político, aceitando cargos políticos, principalmente naqueles estados ou comunidades até então apolíticas. Entretanto, existiam muitos cientistas da área de ciências naturais que eram muito ignorantes em política em comparação a filósofos e artistas, que fora dos países católicos, por exemplo, demonstravam uma capacidade notável para combinar a ciência com religião (HOBBSAWM, 1977).

Assim, as relações entre indústria e ciência, durante o século XIX, foram mútuas. Duas tendências principais e complementares colocam-se em evidência; de um lado, está o estudo científico de procedimentos industriais já estabelecidos com o uso da máquina a vapor e a fabricação do ferro que conduziram a novas generalizações científicas, como a conservação da energia e a física da radiação; por outro lado, uma série de conhecimentos científicos nos campos da química e da eletricidade propiciou o desenvolvimento de novas indústrias como a telegráfica e a de corantes sintéticos. Os

laços entre a indústria e a ciência tinham um caráter muito mais esporádico e particularista, como aconteceu com James Watt, recebendo apoio do industrial Bolton. O desenvolvimento da técnica sem um conhecimento científico profundo, neste período, foi grande, apesar de que havia uma movimentação para uma sistematização do conhecimento e institucionalização da ciência de forma independente das aplicações práticas (BERNAL, 1979, p. 45-48); o que não impediu que alguns cientistas desenvolvessem seu trabalho com uma preocupação de aplicação técnica.

Segundo Bernal (1979), o interessante de estudar as relações entre indústria e ciência, no século XIX, é a análise quantitativa e estatística dos progressos de cada uma das indústrias e das relações entre elas. Para o autor, são dois fatores de importância a estudar: primeiro é o grau de capacitação científica das indústrias e segundo as circunstâncias e estímulos que impulsionaram os homens de ciência a se ocuparem dos problemas da indústria.

3.2.1 O processo de industrialização de Manchester

Esta seção é uma síntese de alguns capítulos do livro: James Joule, A Biography (1989) do professor Donald S. L. Cardwell.

Manchester, em meados do século XVIII, era uma cidade pequena, agradável e próspera. Situada a leste do rio Irwell, é cortada por riachos de trutas, o Irk e Tib e ladeada ao sul pelo rio Medlock, um afluente do Irwell. Era uma cidade que refletia um passado rural, evidenciada pelos nomes das ruas: rua do mercado, rua da fonte, rua do banco. A população de Manchester e sua cidade próxima, Salford, do outro lado de Irwell, eram, aproximadamente, de 20.000 habitantes.

Ao norte do centro da cidade, ficava o colegiado da igreja (agora a catedral) juntamente com a escola de Chetham, que possuía uma das bibliotecas pública mais antiga do Reino Unido e uma das principais escolas de música da Inglaterra. A região sudoeste da cidade possuía casas elegantes ocupadas por ricos comerciantes, advogados e particularmente, por cirurgiões e médicos, que se uniram e formaram a Manchester Literary and Philosophical Society ou a Lit & Phil, como foi chamada em 1781. Em 1785, publicaram o seu primeiro jornal, o *Memoirs and Proceedings of the*

Manchester Literary and Philosophical Society, que é considerado o mais velho periódico científico do Reino Unido, depois do Philosophical Transactions of the Royal Society.

Ao oeste e sul de Manchester, as ricas terras agrícolas de Lancashire e Cheshire possuíam grandes pomares. Devido a seus rios e córregos que fluem para oeste, o Mersey e o Irwell com seus afluentes, Irk, Roch, Medlock, Tame, Bollim, Goyt, que nunca secavam e ainda os ventos do Oceano Atlântico contribuíram para Manchester e Salford terem um clima úmido médio. Tudo isto favoreceu o crescimento da indústria têxtil de algodão.

Manchester era uma cidade sem muita expressão política nas grandes questões da Igreja e do Estado. As primeiras mudanças começaram a ocorrer em meados do século XVIII, com a construção de canais como o canal Bridgewater, ligando as minas de carvão do duque de Bridgewater em Worsley, oito milhas a oeste de Manchester até Castlefield, justamente ao sul da cidade. Com a vinda de outras indústrias para Manchester, a construção de canais foi ampliada o que ligou Manchester ao Mar e a outras cidades da Inglaterra como Liverpool. Em comparação com as rodovias, o transporte nos canais foi lento, mas foi barato, confiável e poderia cooperar com as cargas pesadas e volumosas.

A construção da rede do canal começou a partir de Manchester, mas não teve conexão imediata ou direta com a transformação contemporânea da indústria têxtil, que tinha começado com a patente da máquina de tear de Richard Arkwright de 1769. A ideia era substituir o trabalho manual de fiação do algodão, criando uma máquina têxtil conduzida por rodas d'água. Estas máquinas poderiam ser utilizadas por homens, mulheres e crianças não habilidosos. As grandes máquinas trouxeram grande aumento na produção da época; o preço do ferro estava em baixa, o que permitia a substituição da madeira na fabricação de máquinas têxteis, devido a sua rigidez e facilidade de fundição.

Em pouco tempo, os melhores lugares de água potente foram totalmente explorados para a instalação das rodas d'água. Assim, a máquina a vapor foi utilizada para complementar a potência da roda d'água e depois substituí-la, quase que completamente. As máquinas têxteis de ferro e a vapor levaram o desenvolvimento à

nova indústria: o projeto e manufatura de máquinas para fazer máquinas, ou simplesmente, ferramentas. A máquina a vapor tornou possível a saída dos trabalhadores dos moinhos têxteis do campo para se estabelecerem nas cidades, onde o trabalho, o transporte, as instalações de engenharia e serviços financeiros estavam disponíveis. Manchester e Salford tornaram-se centros de engenharia e comércio, bem como as cidades do algodão. Depois dos tecidos deixarem os moinhos, tinham que ser lavados, descoloridos, tingidos, estampados antes que pudessem ser comercializados. Conseqüentemente, um grandioso número de indústrias químicas deu um salto em cidades, como Wigan, Northwich, Runcorn e Widnes.

O século XVIII teve muitas invenções notáveis, iniciando com a máquina a vapor de 1712; mas, elas tinham sido inovações individuais, não relacionadas a outros desenvolvimentos. Já a revolução têxtil iniciada com a primeira patente de Arkwright e seu moinho em Gromford em Derbyshire, mudou esta realidade, pois criou uma série de indústrias associadas e levaram ao nascimento de novas indústrias e tecnologias. Ao mesmo tempo, teve uma profunda consequência social, já que estimulou o crescimento de cidades industriais e novas organizações econômicas, o que possibilitou o que agora chamamos de Revolução Industrial.

Com a Revolução Industrial, Manchester tornou-se uma grande cidade industrial. A população quadruplicou; migraram para a cidade pessoas de vários lugares da Inglaterra e de outros países. Alguns eram camponeses, ou sem terras, trabalhadores como ferreiros, carpinteiros, serralheiros com habilidades práticas que poderiam fazê-los ganhar bons salários em novas usinas, fundições e oficinas. Para a maioria dos imigrantes, as fábricas ofereceram emprego, salário mínimo e vida livre.

Infelizmente, Manchester não estava equipada para lidar com o enorme aumento da população; as condições de habitação eram caóticas, não havia praticamente nenhum planejamento para a saúde pública, abastecimento de água ou esgoto. Favelas foram criadas em uma escala sem precedentes, resultando em um aumento das taxas de mortalidade. Os visitantes ficaram horrorizados; Liebig comparou-a a um inferno, enquanto Tocqueville descreveu-a como um esgoto fedorento. Engels foi residente na cidade – e sua visão sobre Manchester, ajudou a mudar o curso da história. As favelas foram, sem dúvida, chocantes.

Segundo Cardwell (1989), há uma distorção dos romancistas, de que existia uma grande diferença entre uma classe de capitalistas gananciosos e impiedosos e uma grande massa de explorados sofrendo com salários escravos. As usinas e fábricas empregaram uma grande classe de homens altamente qualificados como montadores, torneiros, desenhistas, caldeireiros que estavam orgulhosos e sabiam o quão eram importantes para as novas indústrias. A existência desta larga classe foi confirmada pelo sucesso da Instituição Mecânica de Manchester fundada em 1824. Desde o início, esta foi uma das maiores do país, sendo de tamanho comparável somente a de Leeds, Liverpool e Londres.

Com o processo de mecanização, os homens considerados semi-qualificados, como os tecelões de teares manuais, depararam-se com suas vidas destruídas pelas novas máquinas, quase sem possibilidades de emprego e os que estavam empregados tinham péssimas condições de trabalho nas fábricas. Estas condições provocaram momentos de tensão, surgindo manifestações, que foram fortemente reprimidas pelos militares. A atuação dos militares provocou um dos massacres mais conhecidos de Manchester, o massacre de Peterloo, que ganhou um lugar na história social e política britânica.

O massacre de Peterloo não travou o crescimento de Manchester. Os pobres continuaram à procura de trabalho, o ambicioso em busca de fortunas e o hábil procurando melhores oportunidades. Um grupo, particularmente, interessante foi composto por homens com habilidades excepcionais que vieram de outros países; a primeira leva de tais homens veio da Escócia, país com instituições de ensino superior e uma tradição de exportador de talentos. Em seguida dos estados alemães, cujo ensino melhorou rapidamente no século XIX, até que foi comumente aceito como o melhor do mundo. Eles vieram da Suíça e Áustria-Hungria e de outras partes de Europa oriental, onde tiranias arcaicas e religiosas e perseguições raciais eram endêmicas; também vieram da Itália, trazendo as boas habilidades dos italianos.

Além daqueles atraídos pelas novas indústrias revolucionárias, havia oportunidades para pessoas comuns, como comerciantes e similares que iam aonde havia grandes mercados. Manchester era um mercado grande e crescia rapidamente. Uma ponte sobre o rio Irwell foi construída de modo que a rua Bailey New tornou-se

uma ligação direta entre Manchester e Salford. Não era uma rua da moda como a rua Mosley, rua Portland, pois fora construída uma prisão ao lado da cervejaria. Os moradores eram comerciantes, artesãos, lojistas, advogados entre outros; isto caracterizou o ambiente comercial e industrial da nova Manchester. Era também usual para os fabricantes, até mesmo de grandes empresas, viver ao lado de seus moinhos ou fábricas. Como Cooke Taylor observou, um fabricante de Manchester preferiria que você admirasse sua fábrica que sua mansão.

No centro da cidade tinha a Rua Nova Bailey, que dava acesso à ponte sobre o rio Irwell que facilitava a passagem de barcos ou balsas de passageiros que prestavam serviços para lugares tão distantes como Runcorn, Widnes, Warrington, Bolton, Wigan e Worsley. O sistema de canal, rapidamente desenvolvido em conjunto com os rios navegáveis de Lancashire e Cheshire, formou uma rede de tráfego de passageiros, bem como de mercadorias. Entre a rua Grosvenor e a rua New Bailey foi fundada a Instituição Mecânica de Manchester, na rua Cooper, perto da moderna Câmara Municipal e Biblioteca Central. Espalhados em volta desta área central foram estabelecidas numerosas fábricas, fundições e oficinas. Fábrica de tecidos emborrachados impermeáveis, fundição de metais, fábricas de máquinas a vapor, oficinas independentes, fábricas de instrumentos e outras.

Uma das famílias atraídas pelo mercado de Manchester foi a família Joule. De acordo com o primeiro diretório de Manchester, não havia nenhuma família Joule em 1772; no ano seguinte, o diretório registrou um John Joule, negociante de milho. A edição de 1781 registrou um padeiro Joseph Joule. E assim, em números crescentes vieram os pequenos comerciantes, lojistas, pedreiros, pastores, açougueiros, cervejeiros, armazenistas e comerciantes de porcelana. Em 1788, o diretório registrou William Joule, um cervejeiro da Rua New Bridge de Salford. Poucos anos mais tarde, outros Joules são dados como cervejeiros: John Joule de Collyhurst (1794); Hugh Joule, da rua Water, Salford; um James Joule é mencionado como um cervejeiro em 1804 e outro William Joule de Ardwick Green, em 1824.

William Joule que estabeleceu uma fábrica de cerveja na Rua New Bridge (logo a ser chamada de rua Nova Bailey), antes de 1788 tinha sido dono de uma pousada em

Youlgreave em Derbyshire. William Joule, o sexto dos nove filhos sobreviventes de Joseph e Mary Joule, nasceu em 1745 em Youlgreave. Ele e sua esposa Martha tiveram seis filhos e estabeleceram um estilo de vida confortável e uma próspera cervejaria em Salford para deixar a seus herdeiros; o obituário da época declarou que era um homem generoso e teve sucesso nos negócios. Em 1798, ele tinha uma máquina a vapor trabalhando na fábrica de cerveja que estava ao lado de sua casa. Somente grandes cervejeiras podiam ter máquinas a vapor e, em 1829, foi descrita como o maior negócio da cidade.

Depois que William Joule faleceu em 1799, o negócio continuou a ser conhecido como William Joule & Filho nas mãos da sua viúva, Martha, e pelo seu filho mais velho James que tinha apenas vinte anos em 1799. Quatro filhos de William morreram antes de 1812 e James morreu em 1816 deixando apenas Benjamin, o segundo filho, nascido em 1784 que herdou os negócios. Benjamim casou-se com Alice Prescott, filha de Thomas Prescott de Wigan e sua esposa, Grace, nascida Bradshaw. Eles tiveram sete filhos. Os dois primeiros, que eram meninos, morreram na infância.

O primeiro a sobreviver até a maturidade foi Benjamim, nascido em 1817. Em seguida nasceu James Prescott Joule, na véspera do Natal de 1818; Alice em 1820; Mary em 1823 e John Arthur, 1824. A família Joule, então, pode ser tomada como um exemplo típico de muitos dos que foram atraídos para Manchester pelas oportunidades oferecidas: uma família que trabalhou duro e prosperou, teve a sua quota de tragédias familiares e ajudou a formar a cidade que lhes permitiu fazer fortuna.

Descrevemos, até o momento, a grande Manchester, onde o jovem James Prescott Joule nasceu e cresceu. Os efeitos evidentes da indústria, os relatórios de Peterloo, as realizações de Dalton e seus contemporâneos industriais de Manchester tiveram consequências visíveis no pensamento social, político e científico da Inglaterra e no mundo. Era uma cidade de produção bárbara, com problemas sociais diversos decorrentes do rápido crescimento populacional e industrial. Entretanto, para a prática científica e para investimentos em escala industrial era uma cidade que gerava grandes oportunidades.

3.3 A vida de James Prescott Joule

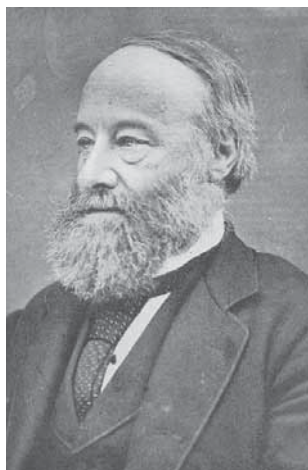


Figura 1: James Prescott Joule 1818-1889 (CARDWELL, 1989, p.252)

Segundo Rosenfeld (1952), não é possível compreender o trabalho de James Prescott Joule, sem colocá-lo no contexto social adequado. Para o autor, o fato é que uma análise do trabalho de Joule, sem levar em conta o ambiente em que trabalhou e viveu poderia distorcer o significado no desenvolvimento da Física. Diante disso, nesta seção e nas próximas, discorreremos sobre o contexto social e científico em que Joule viveu.

Segundo Cardwell (1989), o pai de Joule mudou-se da região central de Manchester para uma localidade mais agradável, talvez por causa da saúde de Joule. Devido a problemas de saúde, sua educação foi lenta, entre os cinco e doze anos de idade. Ele tinha uma fraqueza espinhal, deixando-o corcunda, embora pelas fotos tiradas, em sua fase adulta, não era uma deformidade visível. Apesar destes problemas, Joule teve uma juventude normal e saudável. Embora, estivesse sob tratamento até os 20 anos de idade, era um homem modesto e tímido, tal personalidade poderia estar relacionada aos problemas de saúde que acometeu Joule durante sua vida.

Joule e seu irmão Benjamin não foram enviados para a escola, em vez disso, foram educados em casa, por um tutor chamado Porter; nesta mesma época, Joule e seu irmão iam às tardes de sábado ver os primeiros trens rodando de Liverpool e Manchester. Segundo Cardwell (1989) esta experiência marcou a memória e,

possivelmente influenciou os pensamentos futuros de Joule. A rápida propagação da rede ferroviária, a partir de 1830, trouxe o poder, a eficácia e o modo de funcionamento da máquina a vapor, que atraíram a atenção da sociedade na época; os irmãos Joule foram testemunhas do desenvolvimento tecnológico de Manchester. O velho motor pesado da cervejaria poderia ser substituído, enquanto as locomotivas modernas brilhavam como se fosse algo novo. Na perspectiva Fleckiana (1986), o complexo processo de formação intelectual depende da vida social do sujeito e o futuro nunca estará totalmente livre do passado. Em outros termos, a constituição da individualidade do sujeito do conhecimento tem, também, componentes relacionadas às interações socioculturais, que fazem mediações na sua convivência, por exemplo, com fenômenos da natureza bruta e transformada.

Em dezembro de 1832, os irmãos Joule tiveram um novo tutor, Frederick Tappenden e logo em seguida, foram estudar Química sob a orientação de Dalton, que pertencia a Lit & Phil. Eram aulas dadas em casa e, juntamente com os irmãos Joule, estavam outros estudantes, que mais tarde vieram a ter destaque: o filho de William Henry, William Charles Henry, o engenheiro Eaton Hodgkinson; o engenheiro e inventor do contador de gás Samuel Clegg; o médico e historiador Samuel Hibbert Ware; Richard Potter, professor de filosofia natural e Bennet Woodcroft, que mais tarde viria estabelecer o museu de Ciências de Londres.

Dalton exigiu que os estudos fossem baseados em Aritmética e Geometria, começando pelo livro 1 de Euclides. Eles acharam isto desencorajador, mas Dalton foi um professor motivador e pertencia à classe dos geômetras de Lancashire. Naquela época, o entusiasmo para o estudo de problemas geométricos era grande. No início de 1718, uma sociedade matemática tinha sido criada em Manchester, e antes do final do século, havia outra muito ativa, em Oldham. Na verdade, o interesse por Geometria transcendia níveis de classe, pois atingia até as classes operárias. Segundo Cardwell (1989), Elizabeth Gaskell escreveu (em Mary Barton) que:

No bairro de Oldham há tecelões, os tecelões de teares manuais comuns, que jogam a lançadeira com o som incessante, através Principia de Newton existente no tear, para ser arrebatada nas horas de trabalho, mas revelado em cima da hora das refeições ou à noite. Problemas matemáticos são recebidos com interesse e estudados com envolvimento e atenção por muitos um amplo discurso, uma aparência comum, uma fábrica manual.

Dalton insistiu sobre os estudos preliminares geométricos que, na época, eram prioridade, antes mesmo da mecânica newtoniana. Era algo que fazia parte da cultura dos geômetras de Lancahire. Segundo Cardwell (1989), qualquer que tenha sido o gosto de Joule pela Geometria e, independentemente do efeito final, não pode haver dúvida de que Dalton fortemente influenciou Joule na sua aceitação de conceitos-chaves e, finalmente, no seu empenho pessoal para a ciência. Além dos estudos de Geometria, Dalton também ensinou Química, principalmente no seu livro *Novo Sistema de Filosofia Química*.

Nesse caso, podemos dizer que Joule participou também dos coletivos de químicos e geômetras. O uso da Matemática influenciou o trabalho futuro de Joule, ao contrário de outros físicos experimentais como Faraday (CARDWELL, 1989). Mesmo que nesta época, Joule tenha somente interagido com Dalton, para se apropriar de conhecimentos e práticas da Química e da Geometria, podemos considerar que eles estariam formando um coletivo. Para Fleck, um coletivo de pensamento (CP) existe sempre que duas ou mais pessoas trocam ideias. “É um mau observador, quem não percebe que uma conversa estimulante entre as pessoas pode produzir um estado, no qual cada pessoa expressa pensamentos, que talvez não expressasse sozinha ou em outra companhia” (FLECK 1986, p. 90).

Segundo Steffens (1979), Dalton serviu de inspiração para Joule, principalmente sobre a forma de proceder no processo de experimentação. Dalton insistia sobre o cuidado que se deveria ter na experimentação, a sua habilidade na construção de aparelhos simples e sua ênfase sobre os resultados quantitativos são características que se tornaram importantes nos trabalhos posteriores de Joule. O próprio Joule afirmou que Dalton o inspirou a realizar suas próprias pesquisas, a fim de obter novos conhecimentos.

Dalton possuía um raro poder de envolver o carinho de seus alunos para a verdade científica, e foi a partir de sua instrução que se formou um desejo de aumentar o meu conhecimento, através de pesquisas originais. Esses eu comecei a levar a cabo quando nossas aulas foram levados a um fim pela doença que acabou denunciado na morte deste homem verdadeiramente eminente. Obtive a utilização de um quarto na casa de meu pai ao Broom Hill e finalmente cheio de pilhas voltaicas e outros aparelhos, uma parte considerável do que era a minha própria construção.

Após Dalton ter sofrido um derrame, Joule foi tutelado por John Davies, professor da escola de Medicina, mas as relações entre Joule e Dalton mantiveram-se até a morte de Dalton. Os irmãos Joule visitaram Dalton, quando estava doente e, ocasionalmente, em algumas tardes foram convidados a tomar chá com ele. Dalton parece ter seguido com interesse os progressos do ex-aluno. Em uma reunião da sociedade Literária e Filosófica de Manchester, em novembro de 1841, Joule leu um artigo sobre a *Origem elétrica do Calor de Combustão* e Dalton estava presente. Após a leitura deste artigo que foi publicado na Revista Filosófica, Joule foi eleito membro da sociedade Literária e Filosófica de Manchester, em 25 de Janeiro de 1842. Neste caso, parece provável que Dalton influenciou a eleição de Joule para a sociedade, a qual ele próprio presidiu antes de sua doença (STEFFENS, 1979).

Os interesses científicos de Joule desenvolveram-se durante e depois dos anos de tutela. Inicialmente, parece que os experimentos elétricos foram seu campo de estudo preferido. Os experimentos de Joule começaram em casa, onde testava os efeitos de choques elétricos nas empregadas domésticas; conduzia pipas elétricas e deu em si mesmo e em seus amigos, choques por meio das garrafas de Leyden e máquinas elétricas primitivas.

O fato de Joule ter aula em casa é condizente com a situação da educação na Inglaterra, na época. Segundo Hobsbawm (1977, p.53), a educação inglesa era deficiente; as universidades escocesas eram turbulentas; as duas únicas universidades inglesas, a de Oxford e Cambridge, eram intelectualmente nulas e as escolas públicas, também, não tinham nenhuma dinâmica. As academias fundadas pelos dissidentes eram produtivas, mas não eram reconhecidas pelo sistema educacional inglês. Em Manchester, os membros da Lit & Phil criaram uma Academia destinada à educação de ministros dissidentes e homens jovens que pretendiam entrar para o comércio; Dalton fora nomeado para ensinar Matemática nesta academia.

As famílias aristocráticas que desejavam educação para seus filhos confiavam em tutores e universidades escocesas. A educação de Joule é um exemplo disto. Segundo Cardwell (1989), naquela época, não foram atribuídos graus de ciência em qualquer universidade e nem cursos de ciências nas escolas; não houve formação profissional científica, em suma, não havia nada para diferenciar o homem de ciência

de outros homens. Apenas uma pequena minoria das pessoas, que publicava artigos em periódicos científicos foi empregada dentro do campo da ciência.

Mais tarde, o crescimento da sociedade industrial levou muitos homens a não se conformarem com a falta de estrutura de Manchester. Este inconformismo levou ao avanço da educação, da saúde pública e da ciência. A Lit & Phil foi apenas o primeiro de um número de negócios educacionais e científicos, que mais tarde incluíram a Sociedade Estatística de Manchester e várias sociedades científicas especializadas. Mas, além da Lit & Phil e o Instituto de Mecânica, a mais importante era a Faculdade de Owens, fundada em 1851, como um resultado de um legado (testamento) de 100.000 libras para John Owens, um rico bacharel que tinha estado no ramo de venda têxtil. Sua importância histórica pôde facilmente ser subestimada, se for vista meramente, como um conjunto de faculdades universitárias do começo do século 19, sucessoras da University College de Londres em 1826.

O conjunto de faculdades Owens tinha como objetivo uma educação que incorporasse as práticas das universidades escocesas e servisse de ponte para homens jovens, que pretendiam entrar no comércio ou na indústria. Os cursos eram baseados em disciplinas tradicionais Latim, Grego, Matemática, Filosofia Natural, Inglês, História, Química, Línguas Estrangeiras e História Natural. No primeiro ano, 62 estudantes iniciaram, porém o número caiu para 33, no ano letivo de 1856-1857 e somente a partir de 1862-1863, que o número subiu para mais de 100 (CARDWELL, 1989, p. 108-109).

3.3.1 Alguns elementos culturais do trabalho de Joule: a influência da indústria cervejeira

Segundo Rosenfeld (1952), o acúmulo da riqueza nos últimos anos do século 18, criou uma demanda para aumentar a produção, em consequência, começa o processo de substituição de ferramentas manuais por máquinas e depois o fornecimento de energia para alimentar as mesmas. Estas mudanças nos métodos de produção provocaram uma revolução no conjunto social da sociedade, que passou a ser centrada mais na produção do que no comércio. O interesse da comunidade científica,

naturalmente, foi orientado para a utilização das forças da natureza, na obtenção de energia mecânica.

Exatamente nesse tipo de comunidade, que joule cresceu. Filho de um rico fabricante de cerveja foi capaz de entrar nas investigações, inspirado por sua curiosidade científica, mas por outro lado, o pano de fundo desta curiosidade, foi determinado pelos interesses das pessoas, no meio em que ele foi criado, conduzido a estudar os aspectos dos fenômenos, que podiam lançar luz sobre as possibilidades de transformação de diversos agentes naturais em si em energia mecânica (ROSENFELD, 1952).

Nessa direção, estudar os elementos culturais que o influenciaram pode possibilitar um melhor entendimento do seu trabalho técnico científico. Assim, além das influências apresentadas na seção anterior, destacaremos nesta seção, alguns elementos culturais, que faziam parte da indústria cervejeira e estão diretamente amalgamados com os valores epistêmicos, que iremos destacar ao longo da nossa análise epistemológica. Queremos destacar a importância de algumas dimensões tácitas¹² (que também é uma pré-concepção do conhecimento científico) do saber experimental, desenvolvido na cervejaria em que James Prescott Joule trabalhou.

Sibum e Morel (1998) identificaram conhecimentos tácitos profundos em termometria, que influenciaram no trabalho experimental de James Prescott Joule, sobretudo na sua famosa experiência do equivalente mecânico do calor. A proposta dos autores é explicitar a história dos saberes tácitos da indústria cervejeira, fazendo um paralelo com o trabalho experimental de James Prescott Joule.

Na primeira parte do artigo, os autores descrevem a cultura da cervejaria, no início do século XIX, cujos saberes locais eram fortemente regidos por uma ordem sensorial complexa em que o toque, o olfato e o gosto tinham a mesma importância que o olhar e a audição; o fato é que nas práticas desta comunidade, competências termométricas eram largamente espalhadas.

¹² O conhecimento tácito é complexo, desenvolvido e interiorizado durante longos períodos de tempo, sendo quase impossível reproduzi-lo num documento ou numa base de dados. É precisamente este tipo de conhecimento que medeia o dia-a-dia dos indivíduos, contendo uma aprendizagem tão pessoal que as suas regras podem ser dificilmente separáveis da forma como cada indivíduo age. Por esta razão, sendo experiencial, pessoal, específico e ligado a um dado contexto, o conhecimento tácito é, pois, mais difícil de formalizar, comunicar e partilhar com os outros (POLANYI, 1966).

As descrições feitas daqui em diante serão baseadas no artigo: *Les gestes de La mesure: Joule, les pratiques de La brasserie et La science* de Otto Sibum and Ginette Morel (1998, p. 745-774).

O mundo da cervejaria, no começo da época vitoriana, era considerado por uma grande parte uma cultura oral, onde os saberes eram compartilhados pelo exemplo e pela prática. A escrita não representava quase nenhum papel, já que a maioria dos cervejeiros e produtores de malte não sabia ler e nem escrever. Durante o processo de preparação da cerveja, o cervejeiro mastigava um pouco de malte com a finalidade de estabelecer a cor, a fim de saber a quantidade de calor que poderia receber em um recipiente resistente a pressões elevadas; estimava também a quantidade de calor que o malte necessitaria no grande recipiente que era determinado, mergulhando a mão no suco vegetal, preparado para a fermentação alcoólica.

Para os cervejeiros e malteiros, o calor era a preocupação principal e na cervejaria, eles buscavam o saber considerável sobre a natureza e manipulação do calor. A visão de calor era substancialista, pois acreditavam que todos os corpos eram armazenados por calor. Este calor contido nos corpos era chamado, por eles, de latente que ficava inativo ou ativo. Tinham a crença em um Criador e sabiam que todas as coisas eram incertas, transmutáveis e efêmeras e que o autor onipotente de todas as coisas criadas tinha promulgado uma lei universal que se aplicava ao calor. Para eles, um corpo com mais calor transfere calor para outro corpo com menos calor: é a lei de difusão igual ou conservadorismo. Assim, sabendo deste princípio, é possível transformar um corpo sólido em líquido e um líquido em vapor.

Esses saberes tácitos da cervejaria eram difíceis de serem comunicados por escrito; então para expressar melhor esta cultura da cervejaria, de sua maneira de agir e aprender, os autores chamavam estes conhecimentos de saber gestual. Este saber envolvia práticas manuais e mentais e somente alguns autores de obras sobre cervejaria eram obrigados a fazer a distinção para explicar ao leitor certas operações complexas. O saber gestual era flexível, exigia atitude e era requisitado para as medidas de calor que se dava mais pelo afinamento sensorial da mão, alcançando a percepção do meio. O discípulo só aprendia imitando os gestos do mestre, mergulhando a mão na mesma bacia, no mesmo recipiente.

O emprego de instrumentos como o termômetro, nas mãos de um experimentador, depende das técnicas utilizadas na atividade corporal, privilegiada pelo indivíduo que pertence à uma comunidade, onde aproveita de um estatuto particular. A maneira como os cervejeiros mediam o calor é, em parte, uma técnica manual específica com uma série de atos montados pelo indivíduo, não simplesmente por eles mesmos, mas por toda sua educação, por toda a sociedade de que faz parte, no lugar onde ocupa. O saber gestual do cervejeiro foi, então, fortemente determinado por sua aprendizagem de um controle das ações, de acordo com as práticas educativas tradicionais da comunidade.

Durante os anos de 1830, a indústria da cervejaria passou por mudanças radicais no universo sensorial. Foi publicada uma enciclopédia sobre a cervejaria por Wigney, para criar uma comunidade de cervejeiros científicos, capazes de satisfazer as novas exigências econômicas. Wigney via, nas velhas cervejarias, a produção de fatos relativos e não fatos com uma tendência mais geral, pois os saberes ficavam reduzidos somente a um local específico, sendo difícil transferir para outro local. A atividade prática do cervejeiro e o seu saber gestual necessário às medidas do calor eram estruturados pela arquitetura do prédio, a qualidade, a altura dos utensílios e a disposição dos equipamentos técnicos que caracterizavam o lugar.

Wigney tentou sistematizar as bases conceituais desta nova fase da indústria cervejeira, mas tinha a consciência de que o saber gestual do cervejeiro era difícil de registrar por escrito. Ele traduziu na linguagem da química, não somente sua própria experiência profissional, mas também um texto histórico de comunicações orais com os jargões dos cervejeiros. Ele tinha a consciência de que mesmo sistematizando a prática da cervejaria, dentro dos padrões da racionalidade científico, podia fornecer informações úteis sobre a cervejaria, no entanto, sem transformar o leitor em um cervejeiro experimentador. Portanto, o objetivo principal de Wigney era sistematizar o conhecimento da cervejaria com a finalidade de atender a expansão industrial, pois uma prática limitada somente a discípulo e mestre ficava restrita somente a um lugar; a meta era que estas técnicas se expandissem para o maior número de indústrias possíveis.

Para a administração britânica, a diversidade de experiências dos cervejeiros e malteiros, com métodos de medidas variando de acordo com os lugares, dificultava a evolução econômica da sociedade vitoriana. Diante disso, em paralelo ao processo de catalogação feito por Wigney, começou-se a exigir uma precisão por partes dos instrumentos de medida. Tal exigência deve-se à demanda dos produtores de cerveja, que buscando uma maior exatidão e eficácia da cervejaria, conquistaram melhores e maiores mercados. Por outro lado, a administração pública inglesa buscava, de forma mais precisa, cobrar os impostos.

O fato é que a exigência da administração pública, pela necessidade de medidas cada vez mais confiáveis, para impor seus impostos aos comerciantes e mercadores, provocou uma discórdia entre o governo, os malteiros e cervejeiros na maneira de trabalhar, pois se exigia mais economia nos gastos no processo de preparação da cerveja, o que conseqüentemente, fizeram com que os cervejeiros mudassem algumas de suas técnicas como o tempo de duração do malte de 72 h passou a ser de 50 h, porque gerava menos custos (SIBUM E MOREL 1998, p.752).

Um ponto importante deste desentendimento entre governo e fabricantes de cerveja foi em 1847, devido ao excessivo aumento de impostos aos produtores de cerveja e malte. As medidas eram impostas de tal maneira que oprimiram os fabricantes, subindo os preços dos produtos e abaixando a qualidade da cerveja. Isto teve como consequência uma diminuição do consumo de cerveja, favorecendo o consumo pela população de chá e outras bebidas alcoólicas.

Esses problemas econômicos fizeram com que muitos cervejeiros que estavam acostumados com os saberes gestuais, fossem se adaptando às técnicas dos cervejeiros científicos, como as propostas de Wigney de recorrer a técnicas quantificadoras; desde a virada do século, hidrômetros e termômetros eram companheiros inseparáveis dos homens da cervejaria.

A utilização do hidrômetro serviu de auxílio para determinar a titulação da cerveja e de outras bebidas alcoólicas, no entanto, antes de ser utilizado pela indústria cervejeira foi utilizado pela Alfândega, órgão da administração pública, para subsidiar as práticas de normatização de cobrança de impostos, utilizados, principalmente, no decorrer do ano de 1837.

O termômetro era o instrumento que fazia uma dupla com o hidrômetro na indústria cervejeira. O termômetro era utilizado para determinar os calores padrões que permitiriam aos cervejeiros e aos fiscais de impostos determinarem, de forma mais precisa, a titulação dos líquidos. No entanto, concluíram que não existe um calor ideal de preparação da cerveja, mas que é variável, ou seja, nem sempre a mesma quantidade de calor convém à cura e a duas preparações sucessivas de cerveja do mesmo malte. Medir boas temperaturas de preparação da cerveja era uma operação difícil, mas um dos grandes segredos de profissão, que a maioria não revelava. Wigney esperava reunir dados suficientes com o objetivo de determinar a boa temperatura da cerveja, de acordo com a produção e a época do ano.

Wigney tinha a convicção de que os cervejeiros teriam que mudar os seus saberes, pois a cerveja fornecida ao público era a que tinha de 2 a 3 anos de idade e o público exigia outro tipo de cerveja com mais qualidade, o que exigia uma produção do cervejeiro anual. Diante desta demanda econômica, termômetros decimais tornaram-se técnicas práticas e teóricas indispensáveis aos cervejeiros, ou seja, a construção de termômetros que exprimissem as suas medidas com exatidão tornou-se uma necessidade. Desta forma o próprio governo e a indústria cervejeira, com seus interesses econômicos, investiram, fortemente, na construção de instrumentos de precisão. Isto possibilitou a interação dos laboratórios responsáveis pela construção dos instrumentos com as Universidades.

A exigência do desenvolvimento das técnicas de precisão, portanto, exigia a aquisição de um novo rigor gestual que não obedecia, necessariamente, aos modelos de atividades corporais habituais aos filósofos naturais. Para Wigney a nova forma da indústria cervejeira contribuiu para criar novas hierarquias entre o espírito e o corpo.

Alguns dos conhecimentos tácitos da cervejaria discutidos e seu processo de cientifização, por meio da sistematização de Wigney e das pressões econômicas, exemplificam muito bem as relações entre os saberes populares e científicos estabelecidas por Fleck (2010, p. 165):

[...] Quando um economista fala em organismo econômico, ou filósofo em substância, ou um biólogo no estado de células todos utilizam em sua própria especialidade conceitos oriundos do repertório popular do saber. É em torno destes conceitos que constroem as ciências especializadas, e mais adiante,

teremos a oportunidade de constatar permanentemente, nas profundezas dessas ciências, elementos do saber popular de outras áreas. Esses elementos foram muitas vezes decisivos para o conteúdo do saber especializado, predeterminando seu desenvolvimento por décadas.

Nesse sentido, podemos dizer que muitos desses 'saberes tácitos' fazem parte do cerne de muitas técnicas da indústria no mundo atual. Cabe ressaltar que Fleck dialetiza estas relações dos saberes populares e científicos, um interagindo com o outro por meio dos círculos esotérico (especialistas) e exotérico (coletivo de leigos), ou seja, sob determinadas condições, o conhecimento científico pode chegar até às massas populares e aperfeiçoar, ou até mesmo, substituir o saber popular.

Dessa forma, acreditamos que a apresentação da cultura da cervejaria, o processo de transformação dos conhecimentos tácitos passando pela influência dos fatores econômicos, nos ajudam a compreender as influências lógicas, culturais e econômicas no trabalho de Joule. A cervejaria do pai de Joule, o senhor Benjamim Joule, por volta de 1830, produzia em torno de 10.000 a 20.000 barris por ano, o que possibilitou fornecer o capital necessário para proporcionar a seus filhos uma boa educação. O irmão de Joule resolveu seguir uma carreira na música, enquanto Joule seguiu tanto o caminho da ciência, quanto o trabalho na cervejaria do pai.

Assim, desde os 16 anos de idade, Joule trabalhou com o pai na cervejaria das 9h da manhã até às 18h da tarde, durante 20 anos; usava as dependências da cervejaria para executar os seus projetos científicos. Ele realizou diversas experiências com o objetivo de aperfeiçoar as técnicas da cervejaria, sempre pensando em compreender a natureza de como economizar calor, ou seja, menos gastos nos processos de conversão. Os instrumentos de precisão eram como afirmamos anteriormente, os principais recursos utilizados pelos técnicos e cientistas, incluindo a figura de Joule; era uma prática comum utilizar o termômetro para medir a temperatura de preparação da cerveja.

Na época, Joule tinha um interesse muito forte em estudar a natureza do calor, no entanto, a maior parte dos filósofos naturais estava centrado nos estudos de eletricidade e magnetismo. Para um cervejeiro, era muito interessante relacionar a eletricidade e o magnetismo com a natureza do calor, desta forma, começa com as

suas primeiras pesquisas sobre os fenômenos eletromagnéticos. Mas qual é a relação entre estas forças elétricas, magnéticas e mecânicas? Joule se perguntava qual destas entidades era a mais fundamental, principalmente durante as pesquisas nos anos de 1840.

Para responder essas questões fundamentais relativas à natureza do calor, Joule direcionou seu estudo na busca de melhor precisão. Com a finalidade de estabelecer relações quantitativas entre calor e as outras forças que agem, decidiu finalmente melhorar as experiências de fricção dos fluídos e sólidos, com a intencionalidade de mostrar um equivalente mecânico do calor¹³ com um valor confiável.

Nesse caso, uma das questões mais solicitadas foi o aperfeiçoamento dos instrumentos de medida; a prioridade principal era a construção de termômetros com grande exatidão e sensibilidade. Na sociedade Literária e Filosófica de Manchester, encontrou um homem que poderia construir estes instrumentos: John Benjamin Dancer, que veio de Liverpool para Manchester, com o objetivo de abrir uma loja e uma fábrica de instrumentos. Dancer era mais que um técnico, era um filósofo experimental, químico, industrial e professor de Química na instituição real de Manchester, que se tornou famoso por suas microfotografias.

A construção e o teste de termômetros com um modelo confiável era um trabalho de sábios. Os artistas que produziam vidros tradicionais não eram mais capazes de satisfazer as normas de precisão requisitadas pela pesquisa científica; termômetros construídos pelo mesmo fabricante podiam diferenciar mais de um grau Fahrenheit. Joule passava longas horas no atelier de Dancer, estudando normas de graduação, instrumentos estrangeiros e colocando em prática a sua técnica e verificando uma medida pela comparação com um modelo de termômetro. Um dos instrumentos de precisão mais importante, que Dancer chamou de microscópio móvel, permitia construir um termômetro extremamente sensível, o mais preciso da época, que permitia verificar medida e graduar termômetros.

Na cervejaria, Joule adquiriu um saber gestual necessário para efetuar medidas de temperatura, também complexas. Este saber gestual aprendido na cultura dos

¹³ Um aprofundamento desta questão será feito, posteriormente, em nossa análise epistemológica.

cervejeiros, talvez explique por que não se encontra em suas notas de laboratório, onde ele instalava o termômetro para medir a temperatura do ar, nem sobre a maneira de medir a temperatura da água nos recipientes. Joule interiorizou o ritmo de trabalho dos cervejeiros, pois o seu repertório de medidas emanava de sua prática experimental na cervejaria. O seu dispositivo experimental, que conduziu a sua experiência do equivalente mecânico do calor, seria análogo em partes a um modelo de recipiente grande de cervejeiro. Durante a série de experiências sobre a natureza do calor realizadas entre 1843 e 1850, sempre procurou melhorar o dispositivo material e, sobretudo, o saber gestual de medida das temperaturas. A adega da cervejaria foi utilizada como local para sua experiência do equivalente mecânico do calor, pois reunia as condições razoáveis para a realização com qualidade do seu ensaio.

Assim, o ambiente cultural da cervejaria ofereceu um leque de modelos para Joule, que influenciou diretamente nas suas pesquisas sobre o calor, ou seja, a forma de trabalhar dos velhos cervejeiros, a busca da exatidão que significava para a cervejaria: qualidade da atenção e da execução. O trabalho de Joule ilustra um método de artesão e, graças ao saber gestual de Dancer na fabricação de instrumentos de precisão, ele se sentiu mais seguro na própria execução de suas medidas de seus instrumentos. Mesmo assim, ele testou a exatidão do seu termômetro com os melhores termômetros da época, como os termômetros de Thomas Graham, professor de Química da Universidade de Londres, especialista em análises químicas e de Lyon Playfair, colega de trabalho de Joule. Desta forma, Joule criou um pequeno grupo, em que um compreendia o trabalho do outro e transformou a cervejaria em um lugar de produção do saber.

3.3.2 Elementos teóricos que influenciaram a visão técnico-científica de Joule: os aspectos da instrumentação, exatidão e precisão

Segundo Rosenfeld (1952), a biografia de Joule escrita por Reynolds defende que Joule não teve influências teóricas preconcebidas. Para Reynolds, Joule chega as suas conclusões, apenas baseado nos resultados dos experimentos, ou seja, uma

visão empirista-indutivista do conhecimento científico. As principais teses da epistemologia empirista-indutivista são:

- 1 – A observação é a fonte e a função do conhecimento. Todo o conhecimento deriva direta ou indiretamente da experiência sensível (sensações e percepções).
- 2 - O conhecimento científico é obtido dos fenômenos (aquilo que se observa), aplicando-se as regras do *método científico*. O conhecimento constitui-se em uma *síntese indutiva* do observado, do experimentado
- 3 - A especulação, a imaginação, a intuição, a criatividade não devem desempenhar qualquer papel na obtenção do conhecimento científico.
- 4 - As teorias científicas não são criadas, inventadas ou construídas mas *descobertas* em conjuntos de dados empíricos. A ciência é neutra, livre de pressupostos ou preconceitos (SILVEIRA, 1992, p. 36).

Os filósofos da epistemologia contemporânea como Popper, Bachelard, Kuhn, Lakatos, Feyerabend, Latour, Laudan entre outros consideram as teses empiristas-indutivistas ultrapassadas e falsas. Diante destas críticas e outros fatores que no momento não vamos ressaltar, elaboraram uma epistemologia da ciência que vem contrapor as teses empiristas-indutivistas. Desta forma, apesar de apresentarem divergências entre si, suas perspectivas teóricas em relação à natureza do conhecimento científico, possuem alguns pontos em comum, tais como:

- O conhecimento científico, enquanto durável, tem um caráter não absoluto;
- O conhecimento científico baseia-se fortemente, mas não totalmente, na observação, nas evidências experimentais, nos argumentos racionais e no ceticismo;
- Não existe uma maneira única de se fazer ciência (isto é, não há um método científico universal);
- A ciência é uma tentativa de explicar os fenômenos naturais.
- Leis e Teorias exercem papéis diferentes na ciência, e teorias não se tornam leis, mesmo quando evidências adicionais se tornam disponíveis.
- Pessoas de todas as culturas contribuem para a ciência.
- Os novos conhecimentos devem ser comunicados de forma clara e aberta;
- Os cientistas necessitam de registros precisos, revisão por pares e replicabilidade dos estudos realizados.
- As observações são carregadas de teorias.
- Cientistas são criativos.
- A Ciência é parte das tradições culturais e sociais.
- A História da Ciência apresenta um caráter tanto evolutivo quanto revolucionário.
- A ciência e a tecnologia impactam uma à outra.

- Idéias científicas são afetadas pelo seu meio social e histórico (MCCOMAS et al. 1998, p.513).

A epistemologia de Fleck também está em sintonia com estes apontamentos. Para Fleck (2010), a perspectiva empirista-indutivista é uma ingenuidade e que, psicologicamente não ocorre uma observação pura, isto é, sem pressuposições, mas que ela seria possível em termos lógicos, sendo até mesmo necessária para a legitimação de um saber, enquanto construção posterior.

Para Rosenfeld, esta visão empirista-indutivista do trabalho de Joule é equivocada e superficial, pois o trabalho de Joule mostra o contrário. No início dos seus trabalhos em que descreve suas primeiras experiências sobre o calor produzido pela passagem de corrente através de um condutor, demonstra que já está preocupado com a ideia de equivalência. Quando Joule explicita a verificação por novas medições, a afirmação geralmente aceita que o calor produzido pela passagem da corrente é exatamente proporcional à resistência; a sua preocupação é saber “se a resistência à condução é a única causa dos efeitos do aquecimento”. Quando declara nesta sentença a palavra “única” é para indicar uma ideia preconcebida em sua mente, da equivalência entre os fenômenos da produção de calor e da passagem da corrente através da resistência.

Assim, Rosenfeld (1952) concluiu que Joule foi inspirado desde o início por suposições teóricas: a ideia da natureza dinâmica do calor e talvez inicialmente, não muito articulada com a ideia de uma equivalência entre calor e outros agentes físicos. As experiências realizadas sobre a relação entre calor e eletricidade foram feitas com o propósito de testar as ideias, que não é a simples busca de confirmação, mas no caso das experiências realizadas sobre o calor produzido pela passagem de corrente elétrica em um condutor, o objetivo era entender as causas do efeito de aquecimento. Rosenfeld explora outras concepções teóricas de Joule, na qual explicitaremos em nossa análise epistemológica.

No entanto, Rosenfeld não aborda outros elementos teóricos importantes, como o papel da exatidão e a instrumentação no trabalho experimental de Joule que são características da ciência moderna, que abordaremos nesta seção. Procuraremos

fundamentar estes elementos por meio dos estudos de Koyré sobre Galileu e Platão por meio do livro: *Galileu e Platão, Editora Gradiva*, mais especificamente o capítulo: “*Do Mundo do “mais ou menos” ao Universo da Precisão.*”

Além de outras concepções teóricas, em nosso estudo histórico, veremos que os trabalhos de Joule estavam diretamente relacionados à construção dos melhores instrumentos e a obtenção de medidas precisas. Koyré faz um estudo explicitando as mudanças de qualidade na relação *techne-episteme*, no advento da ciência moderna. Neste estudo, ele centra nos conceitos de precisão e exatidão, valores originados e criados a partir de problemas relativos à concepção teórica de medida e da matematização da natureza. Tais valores são anteriores a própria execução da tecnologia:

Não é do desenvolvimento espontâneo das artes industriais pelos que as exercem, mas sim da conversão da teoria em prática, que Descartes espera os progressos que tornarão o homem 'senhor e dono da natureza' [...] (e) da possibilidade de fazer a teoria penetrar a ação, isto é, a possibilidade da conversão da inteligência teórica em real, da possibilidade, a um tempo, de uma tecnologia e de uma física. [...] Creio [...] que a história, ou, pelo menos, a pré-história da revolução técnica dos séculos XVII e XVIII confirma a concepção cartesiana: é por uma conversão da *episteme* na *techne* que a máquina eotécnica se transforma na máquina moderna (paleotécnica); porque esta conversão, por outras palavras, a tecnologia nascente, que dá à segunda o que forma seu próprio caráter e a distingue radicalmente da primeira, e que mais não é do que a precisão (KOYRÉ, s.d., pp. 66-67).

Koyré, ao fazer o estudo sobre os instrumentos de medida, declara que eles não são apenas um prolongamento dos sentidos, mas uma concepção teórica da mente humana:

[...] Um utensílio, isto é, qualquer coisa que, tal como já tinha visto, e muito bem, o pensamento antigo, prolonga e reforça a ação dos nossos membros, dos nossos órgãos dos sentidos; qualquer coisa que pertence ao mundo do senso comum. E que nunca pode levar-nos a ultrapassá-lo; quando, pelo contrário, a própria função do instrumento não é um prolongamento dos sentidos, mas, na acepção mais forte e mais literal do termo, uma encarnação do espírito e uma materialização do pensamento (KOYRÉ, s. d., p. 75).

Muitos instrumentos utilizados por Joule eram produzidos por ele mesmo, como o termômetro e o galvanômetro, que procurava aperfeiçoá-los a fim de obter resultados mais precisos possíveis. Para Koyré, a ideia de se criar e aperfeiçoar os instrumentos

está diretamente relacionada à exatidão e à precisão, que são alguns dos elementos teóricos que motivaram a criação de tais instrumentos. Ele cita um exemplo de Galileu, no aperfeiçoamento da luneta:

[...] Galileu, logo que teve a notícia da luneta de aproximação holandesa, elaborou-lhe a teoria. E foi a partir desta teoria, sem dúvida insuficiente, mas teoria apesar de tudo, que, levando cada vez mais longe a precisão e o poder dos seus vidros, construiu a série das suas perspicilles, que lhe abriram aos olhos a imensidade do céu. [...] Não vai mais longe, não pretende ir mais além-e não foi por acaso que nem os inventores, nem os utentes da luneta holandesa se serviram dela para observar o céu. Pelo contrário, foi para responder a necessidades puramente teóricas, para atingir o que não cai na alçada dos nossos sentidos, para ver o que ninguém jamais viu que Galileu construiu os seus instrumentos: o telescópio e depois o microscópio. [...] é necessário construir máquinas cada vez mais precisas, máquinas matemáticas, que, tal como os próprios instrumentos, pressupõem a substituição, no espírito dos seus inventores, do universo do aproximadamente pelo universo da precisão. [...] (KOYRÉ, p. 75-82).

Para Koyré, existe uma relação de mão dupla entre os elementos teóricos e práticos. Um elemento teórico pode possibilitar a construção de um objeto prático, assim como um objeto prático (que anteriormente foi formulado por uma concepção teórica) pode inspirar um pensamento teórico:

[...] O relógio de precisão, o relógio cronométrico, tem uma origem completamente diferente. Não é, de modo algum, uma promoção do relógio prático. É um instrumento, quer dizer, uma criação do pensamento científico. É um instrumento, quer dizer uma criação, ou, melhor ainda, a realização consciente de uma teoria. É certo que, uma vez realizado, um objeto teórico se pode tornar um objeto prático de uso corrente e cotidiano. É certo também que considerações práticas-no caso que nos interessa, o problema da determinação das longitudes, que a extensão da navegação tornava cada vez mais urgente-podem inspirar o pensamento teórico. Mas não é a utilização de um objeto que lhe determina a natureza: é a estrutura; um cronômetro permanece um cronômetro mesmo se forem marinheiros a utilizá-lo. Isto explica-nos por que razão não é aos relojoeiros, mas aos sábios, não a Jost Burgi e a Isaak Thuret, mas a Galileu e a Huygens (e a Robert Hook também), que remontam as grandes invenções decisivas a que devemos o relógio do pêndulo e o relógio de espiral reguladora (KOYRÉ, p. 82-83).

Essa relação de mão dupla, como veremos em nossa análise, é constante no trabalho de Joule, é como se ele fosse um Galileu na construção de termômetros e galvanômetros. Joule antes de realizar os seus experimentos, fazia todo um

planejamento com a finalidade de construir e aperfeiçoar os instrumentos para alcançar medidas cada vez mais precisas e exatas, principalmente no estudo do equivalente mecânico do calor. Com relação ao papel da exatidão, Koyré:

[...] Se os quadrantes solares e os relógios de foliot eram, no século XVII, largamente suficientes para o grande público já para os sábios o não eram. Era lhes necessário descobrir uma medida exata. Ora “os processos empíricos eram impotentes para esta descoberta e apenas os teóricos, aqueles que precisamente nesta época elaboravam as teorias e estabeleciam as leis da mecânica racional, eram capazes de fazer. Portanto, os físicos, os mecânicos, os astrônomos, sobretudo os maiores dentre eles, preocuparam-se com o problema a resolver pela simples razão de serem os primeiros interessados” (KOYRÉ, s.d., p.84).

Dessa forma, Koyré (p.89) conclui que a busca da exatidão e precisão são elementos teóricos. Para ele, a história da cronometria é um marco do nascimento tecnológico que leva a realidade técnica a um plano superior. Esta euforia técnica se deve à grande motivação da busca pela exatidão pelos técnicos da época e Joule é um desses personagens, que deixou a sua marca nesse período. Assim de acordo com Koyré, o instrumento de precisão é decisivo na realidade das medições do aproximadamente; é, na construção dos instrumentos, que se consagra o pensamento tecnológico, que se constrói máquinas precisas e a constante busca da indústria por máquinas cada vez mais precisas. Em suma, para o autor, é pela supremacia da teoria sobre a prática que poderíamos caracterizar a técnica da segunda Revolução Industrial, iniciada na segunda metade do século XIX.

Assim, para Rosenfeld (1952) a explicação das motivações de Joule está contida no seu ambiente social, da segunda metade do século XIX. Tal período teve um rápido crescimento e concentração do processo de produção, exigindo um aumento enorme no desenvolvimento das fontes de força motriz, na utilização de metais nobres, na construção de pontes e máquinas poderosas. Cientistas interessados em tais temas foram influenciados pelo seu íntimo contato com a matéria em seus aspectos mais sólidos. Isto contribuiu para Joule e seus seguidores, mesmo que sem consciência, seguirem fortemente uma visão mecanicista do mundo material.

3.3.3 Os trabalhos iniciais de Joule e sua participação no coletivo dos técnicos

Joule nasceu e cresceu em uma época de conflitos sobre o calórico. De acordo com esta teoria, os fenômenos térmicos deveriam ser atribuídos à presença e ação de um “fluido sutil” chamado “calórico”. Da mesma maneira a eletricidade foi considerada fluido. Estas teorias foram plausíveis para a época, como exemplo, temos a ideia de que a eletricidade poderia ser armazenada em uma garrafa (a chamada garrafa de Leyden) e vários esforços foram feitos para encontrar uma ligação entre os fluidos de calor e eletricidade.

No final do século XVIII, Benjamim Thompson, Conde de Rumford, alegou ter eliminado a teoria calórica, mostrando que uma quantidade aparentemente ilimitada de calor pode ser gerada pelo atrito metálico. Outras tentativas para estabelecer uma teoria cinética do calor foram observadas, mas não foram aceitas pela comunidade científica, que continuou a aceitar a teoria calórica, a mais plausível. Em uma leitura Fleckiana, Joule nasceu em um momento de resistência e complicações da teoria dominante, no caso, o calórico.

O estabelecimento do princípio da conservação da energia surge pela integração de áreas do conhecimento científico, aparentemente desconexas que contribuíram para o avanço da termodinâmica e do conceito de energia.

Podemos hipotetizar que a investigação da história do conceito de energia é semelhante à investigação do conceito de sífilis investigado por Fleck (2010), ou seja, a formulação moderna do princípio da conservação da energia parece ser o resultado do desenvolvimento e confluência de algumas linhas de CP de físicos, químicos, engenheiros, filósofos, fisiologistas e médicos.

Um fato importante a salientar é que, a confluência desses distintos coletivos parece que levou muitos membros a entenderem o termo “energia” como força. Podemos dizer que a partir de Fleck (2010, p.67), essa compreensão do termo energia como força é uma protoidéia¹⁴ que é difícil de decidir, sem considerar o contexto

¹⁴ Protoidéia para Fleck (2010), são idéias pré científicas de um determinado conceito que podem ser afins e vagas que de certa maneira estão ligadas evolutivamente a idéias posteriores.

histórico, se seria correta ou falsa; para o pensamento da época era adequada, embora atualmente seja inadequada.

Segundo Martins (1984) para se chegar ao princípio da conservação da energia foi necessário o trabalho de muitos pesquisadores, que contribuíram de diferentes formas para a elaboração da teoria e sua fundamentação experimental. Isto é corroborado por Fleck (1986) em que a emergência de um fato científico se dá pelo trabalho individual, que contribui para o coletivo, sendo mediado por um EP inserido em um contexto histórico. Segundo ele, isto pode ocorrer pela circulação inter e intracoletivas de ideias e práticas, por meio de divulgação dos trabalhos dos cientistas em revistas científicas, palestras e conferências.

Para Kuhn (1977), existem dois momentos fundamentais para a elaboração do princípio da conservação da energia: um entre 1800 e 1842, em que o princípio de convertibilidade das várias forças¹⁵, em especial, de calor em trabalho, era compartilhado por vários pesquisadores da época (C. F. Mohr, William Grove, Faraday e Liebig) sem, contudo, envolver a ideia de conservação. Esta “força” mais tarde viria a ser chamada pelos cientistas de energia. O outro momento ocorre entre 1842 e 1847, em que há a “descoberta” simultânea do princípio da conservação da energia; este período é marcado pela “generalidade na formulação” e “aplicações quantitativas concretas”, características que fizeram do princípio da conservação da energia, uma das descobertas mais importante da história da ciência (KUHN, 1977).

No caso particular de Joule, ele participou desses dois momentos no processo de construção do princípio da conservação da energia. Segundo Cardwell (1989), as principais motivações de Joule eram técnicas e econômicas, sobre as quais discorreremos ao longo desta seção.

As investigações de Joule foram o marco principal de como os processos de conversão demarcaram a base experimental da conservação da energia e possibilitaram os laços fundamentais entre os vários cientistas, principalmente, os da engenharia do vapor. Em 1838, Joule estava preocupado com os motores elétricos e

¹⁵ Naquela época, o que conhecemos hoje como energia, era chamado de força.

em 1840, o seu estudo dos motores, em termos de trabalho e funcionamento, o aproxima dos investigadores das máquinas a vapor: Carnot, Séguin, Hirn e Horltzmann.

Essa preocupação de Joule é reflexo da grande euforia elétrica que varreu a Europa e os Estados Unidos. Monarcas e ministros financiaram os inventores entusiasmados. Os motores eram feitos para conduzir todos os tipos de máquinas, bombas, barcos nos rios e lagos. Como parte desta euforia elétrica, sociedades foram criadas, tais como a *Sociedade Elétrica de Londres* para promover o estudo da eletricidade. Por volta de 1836, surgem os primeiros periódicos a se preocuparem com os estudos de eletricidade como os *Anais de Eletricidade* e o *Guardian de Química e Ciências Experimentais*. Outros jornais foram lançados, tais como os *Transactions of the London Electrical Society* e os *Archives d'Electricité*. Os *Anais* eram um periódico interessante e seus dez volumes, 1836-1843, abrangeram o ponto alto da euforia elétrica e onde os primeiros trabalhos de Joule foram publicados (CARDWELL, 1989).

Os dois pesquisadores que forneceram aspectos importantes na formação de Joule em eletricidade foram Michael Faraday e William Sturgeon. Os trabalhos de Sturgeon com o eletroímã de núcleo de ferro, em 1825 e sua invenção do comutador em 1836, abriram um vasto e novo campo de experimentação. O comutador despertou o interesse imediato em motores magnetoelétricos, “dínamos” e “motores elétricos”; Faraday começou sua famosa série de pesquisas experimentais de eletricidade em 1831.

Joule foi um leitor atento dos *Anais de Eletricidade* de Sturgeon, a partir do aparecimento do primeiro volume em 1838 e a interrupção por dificuldades financeiras em 1843. William Sturgeon foi um amigo da família Joule e em 1840, tornou-se superintendente da Royal Victoria Gallery of Practical Science in Manchester.

Manchester era um lugar que despertava grandes interesses, devido à inovação tecnológica e implicação prática do discurso científico. Joule foi diretamente exposto à tecnologia e a ciência em seus contatos com Sturgeon, com amigos da família de seu pai, como John Dalton, presidente da Sociedade Literária e Filosófica de Manchester. Joule manteve um relacionamento agradável com a sociedade, foi eleito membro em 25 de janeiro de 1842, e posteriormente, tornou-se bibliotecário em 1844, secretário honorário em 1846, vice-presidente em 1851 e presidente da sociedade em 1860. Seus

interesses iniciais e seu trabalho científico continuaram mostrando as influências no seu ambiente de Manchester.

Segundo Cardwell (1976), Manchester era uma cidade industrial, sem muita grandeza antes de 1800, que desenvolveu duas importantes características no tempo de Joule: a primeira foi a “alta tecnologia”, para o contexto da época que caracterizava a cidade e seus arredores, a partir do início do século; a outra foi a sociedade Literária e Filosófica de Manchester, que com Dalton chefiando, havia conferido imenso prestígio da ciência no que poderia ter sido um ambiente filisteu, comparável com o de Birmingham e Sheffield.

Manchester era uma cidade de engenharia. Esta deve ter sido a influência sobre Joule desde sua infância, dos dias em que ele e seu irmão costumavam assistir aos primeiros trens correndo entre Liverpool e Manchester e, provavelmente, a partir das conversas dos visitantes à casa de Joule. Trabalhos de Joule mostram, claramente, certo grau de competência e familiaridade com termos de engenharia. Seu aparelho no Science Museum em Manchester confirma suas habilidades técnicas. Ele cita com aprovação, a aptidão mecânica de seus conhecidos como Ash Arstall, John Frederick Dancer, fabricante de instrumento e inventor de microfotografia, que se casou com a prima de Joule. William Sturgeon foi um amigo da família e apoiante de Joule e , em 1843, Eaton Hodgkinson era um engenheiro líder em Manchester. Joule, em suma, estava no ápice da pirâmide social que tinha como sua fundação, instaladores, desenhistas, mecânicos e técnicos, de modo que despertou a admiração de observadores contemporâneos como Andrew Ure (CARDWELL, 1989).

Joule, desde os tempos em que esteve sob orientação de Dalton, teve contato com outros estudantes que vieram a dar contribuições tecnológicas importantes, tais como o filho de William Henry, William Charles Henry, o engenheiro Eaton Hodgkinson; o engenheiro e inventor do contador de gás Samuel Clegg; o médico e historiador Samuel Hibbert Ware; Richard Potter professor de filosofia natural e Bennet Woodcroft, quem mais tarde estabeleceria o museu de Ciências de Londres.

Em uma leitura a partir de Fleck (1986), esse seria o coletivo do qual Joule participou e que, possivelmente, influenciou o seu trabalho; em sua maioria com uma formação técnica, que propiciou a formação de um CP de técnicos.

O que podemos dizer dessa época é que houve uma quantidade grande de homens que elaboravam técnicas de maneira artesanal, ou seja, muitos artefatos que foram construídos, não foram no meio acadêmico, e sim por pessoas da sociedade da época, como industriais e inventores, principalmente os cervejeiros de Manchester. Assim, em uma leitura fleckiana, houve a formação de um coletivo de técnicos, do qual Joule fez parte e que estaria no círculo exotérico, em relação ao círculo esotérico dos cientistas de Londres.

Assim, Joule fez parte de um EP tecnicista e participava de um coletivo de investigadores exotéricos em relação ao círculo esotérico dos cientistas de Londres. Tal interpretação está de acordo com a definição de Fleck (2010, p.110) sobre E.P,

O estilo de pensamento não é apenas esse ou aquele matiz dos conceitos e essa ou aquela maneira de combiná-los. Ele é uma coerção definida de pensamento e mais: a totalidade das disposições mentais, a disposição para uma e não para outra maneira de perceber e agir. Evidencia-se a dependência do fato científico em relação ao estilo de pensamento.

Diante disso, podemos dizer que Joule passou por um processo de coerção de pensamento das pessoas do ambiente em que vivia. O ambiente industrial de Manchester, a convivência com amigos da família que tinham um conhecimento técnico, a sua infância e adolescência na cervejaria do pai, o patrocínio de industriais e governantes aos inventores foram fatores coercitivos e abriram uma disposição mental para que tivesse um interesse econômico e um EP tecnicista.

Joule é um exemplo de indivíduo que fazia parte de um CP que não é, na linguagem fleckiana, a soma de vários outros indivíduos, já que nunca ou quase nunca, o indivíduo está consciente do EP que exerce: uma força coercitiva em seu pensamento e contra qualquer contradição, é simplesmente impensável.

O primeiro artigo de Joule foi curto; nele, descreve algumas melhorias que fez no projeto do eletromagneto a partir do motor que estava construindo. Concentrou o assunto sobre os problemas da construção de eletroímãs, pesquisando sobre o melhor arranjo dos imãs para garantir uma melhor eficiência do motor. Este interesse de Joule pelo aperfeiçoamento do motor, veio dos investimentos dados pelos governantes da época que conduziram vários pesquisadores a estudarem o aperfeiçoamento e até

mesmo a substituição do motor a vapor. Este era o problema a ser resolvido que levou o coletivo de técnicos a se debruçar em tentativas e levaram os membros do coletivo dos técnicos a publicarem artigos nos *Anais de eletricidade*.

As primeiras pesquisas de Joule foram diretamente inspiradas pelo trabalho de Sturgeon com motores elétricos. Ele queria construir um motor melhor do que qualquer outro que havia sido construído antes. A fim de fazer isso, concentrou-se sobre os problemas da construção de melhores eletroímãs e sobre o arranjo mais eficaz dos ímãs.

Assim, mediante um problema - a substituição do motor a vapor pelo elétrico - ocorreu a circulação intercoletiva de idéias e práticas através da influência pessoal de Sturgeon, por meio da leitura dos artigos dos Anais de eletricidade e dos trabalhos de Faraday por Joule. Sturgeon, mais tarde, relatou que, embora Joule não tenha mencionado no artigo, ele queria aplicar este motor para a propulsão de barcos e locomotivas. Isto mostra o interesse econômico e técnico de Joule (CARDWELL, 1989). O que reforça por meio de uma leitura na perspectiva fleckiana, que Joule estava imerso em um EP, aqui caracterizado e denominado como *tecnicista*, desenvolvido no processo de industrialização do século XIX.

No segundo artigo: “*Descrição de um motor eletromagnético com experimentos*”, Joule conseguiu construir um motor e testou o seu poder de elevação, cuja taxa de peso que foi capaz de levantar fora muito lenta:

[...] pesa sete libras e meia é o maior poder que eu tenho sido capaz de desenvolver com uma bateria de Wollaston quarenta e oito placas de quatro polegadas era levantar 15 libras pés por minuto, em que estimam o atrito do trabalho das partes, que foi muito importante, era considerado como a carga. O resultado mostra que as vantagens de um acordo final de eletroímãs não são como eu previa (JOULE, 1838, p.4).

Para Joule, a velocidade de rotação do motor era muito lenta, apenas 3,5 m/s e concluiu que a suscetibilidade do núcleo magnético foi um fator que interferiu na velocidade e eficiência do motor. Tal suscetibilidade está diretamente ligada à resistência que se opõe ao ferro para a indução instantânea de magnetismo. A partir disto, Joule voltou suas investigações para o núcleo do eletroímã, estudando as

propriedades magnéticas do ferro em suas várias formas e a corrente que flui nos fios sobre o núcleo.

Joule passou, de dezembro de 1838 a março de 1839, realizando experimentos com o uso de eletroímãs com vários tipos de núcleos de ferro, aço e com os núcleos ocos. Tanto as capacidades de atração à distância e levantamento dos imãs com cada um dos núcleos diferentes foram testados. Sua conclusão foi que, na maioria dos casos, as modificações no núcleo do eletroímã não poderiam aumentar substancialmente o desempenho do motor:

É evidente a partir deste que o ímã oco tem a maior força de atração. Mas a diferença entre os dois é penso eu, dificilmente seria suficiente para contrabalançar as vantagens práticas que pertencem ao sólido eletroímã se usado no motor (JOULE, 1839, p.9).

Concluído o estudo do núcleo, o próximo passo seria o estudo da corrente sobre o núcleo. Para testar este efeito, Joule construiu um galvanômetro e, em seguida, determinou a quantidade de eletricidade indicado pela graduação do galvanômetro.

A quantidade de eletricidade foi uma medida importante para Joule, já que a fonte de sua corrente fora uma bateria e, somente esta era de importância direta para a consideração das características dos eletroímãs. A quantidade de eletricidade forçou a atenção de Joule, porque a produção da corrente necessitava absorver os componentes de sua bateria. Ele fez uma avaliação do funcionamento das baterias que usava, pois além de tomar cuidado para fornecer uma corrente constante, tinha que resolver os problemas para encontrar metais adequados para seus eletrodos e de organizá-los para produzir a polaridade desejada.

Joule realizou uma série de experimentos em relação aos efeitos de várias correntes sobre a capacidade de elevação de cinco diferentes eletroímãs e compilou os resultados em uma tabela. Para completar seu estudo de todos os possíveis fatores que poderiam afetar o desempenho de um eletroímã, ele construiu dez ímãs adicionais. Estes possuíam núcleos de mesma área transversal, como aqueles previamente testados, mas usando duas vezes o comprimento de fio encapado. Os testes sobre estes ímãs também foram resumidos em uma tabela.

Essas experiências iniciais que Joule realizou em eletroímãs e correntes voltaicas muito avançadas mostrou sua habilidade, tanto como um experimentador, como um cientista. Um fator relevante a destacar no trabalho de Joule é que antes de realizar os seus experimentos, ele tinha suas concepções teóricas, pois realizava todo um planejamento dos experimentos, com a finalidade de testar as suas especulações teóricas:

Acho que o plano que eu tinha proposto para um novo motor deve ceder às visões ditadas pelas experiências acima. Tanto quanto eu vejo no momento, eu acho que vai ser melhor usar apenas dois, e estes muito grandes eletro-ímãs e concentrar-se-lhes toda a força da corrente elétrica que pode comandar (Joule, 1839, p. 14).

Ele acreditava, desde o início, que era possível substituir o motor a vapor pelo elétrico e que podia construir um motor melhor do que qualquer outro que existia na época. Assim, pegou como exemplo, alguns motores elétricos feitos por Sturgeon, o que na interpretação por meio da epistemologia fleckiana, seria uma conexão ativa, pois parte de algo já preconcebido e tenta modificar e aperfeiçoar o motor por meio do estudo de melhores eletroímãs, arranjo dos ímãs e as correntes elétricas que passam no núcleo do eletroímãs.

Assim, como resultado desse planejamento, com a finalidade de testar as suas especulações teóricas acerca dos eletroímãs para o aperfeiçoamento do motor, por meio do uso de seu próprio galvanômetro, ele aprendeu a importância da medição delicada e cuidadosa. Neste caso, o papel das medidas e a exatidão são também elementos teóricos que faziam parte do trabalho de Joule, pois queria antes de fazer uma simples medida, fazer uma medida a mais precisa possível.

Outra característica importante foi a matematização, pois Joule compartilhava do pensamento da ciência moderna e este processo de matematização foi apreendido ainda quando era aluno de Dalton. Assim, a partir destes elementos teóricos, oriundo do CP que compartilhava e das suas motivações pessoais em construir o melhor motor elétrico é que Joule procurou estabelecer, intencionalmente, por meio de relações (conexões ativas) entre as grandezas envolvidas e medidas por ele (conexões passivas), uma lei geral sobre o comportamento dos eletroímãs em relação a sua corrente:

Os experimentos parecem indicar uma importante lei, que pode ser expressa da seguinte forma: - A força atrativa de dois eletroímãs para o outro é diretamente proporcional ao quadrado da força elétrica para o qual o ferro é exposto: ou, se E denotar o corrente elétrica, W o comprimento do fio, e M a atração magnética, então $M = E^2W^2$ (JOULE, 1839, p.13).

...Eu mal posso duvidar de que o eletromagnetismo acabará por ser substituído por vapor para impulsionar máquinas. Se a potência do motor é proporcional à força de atração dos seus ímãs e se esta atração é o quadrado da força elétrica, a economia será a razão direta da quantidade de eletricidade e o custo do trabalho do motor pode ser reduzido ad infinitum. É, no entanto, ainda a ser determinado em que medida os efeitos da eletricidade magnética pode desapontar estas expectativas (JOULE, 1839, p. 14).

Seu raciocínio era simples. A “economia” do motor era o trabalho realizado, dividido pela quantidade de combustível consumido ao mesmo tempo: o carvão, no caso de uma máquina a vapor e o zinco, no caso de um motor eletromagnético. Faraday mostrou que a quantidade de zinco consumido em uma bateria era proporcional à energia gerada, por isso a economia do motor era proporcional ao trabalho realizado dividido pela quantidade de eletricidade, ou simplesmente, à quantidade de eletricidade. Portanto, quanto maior a corrente, maior o trabalho. Ele acrescentou com cautela que esta expectativa otimista se realizaria (CARDWELL, 1989, p. 32).

O que podemos dizer da tentativa de Joule em construir o melhor motor para a época é que, mediante ao problema de substituir o motor a vapor por outro melhor, ele interagiu com membros do CP de técnicos, principalmente na figura de Sturgeon, que o levou a fazer constatações novas a respeito do eletroímã. A partir de uma leitura fleckiana, podemos dizer que o ato de conhecer de Joule está diretamente ligado à constatação de resultados inevitáveis sob determinadas condições dadas:

Estas condições correspondem aos acoplamentos ativos, formando a parte coletiva do conhecimento. Os resultados inevitáveis equivalem aos acoplamentos passivos e formam aquilo que é percebido como realidade objetiva. O ato da constatação compete ao indivíduo (FLECK, 2010, p. 83)

Parece que Joule nutria grandes esperanças de que substituiria o motor a vapor pelo elétrico, quando a alta pressão dos motores a vapor tinha sido introduzida, no início do século. A pressão do vapor aumentava muito mais rapidamente do que a temperatura, o que podemos chamar de conexões passivas, e isto o levou a ter

esperança de que o trabalho do motor e a alta pressão a vapor poderiam ser melhorados indefinidamente, o que conduziu Joule a fazer várias tentativas sobre a construção dos eletroímãs, que chamamos de conexões ativas. Uma pequena quantidade de combustível poderia gerar uma enorme pressão de vapor e, portanto, foi sugerido que se pudesse realizar uma quantidade imensa de trabalho (conexões ativas).

Esse trabalho trouxe a Joule várias conclusões novas. Sua lei dos fatores que regulam a atração de eletroímãs a uma distância, convenceu-o de que deveria abandonar o plano inicial de melhorar o motor elétrico, reorganizando a colocação de seus eletroímãs e a variação de seus núcleos. Sua nova lei indicava que as melhorias notáveis poderiam ser alcançadas simplesmente através do aumento da corrente. Todos os seus trabalhos anteriores tinham sido suficientes para convencê-lo de que só pequenos ganhos poderiam ser obtidos através da modificação do núcleo ou da reorganização dos eletroímãs. Todas estas constatações anteriores feitas por Joule, nomeamos de conexões ativas.

O objetivo dos experimentos de Joule permaneceu o mesmo: a intenção de construir um motor eletromagnético que substituiria o motor a vapor, mas o caminho para atingir este objetivo era, decisivamente, alterado pela sua nova lei. Sua atenção estava dirigida à corrente nos fios dos eletroímãs e, portanto, da necessidade de conhecimento para as características das baterias diferentes em uso no tempo. Um novo campo de investigação foi aberto para seus experimentos (STEFFENS, 1979, p. 7-8).

Steffens (1979) não concorda com a opinião de que, pelo fato de Joule considerar o custo de um motor trabalhar ser *ad infinitum*, frequentemente citado, não demonstra que ele não compreendia as limitações apresentadas pelo atrito da máquina ou até mesmo que ele tivesse posições muito próximas à aceitação do movimento perpétuo. De acordo com o autor, o conceito de movimento perpétuo teve pouco significado para o efeito Joule, mas foi extremamente importante, na medida em que relacionava com as ideias de convertibilidade das forças. A declaração de Joule sobre a redução *ad infinitum* de custos na gestão de uma máquina, pode ser atribuída a

razões positivas, ao invés da idéia negativa, já que ele não conseguira realizar as restrições contra o movimento perpétuo.

Essas razões positivas foram sentimentos de entusiasmo de Joule por ter detectado uma nova lei e sua suposição baseada em seu conhecimento incompleto e a experiência com baterias, de onde qualquer quantidade de eletricidade desejada poderia ser obtida. O fato é que Joule reconheceu as dificuldades apresentadas pelo simples atrito e isto ficou claro no seu segundo artigo publicado nos Anais de Eletricidade (JOULE, 1838, p.4). Os problemas do atrito da máquina foram corrigidos e nesta direção, a declaração do infinitum, parece apenas excessivamente entusiástica de um jovem com a esperança de encontrar um motor que iria superar o motor a vapor.

Depois dos trabalhos de 1838 e 1839, ele publicou uma série de trabalhos sobre as forças eletromagnéticas, cuja preocupação principal era investigar a natureza da atração eletromagnética e do magnetismo em metais. Nestas investigações, expandiu o seu interesse para incluir a sua fonte de corrente elétrica: a ação química da bateria.

Joule brevemente considerou a natureza da atração magnética e desenhou um diagrama para mostrar que um eletroímã atrai outro à distância pelas atrações combinadas das partículas magnéticas de um ímã para as partículas magnéticas do outro e vice-versa. Ele também qualificou sua lei da atração de dois eletroímãs, ao mencionar o fenômeno da saturação magnética e as propriedades indutivas do núcleo. Joule estabeleceu a sua lei de forma mais explícita como se segue:

A perda do poder de atração em consequência do comprimento pode ser facilmente verificado, mas nem isso nem a difusão de polaridade afeta a principal conclusão a que cheguei no que diz respeito às leis sob as quais a atração magnética, como aplicável à produção de força motriz é desenvolvida pela eletricidade, que a atração dos dois eletroímãs para o outro em qualquer caso é representado pela fórmula $M = W^2E^2$, onde M denota a atração magnética, W o comprimento do fio e E a quantidade de eletricidade produzida por este fio em um determinado período de tempo, uma fórmula modificada pelo simples efeito da saturação, o poder indutor do ferro e a distância dos núcleos das bobinas da superfície do ferro (JOULE, 1840, p. 21).

Essa foi certamente uma apresentação mais sofisticada. Joule também tinha começado uma nova série de experimentos, utilizando o seu galvanômetro e vários eletroímãs dispostos para testes em seu motor experimental.

Joule fez uma série de pressupostos importantes sobre o atrito, trabalho e corrente elétrica. Infelizmente, não foi bastante claro. Concluiu que o atrito é estimado como parte do trabalho e ainda o utilizou para calcular a força que envolvia outras quantidades de corrente elétrica; além disso, encontrou a quantidade de corrente elétrica capaz de superar exatamente a mesma quantidade de atrito.

É muito tentador dizer que Joule detectou a equivalência entre a corrente elétrica e a força produzida de um sistema motor elétrico. Mas, uma profunda reflexão sobre o artigo vai mostrar que isto não seria totalmente verdade. O que deve ser ressaltado é que em março de 1840, Joule tinha todos os elementos teóricos e experimentais necessários para concluir que houve um equivalente exato, um equivalente mecânico entre a quantidade de corrente elétrica e a quantidade de força produzida em qualquer máquina elétrica. Ele ainda estendeu essa equivalência para usar o termo "trabalho", quando calculado o dever do motor, em termos de efeito de uma libra de zinco, levantando pesos para uma determinada altura, uma vez que um quilo de zinco produzia uma quantidade determinada de eletricidade para uma determinada máquina e o seu circuito; isto foi o mesmo que dizer que uma determinada quantidade de corrente produzia uma determinada quantidade de trabalho em termos de libras levantadas para uma altura em metros.

Essa equivalência recém-descoberta, que pela epistemologia fleckiana é uma conexão passiva, não constituiu interesse principal de Joule na época; havia, na verdade, várias ambiguidades na apresentação dos seus resultados. Ele nunca descreveu exatamente o que entendia por atrito, nem como relacionou atrito e trabalho. O atrito, simplesmente, representou um obstáculo para a ação e não estava relacionado às perdas de calor. Seu interesse principal estava fixado, em vez disso, no desempenho geral da máquina elétrica. Os dados sobre o trabalho e suas experiências com a fricção e os valores de corrente foram apenas um meio para julgar o desempenho da máquina. Ele ainda estava concentrado em seu objetivo de desenvolver um motor elétrico para substituir o motor a vapor (STEFFENS, 1979, p. 11-12).

O EP técnico de Joule o impediu de ver qualquer coisa além daquilo que estava procurando, no caso a substituição do motor a vapor pelo elétrico. O que para

Fleck (1986, p. 139) o EP é direcionador da pesquisa, e em alguns casos, não permite ao pesquisador ver outras formas, além daquela que o direciona, que é o componente principal do EP, pois permite a evolução de um determinado conhecimento. Neste momento, para Joule os processos de conversão ainda não eram o foco de sua pesquisa.

Joule estava esperançoso neste momento de encontrar melhorias na construção do motor para aumentar a sua eficácia. Ele concluiu seu artigo, como era de costume, indicando o curso de suas próximas pesquisas: planejava descobrir as maneiras para aumentar a condutividade das bobinas dos eletroímãs e aumentar a suavidade do núcleo de ferro. Também planejou encontrar formas de aumentar a intensidade dos elementos da bateria, pois seus experimentos mostraram que a intensidade maior levou a um aumento do lado direito do motor (STEFFENS, 1979, p.12).

O segundo artigo de Joule “Sobre Forças Eletromagnéticas” estabelecia normas gerais a serem observadas na construção de eletroímãs para obter maior poder de elevação,

Tentarei neste artigo lançar alguma luz sobre o assunto (fabricação de eletroímãs) e descrever uma construção que apresente resultados superiores que até agora têm sido alcançados. Era meu desejo de fazer minhas experiências tão exatas quanto possível, e como eu desejo a relação deles para ser claro e definido, vou começar com algumas observações sobre a medida da corrente elétrica indicada pelo galvanômetro, um instrumento útil, mas não só essencial em uma investigação como a seguinte (JOULE, 1840, p. 27). A grande dificuldade, senão a impossibilidade, de experimentos de compreensão e compará-los com uma outra surge em geral a partir de descrições incompletas de aparelhos e dos números de forma arbitrária e imprecisa que são utilizados para caracterizar as correntes elétricas. Tal prática pode ser tolerada nos primórdios da ciência, mas em seu estado atual de avanço, maior precisão e propriedade são demandados. Tenho, portanto, determinado pela minha parte abandonar meus números quantidade e de expressar os meus resultados na base de uma unidade que deve ser ao mesmo tempo científico e conveniente (JOULE, 1840, p. 27).

Essa citação do artigo de Joule mostra mais uma de suas pré-concepções teóricas no planejamento para a melhoria do motor. Como afirmamos anteriormente, a busca de exatidão nas medidas dos experimentos realizados é um elemento teórico do ponto de vista epistemológico e, de certa forma, fazia parte da atmosfera da época do coletivo de técnicos do qual Joule interagia. Havia também interesses econômicos do

governo inglês em obter medidas cada vez mais precisas em vários ramos da indústria inglesa, sobretudo na cervejeira, onde Joule atuava. Então, podemos dizer que esta busca da exatidão, além de ser um elemento epistemológico, era também uma influência econômica e política no trabalho de Joule, principalmente porque a sua motivação inicial em construir o melhor motor foi devida aos investimentos do governo, na época, para os inventores; existiu, inclusive, uma política pública de criação de laboratórios de instrumentação e no investimento em inventores na busca de melhor precisão das medidas.

Essa insistência na exatidão e comparabilidade dos resultados experimentais foi um aspecto muito importante do trabalho científico de Joule. Bem desenvolvida até o verão de 1840, esta insistência pode ser considerada um fator fundamental no tipo de trabalho científico, que mais tarde, Joule viria a realizar. Sua ênfase na precisão e comparabilidade torna imprescindível para o desenvolvimento dos seus padrões de medida, incentivando-o a procurar equivalências entre os resultados experimentais. Seu trabalho com eletroímãs levou-o a estabelecer comparações entre os diversos fatores que regem o desempenho do imã: a corrente, os fios do núcleo, poder de elevação e assim por diante. Ele não só desenvolveu uma lei para a “força de atração” entre eletroímãs, mas veio perceber que uma determinada quantidade de corrente foi sempre necessária para superar o “atrito” do motor eletromagnético.

No artigo de agosto de 1840, Joule reconheceu que a medida da corrente daria os meios mais precisos de comparar suas informações sobre o desempenho dos motores. Além disso, a consciência da necessidade de rigor na investigação científica, preocupação que ele havia adquirido na sua interação com Dalton, esteve relacionada com o reconhecimento (principalmente o resultado de seus trabalhos “sobre as forças eletromagnéticas”).

Joule nos forneceu o primeiro indício importante direto para sua formação intelectual, quando descreveu a unidade de eletricidade para servir como base para seus cálculos. Ficou claro que havia lido, no verão de 1840, as partes e talvez todas as pesquisas experimentais em eletricidade de Michael Faraday. Sua leitura de pesquisa sobre Faraday, provavelmente estimulou um novo zelo de Joule para a exatidão (conexão ativa) da ciência experimental (conexão passiva). Certamente, o trabalho de

Faraday foi o melhor exemplo disponível para completar, precisar e inspirar as pesquisas experimentais.

O grau preciso de inspiração que Joule recebeu do exemplo de Faraday é difícil de determinar, mas não pode haver dúvida de que se beneficiou muito do conteúdo concreto do trabalho de Faraday em química e eletricidade. Ele não só ampliou seu conhecimento de experimentos elétricos, mas também passou a aceitar as leis de Faraday da eletrólise como verdades fundamentais e como base para todos os seus cálculos e experimentos para os próximos três anos. Joule invocou unidades de energia elétrica para as unidades de seus cálculos e aceitou as leis de Faraday da eletrólise como fundamental para a comparabilidade e precisão de seus resultados. Vejamos como Joule assumiu as unidades propostas por Faraday:

Que (unidade de medida), proposto pelo Dr. Faraday é creio eu, o único padrão do tipo que tem sido sugerido. Sua descoberta da quantidade determinada de eletricidade associada com os átomos ou equivalentes químico das massas, tinha induzido ele a usar o voltímetro como um medidor e propor que o centenário parte do centímetro cúbico de gases misturados formando água deve constituir um diploma. [Pesquisas Experimentais, série 7 (736).] Não pode haver dúvida de que este sistema poderia oferecer grandes vantagens para o pesquisador, em alguns casos, como eu não estou ciente de que tem sido utilizado em pesquisas de qualquer eletricista, sem excetuar as do próprio Faraday, eu não hesitaria em fazer avançar o que eu penso mais adequado, bem como geralmente vantajoso. Portanto, simplesmente declarou:

1. Um certo grau de eletricidade estática é a quantidade que é apenas capaz de decompor nove grãos de água.
2. Um certo grau de eletricidade atual é a mesma quantidade propagada durante cada hora.
3. Onde ambos o tempo e o comprimento de condução são elementos, como em eletrodinâmica, um grau de força elétrica, ou de impulso eletromomento, é indicado por essa mesma quantidade (um grau de eletricidade estática) propagado por todo o comprimento de um pé em um tempo de uma hora (Joule, 1840, p. 28).

Joule assumiu as unidades de medida expostas no trabalho de Faraday e indicou que a unidade de um grau elétrico seria muito útil nos cálculos de decomposição eletroquímica, desde que os pesos equivalentes fossem conhecidos. Joule ampliou seu conhecimento de todos os tipos de fenômenos elétricos, lendo as experiências de Faraday e adquirindo com isto um conhecimento profundo da eletrólise.

Fazendo uma análise do trabalho de Joule, quanto às suas interações com Dalton e Faraday, o que notamos é a circulação intracoletiva e intercoletiva de idéias e

práticas de Joule com estes cientistas; o primeiro por meio da tutoria, o segundo por meio da leitura dos artigos. Além disso, neste processo de interação, percebemos a formação de coletivos momentâneos. O que Fleck define (2010) é que sempre temos um CP, quando duas ou mais pessoas trocam ideias, sendo coletivos casuais de pensamento, que aparecem e desaparecem a cada momento. Entretanto, eles podem fornecer uma coerção de pensamento ou uma predisposição peculiar. No caso de Joule, o que há em comum na interação com esses dois homens de ciência (Dalton e Faraday) e que influenciou sua maneira de conduzir as suas pesquisas experimentais é a constante busca para a exatidão das medidas, o que, conseqüentemente, conduziu Joule a um *EP*, que vamos denominar de *eficiência experimental*.

3.3.4 O coletivo dos cientistas e a emergência de um fato científico: O Efeito Joule

Joule continuou a encontrar maneiras de melhorar os motores elétricos, variando os arranjos dos ímãs dos eletroímãs e testando-os com várias correntes; fez, também, algumas melhorias em uma bateria de células, construídas em ferro fundido de um modelo sugerido por William Sturgeon. Em suas pesquisas com eletroímãs, constatou que a potência máxima de elevação destes é proporcional a área de seção transversal do circuito magnético e, ao mesmo tempo, apontou o método pelo qual uma atração magnética muito grande poderia ser produzida entre as massas de ferro de magnitude considerável. Ele mesmo desenhou um novo tipo de eletroímã com um poder de elevação jamais alcançado; todas estas melhorias tinham como objetivo substituir o motor a vapor (JOULE, 1841, p.42-46).

Antes de fevereiro de 1841, Joule percebeu que precisaria mudar o seu objetivo, pois começou a perceber que já estava no limite da eficácia de seus motores eletromagnéticos. As mudanças ocorreram quando ele tomou conhecimento do fenômeno da autoindução do motor eletromagnético, fenômeno estudado por Jacobi¹⁶. Joule fez uma breve apresentação de sua mudança de opinião, em uma palestra na Galeria de Victoria, em Manchester, em 16 de fevereiro de 1841. Algumas de suas

¹⁶ Moritz Von Jacobi (1801-1874) físico e engenheiro alemão de origem Judaica, irmão do famoso matemático Carl Gustav Jacob Jacobi (1804-1851) desenvolveu projetos com o motor elétrico, eletrotipografia com destaque nos estudos de galvanoplastia.

novas experiências na autoindução convenceram-no de que sua meta de melhorias não poderia ser atingida. Com estas palavras, Joule disse à sua audiência:

Somos gratos ao professor Jacobi pela exposição do principal obstáculo para a perfeição do motor eletromagnético. Ele tinha mostrado que a ação elétrica produzida pelo movimento das barras opera contra a corrente da bateria, e desta forma reduz o magnetismo das barras, até que, a certa velocidade, as forças de atração tornaram equivalentes à carga sobre o eixo, e em consequência o movimento deixa de ser acelerado. Jacobi não tinha, porém, dado detalhes precisos sobre o lado direito do seu aparelho, nem tinha, então, determinado as leis do motor. Eu estava, portanto, induzido a construir um motor adaptado para experimentar (JOULE, 1841, p.47).

Por meio da circulação intercoletiva de idéias e práticas de Jacobi para Joule, em que Jacobi participa do coletivo dos cientistas e Joule do coletivo dos técnicos, possibilitou a Joule, em sua palestra, expressar o início da tomada de consciência de uma complicação (o fenômeno da autoindução) no processo de substituição do motor a vapor. Joule no seu primeiro trabalho “sobre as forças eletromagnéticas” tinha notado este efeito, mas viu o problema como uma simples resistência a ser resolvida, se possível, melhorando a capacidade de condução das bobinas de ferro e o encontro de núcleos mais suaves de eletroímãs.

O trabalho de Jacobi fez Joule perceber que o problema era mais do que uma simples resistência; inicialmente, Joule não aceitou prontamente o trabalho de Jacobi, mas construiu alguns aparatos para testar o fenômeno. Primeiro, detectou que a magneto-resistência elétrica para a corrente da bateria era proporcional à velocidade das barras. Este foi um resultado decisivo, porque a potência do motor depende em larga medida da velocidade de rotação que poderia ser alcançada. Fez também avaliações cuidadosas do trabalho das baterias que ele usava e de sua resistência interna (STEFFENS, 1979).

Em uma leitura fleckiana, esta não-aceitação parcial de Joule do fenômeno da autoindução detectado por Jacobi, é concebida da seguinte maneira:

[...] O pesquisador fica tateando: tudo cede, não há nenhuma referência firme. Tudo é percebido como efeito artificial que obedece à própria vontade: cada formulação se dilui no próximo teste. Ele procura a resistência, a coerção de pensamento, em relação às quais ele poderia se sentir em uma posição passiva. Da lembrança e da educação surgem ajudantes: no momento da procriação científica, o pesquisador personifica a totalidade de seus ancestrais

físicos e mentais, de todos os amigos e inimigos, que favorecem e bloqueiam suas atividades. O trabalho do pesquisador consiste em diferenciar, no meio da confusão incompreensível, no caos que enfrenta entre aquilo que obedece à sua vontade e aquilo que resulta de si mesmo e que resiste à sua vontade (FLECK, 2010, p. 144).

Joule se mostra resistente às investigações de Jacobi, mas resolve investigar e realizar medidas, contrapondo as suas convicções com aquilo que resiste a sua vontade. O resultado de todas as suas experiências sugeriu que por causa da magnetoresistência e do consumo de líquidos de zinco e bateria, o motor elétrico nunca seria capaz de superar o motor a vapor. Joule fez os cálculos, detalhando a eficiência de cada motor. Ele encontrou que:

Cada quilo de zinco consumido em uma bateria de Grove produziu uma força mecânica (fricção incluída) igual a um aumento de peso de 331.400 libras à altura de um pé, quando os ímãs girando estavam se movendo a uma velocidade de 8 metros por segundo.

Agora, o dever do melhor motor a vapor da Cornúália é de cerca de 1.500.000 libras elevado à altura de 1 pé pela combustão de um quilo de carvão, que é quase cinco vezes o dever extremo que eu era capaz de obter do meu motor eletromagnético através do consumo de libras de zinco. Esta comparação é tão desfavorável que eu confesso que quase desespero do sucesso de atrações eletromagnéticas como uma fonte de poder econômico (JOULE, 1841, p. 48).

Joule admitiu que seus motores, apesar das melhorias em relação aos construídos antes, ainda eram imperfeitos. Concluiu que o motor comum eletromagnético poderia ser considerado útil, apenas em circunstâncias muito especiais.

A partir de uma leitura fleckiana, a dinâmica de transformação e produção do conhecimento ocorre fundamentalmente por meio de dois elementos principais: um problema que se torna uma complicação dentro de um determinado EP e a circulação intercoletiva de ideias e práticas, que se tornam eficazes, quando ocorre a conscientização da complicação do problema. No caso de Joule, a transformação e produção do conhecimento foram encontradas, por meio da circulação intercoletiva, ao estudar o artigo de Jacobi e começar a perceber um problema que foi o fenômeno da magnetoresistência (conexões ativas) estudado por ele. Mediante isto, realizou várias medidas (conexões passivas), adquirindo a consciência da complicação e resolvendo o problema, além de concluir que, até aquele momento, o motor elétrico nunca poderia

substituir totalmente o motor a vapor. O resultado desta circulação intercoletiva tem como consequência para Fleck (2010, p.161):

[...] Qualquer tráfego intercoletivo de pensamentos traz consigo um deslocamento ou uma alteração dos valores de pensamento. Do mesmo modo que a atmosfera comum dentro do coletivo de pensamento leva a um fortalecimento dos valores de pensamento, a mudança de atmosfera durante a migração intercoletiva provoca uma mudança desses valores em toda a sua escala de possibilidades: da pequena mudança matizada, passando pela mudança completa do sentido até a aniquilação de qualquer sentido do novo coletivo, que surge mediante o entrelaçamento com seus conceitos. Essa alteração do estilo de pensamento-isto é, a alteração na disposição à percepção direcionada-oferece novas possibilidades de descobertas e cria fatos novos.

Esse processo de conscientização e resolução do problema por meio da circulação intercoletiva de ideias teve como consequência uma mudança de EP tecnicista para um EP científico. Neste sentido, quando Joule concluiu que até aquele momento era impossível substituir o motor a vapor pelo elétrico, decidiu mudar o rumo de suas pesquisas, mas não desistiu da ideia inicial de tentar substituir o motor a vapor pelo elétrico; nesta nova fase, ele começou a se preocupar com questões mais teóricas, que nos ajuda a caracterizar a sua transição para o EP científico.

Em uma palestra, em fevereiro de 1841, Joule ofereceu uma ideia inicial de suas preocupações teóricas mais importantes relacionadas às suas experiências anteriores. Suas considerações sobre os motivos para o alongamento de barras de ferro, submetidos ao magnetismo induzido, mostraram que era pelo menos, parcialmente, familiarizado com a teoria atômica da sua época. Também estava familiarizado com algumas das teorias mais proeminentes do eletromagnetismo. Rejeitou a teoria de Ampère, porque não parecia aplicar-se ao novo fenômeno magnético que estava investigando, mas aceitou, em seu lugar, o que ele chamou de "uma teoria modificada do Aepinus". No entanto, a sua preocupação principal nesta nova fase foi com as relações de calor e eletricidade (STEFFENS, 1979).

Uma das primeiras pesquisas realizadas depois da transição, como cientista, foi com baterias e de calor gerado por correntes elétricas. Estas pesquisas, como veremos mais adiante, possibilitaram o surgimento de outro conhecimento novo - a lei de que o

calor produzido em um elemento do circuito é proporcional resistência multiplicada pelo quadrado da resistência, mais conhecida como efeito Joule. Esta exposição feita até o momento ilustra muito bem a gênese de um fato científico, no caso aqui o do efeito Joule. Este trabalho de Joule, na tentativa de substituição do motor a vapor pelo elétrico, está bem em sintonia com que Fleck (2010, p. 144) afirma sobre a gênese de um fato científico: “Assim nasce o fato: primeiro um sinal de resistência no pensamento inicial caótico, depois de certa coerção de pensamento e, finalmente, uma forma (Gestalt) a ser percebida de maneira imediata”. A constatação feita por Joule é conhecida como efeito Joule, que aprofundaremos a seguir.

Um artigo enviado por Joule à Royal Society, no final de 1840, representa o início desta mudança de um técnico para cientista (CARDWELL, 1989). Tal artigo foi rejeitado na *Transactions*, mas um pequeno resumo apareceu nos *Proceedings* de dezembro de 1840, no qual afirmava que, se uma corrente elétrica passa através de uma bobina de fios, o calor gerado é proporcional a resistência e ao quadrado da corrente que passa pelo fio. Ele alegou que a lei se confirmava independentemente da forma ou tamanho de circuito ou o tipo de fio usado (J. F. Daniell disse que o calor, devido a uma corrente elétrica, dependia do tipo de metal que o fio fora feito). Este é o primeiro estudo quantitativo do famoso efeito Joule (CARDWELL, 1989, p. 35).

Em um artigo, datado de 25 de março de 1841, publicado no periódico *Philosophical Magazine*, Joule apresentou suas primeiras pesquisas que mostravam a relação entre calor e eletricidade, enfatizando que o interesse era ainda buscar uma melhoria para o motor elétrico, principal objetivo de sua pesquisa experimental. As origens do interesse de Joule na conexão entre calor e eletricidade estão diretamente ligadas ao seu trabalho anterior, com os vários tipos de baterias em uma tentativa de variar as correntes através das bobinas de seus eletroímãs. Além disso, Joule tinha a convicção de que o calor produzido pela passagem da corrente era exatamente proporcional à resistência:

É bem conhecido que a facilidade com que um fio metálico é aquecido pela corrente voltaica é inversamente proporcional à sua condução de energia, e acredita-se geralmente que essa proporção é exata. No entanto, gostaria de conhecer o fato para minha própria satisfação e, especialmente, como era de extrema importância saber se a resistência à condução é a única causa dos

efeitos do aquecimento. O detalhe, portanto, de algumas experiências de confirmação da lei, para além das já indicadas nas páginas de ciência, não será, espero eu, ser considerado supérfluo (JOULE, 1841, p. 60).

Nesse fragmento, Joule declara suas motivações teóricas na investigação da relação entre eletricidade e calor. Repetindo o que explicitamos na seção 3.3.2, a preocupação de Joule era saber: “se a resistência à condução é a única causa dos efeitos do aquecimento”. Quando ele declara nesta sentença a palavra “única” é para indicar uma ideia preconcebida em sua mente da equivalência entre os fenômenos da produção de calor e da passagem da corrente através da resistência (ROSENFELD, 1952).

No seu segundo trabalho “sobre as forças eletromagnéticas”, Joule testou o arranjo de células das baterias, que construiu para permitir a passagem de corrente de um fio e observar a cor atingida pelo fio, como resultado do efeito de aquecimento da corrente. Ele usava este método para comparar as intensidades das baterias que estudou. Joule comentou sobre o uso deste efeito como segue:

Recentemente construí uma bateria grande sobre o plano do Sr. Sturgeon, e por conta da minha experiência com isso estou convencido de que ela apresenta um arranjo muito superior de elementos voltaicos. Com oito pares dispostos em uma série de quatro... Eu posso levantar um calor bem vermelho de 18 centímetros de fio de cobre de 1/10 de polegada de espessura (JOULE, 1840, p. 39).

Esse arranjo construído com o plano de Sturgeon, com a intencionalidade de Joule observar o tipo de calor, constitui um elemento teórico (conexão ativa); a conclusão que Joule tira sobre o resultado de seus experimentos é que o efeito calorífico de quantidades iguais de eletricidade transmitida é proporcional à resistência oposta à sua passagem, seja qual for o comprimento, espessura, forma ou tipo de metal que fecha o circuito (STEFFENS, 1979). Ele também deduz de suas pesquisas, que o calor produzido pela combustão do zinco em oxigênio é também consequência da resistência à condução elétrica. Estas constatações de Joule, em uma leitura a partir de Fleck, são as conexões passivas.

O interesse de Joule no calor produzido pela condução de eletricidade não era original; houve uma série de investigações antes de 1840, e Joule parece ter tido

conhecimento destas pesquisas. Em 1821, Sir Humpry Davy tinha chamado a atenção para o calor produzido por um fio, na condução de eletricidade em suas pesquisas sobre os fenômenos magnéticos produzidos pela eletricidade (STEFFENS, 1979, p. 25).

Pesquisas extensas sobre a relação entre a condução de eletricidade e a produção de calor foram realizadas por William Snow Harris e Joule o havia estudado; seu próprio trabalho foi uma ampliação do trabalho de Harris com maior atenção dada as experiências e uma tentativa de maior precisão. Joule fez uma suposição, que não aparece na obra de Harris, de que a eletricidade é a causa do calor desenvolvido. Esta busca de maior precisão e sua suposição constitui, em uma análise a partir de Fleck, uma conexão ativa.

O trabalho de Harris de 1827 tinha sido uma investigação direta da condutividade dos metais estudados por meio do calor desenvolvido, quando a eletricidade passou por eles. Se for a eletricidade sozinha que causou os efeitos de aquecimento, não era importante em sua investigação; Harris simplesmente assume que o calor desenvolvido é independente da causa, que é uma conexão ativa. Entretanto, em um artigo de 1834, Harris fez alguns comentários sobre a natureza do calor e eletricidade. Suas observações são interessantes, pois Joule ao lê-las parece ter desenvolvido ideias semelhantes, na época em que escreveu seu artigo em 1841. Harris tinha aberto seu artigo falando das “ações sutis” e as “ações invisíveis” que operavam no mundo natural (STEFFENS, 1979); Joule também estava preocupado com esses “agentes invisíveis”, colocados no mundo pelo criador, mas conhecidos apenas pelos resultados de suas ações.

Para Joule, a primeira teoria do calor sobre a operação “invisível” da resistência à condução de eletricidade produziu calor observável e esta resistência foi mais do que simplesmente “atrito” dos fios apresentados ao fluido elétrico. Neste ponto, Joule não considerava o atrito como causa do calor. Eletricidade e calor estavam ligados de alguma maneira inexplicável (STEFFENS, 1979).

Joule decidiu testar o conteúdo experimental do trabalho de Harris por acreditar na hipótese (conexão ativa) de que existe um organismo invisível no mundo natural, designado pelo termo eletricidade, que pode ser inferida, a partir do contato de corpos desiguais por fricção e mudanças de temperatura. A primeira parte do artigo foi

dedicada a uma repetição dos experimentos feitos por Harris em 1827, com as modificações da eletricidade voltaica, em vez de "eletricidade comum", como denominou Joule e, com o uso de água em vez de ar, como substância que absorve calor. Joule teve muito trabalho para obter resultados precisos nesta série de experimentos; melhorou seu galvanômetro para assegurar uma medição precisa de corrente e tomou precauções especiais de leitura de temperatura, obtendo uma precisão da "décima parte de graus Fahrenheit".

Outros ensaios foram feitos com resultados precisos de mesmo caráter; todos eles conspiraram para o fato de que, quando uma dada quantidade de eletricidade voltaica é passada através de um condutor metálico, durante um determinado período de tempo, a quantidade de calor desenvolvida por ele é sempre proporcional à sua resistência¹⁷ dada, qualquer que seja o seu comprimento, espessura, forma ou espécie de condutor metálico (JOULE 1841, p.64).

Joule também concluiu que: "Quando uma corrente elétrica voltaica é propagada ao longo de um condutor metálico, o calor desenvolvido num dado tempo é proporcional à resistência do condutor multiplicada pelo quadrado da intensidade elétrica" (conexão passiva) (JOULE, 1841, p.65); o que contradizia o resultado de Harris em seu artigo de 1834, que o poder de aquecimento de eletricidade era simplesmente proporcional à carga.

Depois de confirmar a lei ri^2 para condutores metálicos, ele estendeu suas pesquisas para condutores líquidos, começando com a própria bateria. Inicialmente, mediu o calor gerado por uma corrente que flui em um determinado comprimento de fio de cobre. Depois disso, usou a lei de Ohm para calcular a resistência da bateria em termos do comprimento do fio de cobre. Ele também foi forçado a aprender mais sobre o processo de eletrólise, a fim de distinguir as reações químicas nas baterias que produziam eletricidade. A fonte para a maioria de sua informação sobre o processo de eletrólise foi às pesquisas experimentais (*Experimental Researches*) de Michael Faraday:

¹⁷ O Sr. Harris e outros chegaram nesta lei de forma muito satisfatória usando a eletricidade comum.

Antes de prosseguir a dar conta de algumas experiências sobre a evolução do Calor em células voltaicas de pares, é importante observar que nem todo tipo de ação, essencialmente, eletrolíticas devem ser eliminadas. Por exemplo, a dissolução de óxidos metálicos em solventes ácidos foi demonstrada pelo Dr. Faraday com sem ser causa da corrente, é a ocasião de uma quantidade considerável de calor, que, se não for contabilizado nos experimentos, viria totalmente a perturbar os resultados (Joule, 1841, p. 68).

Mediante essa consideração desenvolvida por Faraday (conexão ativa), e a sua preocupação com o calor desprendido pelas baterias durante as operações químicas, Joule constatou que o calor, devido a uma corrente que flui através da bateria, teve de ser corrigido por conta das perdas pelo controle de temperatura e para os diferentes calores específicos do líquido e dos componentes sólidos da bateria. Finalmente, ele corrigiu o calor devido à solução de óxido de zinco em ácido sulfúrico, que como Faraday havia demonstrado não tinha nada a ver com a corrente. Feitas essas correções, descobriu que o calor líquido gerado deu exatamente a mesma proporção da corrente e da resistência. A lei ri^2 poderia ser aplicada além de condutores metálicos também para líquidos (Cardwell, 1989, p. 39).

Por acreditar na equivalência entre os fenômenos da produção de calor e da passagem da corrente através da resistência, a última experiência de Joule foi determinar se a lei (ri^2) poderia ser aplicada a células eletrolíticas. Faraday tinha demonstrado que uma força eletromotriz mínima era necessária antes de um eletrólito passar por uma corrente e a decomposição começar. Joule utilizou uma célula, que continha ácido sulfúrico diluído e equipado com dois eletrodos estreitos de platina, e detectou que três pares e meio de sua bateria de ferro e dos seus 20 pares de zinco foram necessários para superar a resistência oposta pela força eletromotriz (fem) antes que a eletrólise pudesse começar; tendo encontrado a resistência ôhmica de condução, verificou que a lei poderia ser aplicada ao aquecimento de eletrólitos.

Essa conclusão só poderia ser válida, se os resultados das pesquisas de Faraday sobre a eletricidade estivessem corretos, já que Joule embasava nas suas medições de eletricidade voltaica. Os experimentos realizados por Faraday serviram de pressuposto para Joule, que em uma análise a partir de Fleck, constitui uma conexão ativa e a constatação de que a lei (ri^2) poderia ser aplicada a células eletrolíticas é uma conexão passiva. Além de fornecer as informações necessárias, a pesquisa de

Faraday também lhe forneceu a convicção de que a eletricidade era um meio preciso e fundamental de medir certos processos naturais. Joule desenvolveu o que chamou de "grau" de eletricidade, que serviu como a unidade fundamental de suas investigações. Ao descrever este ponto, Joule declarou:

Eu expressei as minhas quantias de eletricidade com base na grande descoberta de Faraday da eletrólise definitiva, e me atrevo a sugerir que a quantidade de corrente elétrica que é capaz de eletrolisar um equivalente químico expresso em grãos em uma hora de tempo pode ser chamada de grau.

Assim, em uma leitura fleckiana, algumas conexões passivas e ativas apontadas ao longo da presente análise estão na constatação de Joule da lei (ri^2) que em alguns momentos foi considerada uma conexão passiva, em outros, ativa e elas podem ser aplicáveis a líquidos, a condutores sólidos, a baterias e eletrólitos. Isto é corroborado por Fleck para quem:

[...] Nenhuma proposição pode ser construída apenas com base em acoplamentos passivos, há sempre a presença de algo ativo, ou, para usar o termo pouco indicado, algo subjetivo. De acordo com o outro ponto de vista, um acoplamento passivo é considerado como ativo e vice-versa, como será exposto posteriormente (FLECK, 2010, p. 93).

Em 1841, Joule desenvolveu uma teoria parcialmente completa do calor, apesar de não deixar claro como produziu a resistência à corrente, pois colocava uma conexão com os átomos e representava um relacionamento inexplicável entre calor e eletricidade. Nenhuma destas coisas foi explicitada por Joule, mas seu compromisso com a sua nova teoria era forte o bastante para negar uma evidência experimental que negasse a sua validade (STEFFENS, 1979).

A base do interesse experimental de Joule tinha deslocado mais fortemente para uma preocupação com todas as manifestações do calor. Com essa mudança de interesse, veio uma mudança em seu nível de experimentação. Sua preocupação voltava-se cada vez mais para os aspectos mais fundamentais da ciência: a natureza da eletricidade, magnetismo e calor. Ele estava interessado em uma avaliação de suas teorias científicas, bem como as experiências. Continuou dentro da sua convicção e reforçou que a ciência deve ser baseada na descrição precisa da experimentação

exata, pois só desta forma pode o conhecimento das relações e as comparações significativas serem vistas entre as várias experiências possíveis. Joule tinha a convicção em seus próprios experimentos e na sua teoria da produção do calor pela resistência. Na introdução do artigo: “Sobre a origem elétrica do calor de combustão” ele diz:

Nos artigos que eu tive há algum tempo a honra de comunicar a *Royal Society*, eu relatei uma investigação sobre os efeitos caloríficos da eletricidade voltaica, e declarei a minha opinião em relação ao calor desenvolvido pela combustão de certos fenômenos químicos. No presente artigo pretendo apresentar algumas experiências de confirmação da minha teoria, e para provar que o calor de combustão terminando na formação de um eletrólito é consequência da resistência à condução elétrica (JOULE, 1841, p.81).

O que podemos destacar desse fragmento são as relações entre as conexões ativas e passivas. Os relatos da investigação sobre os efeitos caloríficos da eletricidade voltaica e a opinião em relação ao calor desenvolvido constituem uma conexão ativa. Quando Joule declara que: “No presente artigo pretendo apresentar algumas experiências de confirmação da minha teoria”, quer observar o que já queria observar, isto é uma conexão passiva, função do pressuposto contido na conexão ativa. “E para provar que o calor de combustão terminando na formação de um eletrólito” (conexões passivas e ativas) é consequência da resistência à condução elétrica uma conexão ativa, originada de conexões ativas e passivas.

Joule ampliou sua teoria do calor neste artigo, já que agora, acreditava firmemente na exata relação entre os processos químicos, a produção de corrente elétrica e a produção de calor pela resistência à condução elétrica:

Vimos que quando essas ações químicas que não são as fontes de eletricidade transmitida são permitidas, o calor desenvolvido a partir de qualquer parte do aparelho elétrico voltaico é o efeito da resistência que é apresentado por essa parte para a corrente elétrica, e que, portanto, segue-se necessariamente que o calor total voltaico gerado pela ação de qualquer par fechado galvânico é proporcional ao número de equivalentes químicos que tenham sido consumidos no ato de impulsionar a corrente e a intensidade do regime de galvanoplastia. Agora, se for possível provar que a quantidade de calor que é desenvolvido pela combustão de produtos químicos comuns é o mesmo cálculo fundado sobre estes fatos nos levam a esperar sem qualquer dúvida razoável que pode ser admitido que também é o produto da resistência à condução elétrica (JOULE, 1841, p. 81-82).

Joule simplesmente assumiu que sempre quando o calor era produzido, era resultante da resistência à passagem da corrente elétrica (conexão ativa). Isto não implica, necessariamente, que devido à mesma quantidade de calor surgida em ambas às baterias do circuito e do processo de combinação química, os processos de produção de calor fossem idênticos. Esta hipótese torna-se mais aceitável, no entanto, quando associada a uma firme convicção de que todos os processos químicos eram de natureza elétrica (conexão ativa). Joule aceitou esta hipótese, como inteiramente verdadeira, usando como autoridade, Michael Faraday, William Sturgeon, em seu trabalho *Recent Experimental Researches* (1830), e as experiências de afinidade elétrica de Sir Humphry Davy, já que de certa forma, eles ofereceram a Joule algumas concepções teóricas (conexões ativas). Para justificar-se, Joule escreveu: “Todos estes fenômenos são facilmente entendidos, se com a grande massa dos filósofos, continuamos tendo em conta a relação final que subsiste entre afinidade química e a corrente elétrica” (JOULE, 1841, p. 90).

Em uma leitura Fleckiana, a hipótese de Joule de que a resistência à passagem de corrente elétrica produzia calor, estava passando por uma época de classicismo, por mostrar uma consistência notável e tornar-se ativa, na medida em que utilizava das pesquisas de outros cientistas como Faraday, William Sturgeon, Humphry Davy para justificá-la.

Joule estava convencido de que os vários processos químicos eram baseados nas operações de correntes elétricas (conexões ativas). Ele acreditava (o que não é uma questão de lógica) que a produção de calor também tinha sido causada pela corrente elétrica, o que foi um passo lógico, originado de um elemento não estritamente lógico, para avançar em uma linha de investigação que relaciona a eletricidade, o calor e os processos químicos. O estudo, que uniria os três, foi o da origem elétrica da combustão (STEFFENS, 1979). Cabe ressaltar que em vários momentos em que apontamos algumas conexões ativas podem ser elementos não apenas lógicos do conhecimento, como afirma Fleck (2010, p. 145): “os elementos passivos e ativos não podem ser distinguidos pelo viés histórico, nem pelo lógico”, o que pode ser compreendido que Fleck possui uma visão realista do conhecimento científico.

Além do estudo da origem elétrica da combustão, o artigo de Joule continha também um estudo do calor latente, a partir do estudo das correntes necessárias para alterar o estado ou “condição” de corpos, porém Joule não dá muitos detalhes, mas afirma que a gama de trabalhos experimentais em calor latente, daria para interpretar a sua nova teoria do calor.

A busca de Joule era tentar formular uma lei geral de combustão. Nesta direção, começou a dar os resultados de seus cálculos para mostrar que o calor produzido pela corrente elétrica, através de um fio, era muito próximo do calor produzido por combustão, quando os mesmos equivalentes químicos estavam envolvidos. Comparando-se o calor no fio com a combustão, Joule concluiu que o anterior excedeu o segundo, em cerca de 25%. Sua argumentação era de que este resultado não era um achado tão ruim, considerando as dificuldades de prevenir a perda de calor nos experimentos de combustão. Por tais motivos, Joule afirmou otimista:

Concebo que, portanto, tenho provado de forma satisfatória que o calor de combustão (pelo menos quando se encerrado na formação de um eletrólito) é ocasionado pela resistência à eletricidade que passa entre o oxigênio e o combustível no momento da sua união. O valor dessa resistência, bem como a respectiva forma de oposição, é indiferente, tanto na teoria e na experiência e se a resistência à condução deve ser grande (como provavelmente é quando o potássio é lentamente convertido em potassa, pela ação de uma mistura de oxigênio e do ar comum) ou pequeno (como provavelmente é quando uma mistura de oxigênio e hidrogênio é explodida), ainda a quantidade de calor desenvolvido permanece proporcional ao número de equivalentes que tenham sido consumidos, e a intensidade de sua afinidade com o oxigênio gasoso (JOULE, 1841, p. 102).

Joule colocou uma grande dose de confiança na sua nova teoria da resistência elétrica. A aceitação de sua própria teoria, neste caso da resistência elétrica, deu possibilidade para confirmar os seus resultados experimentais. Ele iria tolerar os resultados experimentais divergentes e aceitá-los como confirmação, porque estava convencido de que relacionavam-se com uma teoria que já tinha aceita como verdadeira. Este seria o caso na época e outra vez em sua longa série de derivações experimentais do equivalente mecânico do calor. Neste caso, a sua confirmação experimental baseada em dois conjuntos de seus próprios experimentos diferiam cerca de 25%.

Joule também assumiu que todas as ocorrências químicas eram elétricas, envolvendo de alguma forma a passagem da corrente elétrica. A resistência à passagem da corrente elétrica produz calor na reação e Joule nem sequer faz alusão à forma como esta resistência teve lugar. Ele deu um passo adiante e afirmou que a quantidade de resistência, bem como a forma como ocorreu, era "irrelevante tanto na teoria quanto na experiência." Joule não deu nenhum argumento sobre a sua teoria, mas concluiu seu trabalho com a afirmação de que estava certo de que o calor desenvolvido por todas as reações químicas, não apenas de combustão, era causado pela resistência à condução elétrica (STEFFENS, 1979 p.35).

O interesse de Joule na especulação teórica foi estabelecido pelas experiências sobre a combustão. Os seus interesses estavam além dos experimentos para obter informações, já que havia uma maior tendência nas implicações teóricas das experiências. O seu novo interesse em fazer especulações teóricas tinham aumentado tanto, que praticamente se igualou ao seu trabalho experimental. As suas experiências, a partir de 1842, foram direcionadas pelos seus interesses teóricos, cujo objetivo era provar que suas próprias especulações teóricas estavam corretas.

Essas especulações teóricas de Joule reforçam a defesa da epistemologia contemporânea de que a teoria precede a observação. Segundo Fleck (1986), toda a observação livre de pressupostos é psicologicamente um absurdo e logicamente um brinquedo.

O artigo de Joule lido perante a Associação Britânica em Manchester, em 1842, mostrou que ele havia passado um bom tempo tentando estender sua teoria de resistência elétrica a toda a gama de fenômenos de calor químico. Joule apresentou os resultados de sua série de experiências, na forma de uma comparação com os de Dulong, sobre a combustão dos metais. Os resultados concordaram razoavelmente bem e Joule mostra como os chamados "resultados teóricos corrigidos", baseados em sua própria teoria da resistência elétrica, produziram resultados que estavam próximos a ambos os conjuntos de dados experimentais. Após uma descrição de suas próprias experiências, Joule, mais uma vez, concluiu:

Eu concebo que a justeza da idéia, creio eu, por Davy, e depois mais explicitamente mencionada por Berzelius, que o calor de combustão é um fenômeno elétrico é agora tornada suficientemente evidente. Eu tenho mostrado que o calor surge a resistência à condução de eletricidade entre os átomos de oxigênio e combustíveis no momento de sua união. Quanto a natureza dessa resistência ainda somos ignorantes (JOULE, 1842, p.107).

Havia muitos problemas em relação ao artigo de Joule. Seus cálculos teóricos eram muito obscuros e ele afirmou que o leitor estaria completamente familiarizado com seu artigo anterior. Além do mais, sua conclusão era muito superestimada, já que não tinha de forma alguma provado que o calor surgia devido à condução de eletricidade entre os átomos de combustíveis e oxigênio no "momento da sua união".

Para Fleck, o experimento é uma observação já direcionada, no caso aqui, Joule tinha elaborado hipóteses teóricas para realizar os experimentos, no entanto, seus cálculos teóricos não eram claros. Isto mostra o que Fleck (2010) afirma sobre as primeiras observações, que não são claras e os conceitos surgidos durante os trabalhos não são adequados para a observação grosseira.

Joule tinha, na melhor das hipóteses, as relações mostradas entre calor envolvendo a corrente elétrica e seus equivalentes químicos. Havia um grande número de hipóteses por trás de suas conclusões, porque, segundo as leis de Faraday sobre a eletrólise, equivalentes químicos deveriam ter número definido de átomos que relacionam a quantidade de eletricidade com os números de átomos, já que havia uma interação assumida entre os átomos e uma quantidade definida de calor parecia estar sempre sendo liberada. Joule concluiu que o calor era produzido por uma resistência à união elétrica. Não há como dizer que ele provou isto, especialmente, quando não tinha ideia da natureza da resistência e exagerava em suas conclusões. Sem dúvida, ele acreditava que tinha provado suas hipóteses, mas os seus contemporâneos eram muito mais relutantes em aceitar suas conclusões.

Joule foi muito além de sua teoria do calor. Com a finalidade de expandir sua teoria, planejou uma série de experiências com o fenômeno da eletrólise no artigo: "O Calor envolvido na eletrólise da água". Após contabilizar os efeitos secundários, o "caráter real" da ação da eletrólise estaria de acordo com a teoria do calor de Joule, assim o calor voltaico abrangeria todos os tipos de calor, já que para Joule, todo o calor fora produzido pela resistência à passagem da corrente elétrica.

O trabalho de Joule sobre a eletrólise completou os seus estudos sobre o calor. Ele não deu nenhuma indicação de como trataria as questões de calor radiante, mas mencionou que o calor e a luz são ambos produzidos por algum tipo de efeito elétrico. Também incluiu os fenômenos de calor latente como resultantes destes efeitos elétricos e ao incluir o calor da combustão, como fenômeno produzido por meio elétrico, ficou satisfeito por ter completado as experiências com precisão suficiente, para permitir tirar conclusões gerais sobre o calor.

A conclusão geral de Joule é que a quantidade total de calor em todo o circuito era exatamente explicada pelas alterações químicas. Isto abriu caminho para o entendimento da relação de forças mecânicas e de calor (aquecimento) de uma corrente. O trabalho de Faraday permitiu a Joule obter todas as relações distintas necessárias, para finalmente argumentar que coisas proporcionais à mesma coisa, são também proporcionais entre si (umas as outras). Usando a eletricidade como um "grande agente para a realização, organização e conversão de calor químico", Joule tentou descobrir a exata relação entre energia mecânica e calor (STEFFENS, 1979).

Em síntese, o que podemos afirmar é que a gênese do efeito Joule veio pela tomada de consciência de um problema: de não conseguir substituir o motor a vapor pelo elétrico, por meio da circulação intercoletiva de ideias e práticas com o trabalho de Jacobi. Joule não aceitou muito o trabalho de Jacobi, mas resolveu investigar o fenômeno da autoindução magnética, chegando a concluir que realmente não dava mais pra tentar substituir o motor a vapor pelo elétrico. Isto fez com que mudasse a direção de suas pesquisas, sobretudo o EP do técnico para o científico. Mesmo assim, não desistiu da ideia de substituir o motor a vapor, concentrando-se no estudo de trabalhos científicos do eletromagnetismo e, principalmente, nas relações entre eletricidade e calor. Isto nos mostra a partir de uma leitura fleckiana, uma resistência de Joule que permitiu a emergência do fato científico - o efeito Joule:

O fato, assim definido como "sinal de resistência para o coletivo de pensamento", contém toda a escala dos possíveis modos de constatação: do grito de dor de uma criança, que esbarra em algum objeto duro, passando pelas alucinações de um paciente, até o sistema emaranhado das ciências (FLECK, 2010, p. 153).

Joule, ao participar do sistema emaranhado das ciências, contribuiu para a gênese do fato científico - efeito Joule. Este sistema era formado por vários cientistas inicialmente com Jacobi, em seguida com William Snow Harris, Michael Faraday, Humphry Davy que formaram o coletivo de cientistas, do qual Joule compartilhou ideias e práticas, como concepções teóricas, resultados de experimentos realizados, hipóteses, caracterizando as conexões ativas do conhecimento e chegando aos resultados inevitáveis como a lei de aquecimento dada por (ri^2) formando de acordo com a epistemologia fleckiana, as conexões passivas. Este processo de interação está diretamente relacionado ao que Fleck (2010) explicita sobre fato científico:

Nunca um fato é completamente independente de outros: ou se manifestam como um conjunto mais ou menos coeso do sinal particular, ou como sistema do conhecimento que obedece a leis próprias. Por isso, cada fato repercute retroativamente em outros, e cada mudança, cada descoberta exercem um efeito em um campo que, na verdade, não tem limites: um saber desenvolvido, elaborado na forma de um sistema harmonioso, possui a característica de cada fato novo alterar todos os anteriores, por menor que seja essa alteração. Nesse caso cada descoberta é, na verdade, a recriação do mundo inteiro de um coletivo de pensamento (FLECK, 2010, p. 153).

No caso aqui, o fato efeito Joule está intimamente ligado, por exemplo, a constatação de não conseguir substituir o motor a vapor e a todos os outros resultados experimentais do coletivo com que interagiu, por meio da leitura dos artigos de William Snow Harris e Michael Faraday que continham alguns fatos tornados passivos, mas que Joule ao rever e discuti-los se tornaram ativos até emergir o fato científico - o efeito Joule. Provavelmente, isto o motivou a começar a acreditar em um princípio de convertibilidade das várias forças, inclusive na equivalência de calor e trabalho.

3.3.5 O Equivalente Mecânico do Calor e a dificuldade de aceitação do trabalho experimental de Joule

Joule certamente teve seu escopo de interesses rapidamente ampliado, já que tinha saído de uma tentativa muito prática de melhoria do motor elétrico para uma investigação fundamental sobre a relação existente entre eletricidade, calor e energia mecânica. Ele percebeu a integralidade dessa fase de sua obra experimental e,

imediatamente, passou a deduzir uma consequência dela, que levantou uma hipótese (conexão ativa) verificável sobre a relação entre energia mecânica e calor. A eletricidade permaneceu o agente subjacente, tanto para os processos quanto para as suas conversões.

Essa percepção de Joule da integralidade de sua obra, em uma perspectiva fleckiana seria:

A percepção da forma (*Gestaltsehen*) imediata exige experiência numa determinada área do conhecimento: somente após muitas vivências, talvez após uma formação prévia, adquire-se a capacidade de perceber, de maneira imediata, um sentido, uma forma e uma unidade fechada. Evidentemente, perde-se, ao mesmo tempo, a capacidade de ver aquilo que contradiz a forma (*Gestalt*). Mas essa disposição à percepção direcionada é a parte mais importante do estilo de pensamento. Sendo assim, a percepção da forma é uma questão que pertence marcadamente ao estilo de pensamento (FLECK, 2010, p. 146).

Nessa linha, Joule conseguiu perceber a integralidade de sua obra devido ao conjunto anterior desta, os experimentos realizados na tentativa de substituir o motor a vapor pelo elétrico. O conjunto de experimentos relacionados à sua teoria da resistência elétrica o levou a entender a possibilidade de convertibilidade das várias “forças”.

Joule acreditava que a eletricidade estava fundamentalmente relacionada tanto com o calor, quanto com o trabalho mecânico. No entanto, ele deixou de lado, por um tempo, a questão da natureza dessa relação, talvez devido a sua crença de que algumas coisas na natureza não pudessem ser conhecidas, mas deveriam ser aceitas como existentes; então, escolheu investigar a relação entre calor e energia mecânica. Ao fazer isso, deixou claro que não iria aceitar a noção predominante de que o calor era uma substância calórica e nem a sua criação ou destruição (STEFFENS, 1979; CARDWELL, 1989). Este é um dos elementos teóricos (conexão ativa) que direcionou a sua investigação do equivalente mecânico do calor. Provavelmente esta concepção teórica é oriunda da percepção da integralidade da sua obra com os estudos das relações entre eletricidade e calor.

Nas investigações de Joule houve uma forte tendência de entendimento do calor como movimento. Em 1841, ele havia sugerido que a produção de calor deveria considerar o resultado do movimento ou estado de vibração. Em uma leitura fleckiana,

isto é uma *conexão ativa* de Joule. Sua rejeição do conceito de calor como uma substância em 1843, não foi baseada em uma refutação detalhada.

Nesse ponto, em uma leitura a partir de Fleck, a teoria do calórico era abrangente e estava passando por uma fase clássica, na qual, somente percebem-se os fatos que se enquadram com o estilo de pensamento EP, e uma fase de complicações, quando as exceções se manifestam, no caso tratado aqui, das hipóteses e experimentos de Joule, que sinalizam para uma teoria do calor como uma forma de movimento.

Joule partiu para estabelecer a equivalência entre o calor e o trabalho mecânico, em um artigo lido, perante a seção de química, na reunião da Associação Britânica para o Avanço da Ciência em Cork, em Agosto de 1843. O trabalho foi intitulado "Sobre os Efeitos Calóricos da Magneto-Eletricidade, e Sobre o Valor Mecânico do Calor". Entretanto, foi recebido em silêncio, ganhando a aprovação de apenas alguns físicos, dentre os mais importantes foram os amigos de Manchester, Eaton Hodgkinson, o Conde de Rosse, e Dr. Apjohn de Dublin (CARDWELL, 1976).

No artigo, Joule resumiu suas pesquisas anteriores e apresentou seus argumentos para a relação entre calor e efeito mecânico. Assumiu que suas pesquisas anteriores sobre a relação geral entre calor e corrente elétrica em circuitos tinham sido lidas e geralmente aceitas como verdadeiras. Com base nisto, ele fez a suposição de que o calor não era uma substância, mas sim um "estado de vibração":

É bastante geral, creio eu, um dado adquirido que as forças elétricas que são colocadas em jogo pela máquina magnetoelétrica possuem no circuito inteiro, as mesmas propriedades caloríficas como correntes provenientes de outras fontes. E, de fato, quando consideramos não o calor como uma substância, mas como um estado de vibração, parece haver nenhuma razão pela qual não deve ser induzida por uma ação de um simples caráter mecânico como, por exemplo, é apresentado na revolução de uma bobina de fio antes dos polos de um ímã permanente. Ao mesmo tempo deve-se admitir que até agora não fossem feitos experimentos decisivos dessa questão muito interessante, pois todos eles se referem apenas a uma determinada parte do circuito deixando uma questão de duvidar de que o aquecimento observado foi gerado, ou apenas transferidos das bobinas (JOULE, 1843, p. 123).

Essa suposição de Joule de que o calor não era uma substância, mas sim um "estado de vibração" é um elemento teórico (*conexão ativa*) destacada no artigo de

Rosenfeld (1952), que declara o seguinte: se ignorarmos o fato de Joule ter tido concepções teóricas, o seu arranjo experimental torna-se incompreensível. Ele começa a sugerir uma teoria dinâmica para o calor com uma fraca ligação com a equivalência do calor com outros agentes físicos. O momento destas preconcepções teóricas de Joule, em uma leitura segundo Fleck (2010, p.139) é uma proposição sobre as primeiras observações, que na verdade, é uma pressuposição determinada pelo EP.

As próprias pesquisas e hipóteses (conexão ativa) de Joule sobre a natureza do calor foram os alicerces para a sua conclusão surpreendente de que o calor poderia ser gerado por uma máquina magnetoelétrica (conexões passivas). Infelizmente, suas pesquisas anteriores não eram muito conhecidas e nem eram muito aceitas; além disso, sua hipótese sobre a natureza do calor foi expressamente rejeitada pela maioria dos cientistas da época. Joule tinha mostrado uma relação explícita entre eletricidade e calor, no entanto, poucos cientistas, como Oersted, Davy, Faraday, Grove e Kelvin tentaram olhar com bons olhos os esforços de Joule inter-relacionar e correlacionar os fenômenos da natureza. A ciência inglesa deu pouca importância para as investigações de Joule, mantendo-se confiante na defesa da teoria do calor como substância.

Essa forte defesa da ciência inglesa na teoria do calórico, mostrando-se contra as evidências de uma possível teoria dinâmica demonstra aquilo que Fleck (2010, p. 70) afirma sobre quando uma concepção penetra suficientemente num coletivo de pensamento (CP), quando invade até a vida cotidiana e as expressões verbais, quando se torna literalmente um ponto de vista, qualquer contradição parece ser impensável e inimaginável. E mais adiante Fleck (2010, p. 72) afirma que: “Toda descoberta é inseparavelmente intrincada com o chamado erro: para se perceber uma relação, outra relação deve passar despercebida, dever ser negada ou ignorada”.

Em seu artigo sobre a eletrólise, Joule já havia manifestado interesse (conexão ativa) por meio da estruturação do arranjo experimental, em converter a energia mecânica em calor, ou seja, observar o que já queria observar, uma conexão passiva. Os equipamentos construídos por Joule para realizar os experimentos mostraram o benefício dos conhecimentos obtidos em suas pesquisas anteriores e uma materialização do seu pensamento que era converter a energia mecânica em calor (conexão ativa e passiva). Para demonstrar explicitamente que todos os tipos de

eletricidade produzem os mesmos efeitos (conexão ativa e passiva), Joule construiu um aparelho e descreveu a utilização do mesmo em grandes detalhes.

Uma vez que esta relação tinha sido estabelecida, Joule foi capaz de avançar em direção da relação de efeito mecânico e calor. Acrescentou uma bateria em seu circuito eletromagnético, em seguida, girou seu eletroímã em uma direção que podia opor-se à corrente voltaica. Ele poderia aumentar a intensidade girando o eletroímã na direção oposta: "No primeiro caso, o aparelho possuiu todas as propriedades do motor eletromagnético, neste último, apresentou o inverso, ou seja, as 'despesas' de energia mecânica".

Em seguida, substituiu o eletroímã em seu aparelho por uma barra de ferro. Encontrou como esperava que o calor desenvolvido pela barra de ferro giratória fosse proporcional ao quadrado da "influência magnética", a que foi exposta. Com isto, Joule ampliou esta conclusão com a ajuda das pesquisas de Faraday, sobre os poderes de condução de substâncias não magnéticas, para concluir que a rotação de qualquer substância entre os pólos de um imã produzia calor, em proporção da substância utilizada. A força mecânica foi determinada por meio de pesos adaptados ao aparelho suspensos por um arranjo de polias Fig.2, a medida da altura das quedas dos pesos permitiu calcular a força mecânica.

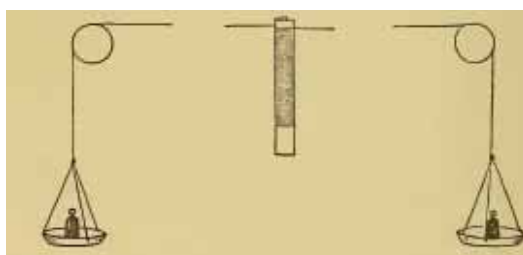


Figura 2: Arranjo de pesos adaptados suspensos por polias (JOULE, 1843, p.150).

Joule realizou sessenta e cinco ensaios para determinar (conexões ativas e passivas) um valor mecânico ou o calor produzido. Ele decidiu assumir (conexão ativa) como resultado a média de treze experimentos. "A quantidade de calor capaz de aumentar a temperatura de uma libra de água em um grau da escala Fahrenheit é igual

e pode ser convertida em força mecânica capaz de levantar 838 libras perpendiculares a uma altura de um pé” (JOULE, 1843, p. 156). Joule admitiu, no entanto, que houve uma diferença considerável entre os resultados de suas experimentações. De fato, os resultados variaram entre 1.040 e 587 libras. Ele atribuiu a divergência a erro experimental e afirmou que tinha a intenção (conexões ativas) de repetir os experimentos (conexões passivas) "com um aparelho mais poderoso e delicado". Estava convencido (conexões ativas) de que havia um equivalente exato de conversão entre calor e força mecânica. A ausência para expressar esta relação foi vista por Joule, como um problema experimental a ser superado por técnicas mais precisas (conexões ativas) (STEFFENS, 1979, p. 43).

As conexões ativas apresentadas estão relacionadas às expectativas, às hipóteses, intencionalidade, conclusões anteriores relacionadas às interpretações oriundas da experimentação e as passivas são as constatações - os resultados empíricos, formando assim uma relação interdependente entre conexões passivas e ativas, cujo objetivo é determinar uma relação entre o efeito mecânico e calor. De acordo com Fleck (2010, p. 93): “Nenhuma proposição pode ser construída apenas com base em acoplamentos passivos, há sempre a presença de algo ativo”.

Em busca de resultados mais concretos e consistentes interligados aos interesses anteriores sobre motores e máquinas, Joule escolheu para analisar a máquina a vapor e a bateria voltaica, a fim de chegar ao seu novo valor do equivalente mecânico do calor. Ele concluiu que, no caso do motor a vapor, o calor desenvolvido pela combustão de um quilo de carvão foi equivalente a uma força mecânica teórica igual a "cerca de 10 vezes o trabalho dos melhores motores da Cornuália", 9.584.206 libras elevado à altura de um pé. Aqui, temos mais um exemplo de como o instrumento (máquina) é mais do que um prolongamento dos sentidos; ela expressa a materialização das intenções de Joule, ou seja, buscar (conexão ativa) resultados mais consistentes (conexão passiva) para se determinar o equivalente mecânico do calor (conexões ativas e passivas).

Para o caso das baterias voltaicas, Joule comparou os resultados da bateria de Grove e da bateria de Daniell com o motor a vapor. Ele concluiu que "as forças mecânicas das afinidades químicas produziram as correntes voltaicas nessas

modalidades", por quilo de zinco, iguais a 1.106.160 libras e 1.843.600 libras levantadas a um pé de altura, respectivamente (conexões passivas). As primeiras pesquisas de Joule mostraram que era praticamente impossível converter mais de metade do calor, no circuito voltaico, em força mecânica; ele concluiu que o motor eletromagnético trabalhou com as baterias voltaicas, mas que nunca poderia "substituir o vapor sob o ponto de vista econômico". O artigo termina com estes dois simples e práticos cálculos, com base no novo valor do equivalente mecânico do calor. Embora 30 anos depois, os cientistas considerem este trabalho como um excelente exemplo de precisão experimental, com uma afirmação teórica bem embasada, os contemporâneos rejeitaram-no, considerando-o como de pouco valor. As razões para a rejeição podem ser claramente determinadas no parecer científico da época (STEFFENS, 1979, p. 44).

Joule, ao apresentar o artigo de forma direta e confiante, declarou novamente que a precisão do experimento e as descrições exatas sobre o procedimento empregado eram necessárias para uma ciência madura. A busca de Joule pela precisão e exatidão como especificamos na seção 3.3.2 é um elemento teórico em seu trabalho, que para se chegar (conexão ativa) a uma constatação da relação existente entre o efeito mecânico e o calor, o dado empírico desta constatação constitui uma conexão passiva. Entretanto, os artigos de Joule não tiveram grande aceitação, isto ocorreu porque cada artigo que Joule publicava dependia da referência dos artigos anteriores. Joule assumiu que cada um dos seus trabalhos anteriores tinha sido lido e aceito como exatos e que o leitor tinha concordado com suas conclusões, o fato é que em vários de seus artigos anteriores, ele tentava comprovar a sua teoria (conexões ativas), muito questionável do calor produzido pela resistência à corrente elétrica.

Essa constante referência aos trabalhos anteriores de Joule, em uma análise a partir de Fleck (2010, p. 146) significa que qualquer pesquisador experimental sabe que um único experimento comprova muito pouco e que seu resultado não tem um caráter impositivo. O relato resumido sobre uma área trabalhada, sempre contém uma pequena parte da respectiva experiência do pesquisador, mas não a mais importante, isto é, aquela que possibilita a percepção da forma (Gestaltsehen) de acordo com um determinado estilo. No caso aqui, a percepção da forma seria a convertibilidade de trabalho mecânico em calor.

Uma segunda discussão sobre a não aceitação dos trabalhos de Joule foram os valores determinados experimentalmente; apesar de Joule ser considerado um habilidoso experimentador, os dados de seus experimentos eram muito variáveis e ele colocava total confiança nestes dados experimentais. Muitos cientistas contemporâneos não compartilhavam de sua confiança, principalmente, quando Joule admitia que muitos de seus trabalhos, apesar de uma busca de uma precisão experimental, continham imprecisões decorrentes da situação experimental. O contexto da época, a comunidade científica não depositava total confiança sobre medições que exigiam maior precisão, pois os instrumentos disponíveis não eram precisos. Entretanto, as opiniões mudaram muito rapidamente impulsionadas pela própria obra de Joule. Fabricantes de instrumentos em 1840 estavam começando a desenvolver as habilidades necessárias para a construção de instrumentos de precisão mais eficazes. Depois de cinco anos, Joule estabeleceu medidas de um ducentésimo de um grau, o que não tinha conseguido em 1843.

Esta dificuldade experimental de Joule é condizente com a análise epistemológica do processo de experimentação, feita por Fleck (2010):

[...] mesmo ocorre com todos os experimentos realmente importantes: sempre são poucos claros, inacabados e únicos. E quando se tornam claros, precisos e infinitamente reproduzíveis, não mais são necessários para os verdadeiros fins de pesquisa, pois servem apenas para fins demonstrativos ou constatações específicas.

A imprecisão e a pouca clareza nos dados experimentais de Joule são sinônimos de um novo conhecimento, que estava sendo construído e, que de certa forma, contribuiu para a elaboração de uma teoria dinâmica do calor e, posteriormente, para o estabelecimento do princípio da conservação da energia. E segundo Fleck (2010), quando os experimentos são confusos, mais ricos são em aspectos desconhecidos, inseridos dentro de uma nova área de pesquisa.

Um terceiro aspecto que dificultava a aceitação do trabalho de Joule foram os primeiros trabalhos sobre a teoria da resistência elétrica e sua oposição a teoria calórica. O seu trabalho de 1843 não apresentava argumentos satisfatórios de uma teoria do calor, como estado de movimento suficiente para criticar de forma

fundamentada a teoria do calórico. Outro motivo da não aceitação do trabalho de Joule foi a rejeição pela *Royal Society* do artigo de John Herapath, sobre a teoria cinética dos gases em 1820. O artigo desafiava os conceitos da teoria estática dos gases e a teoria do calor (STEFFENS, 1979, p.45).

Em uma leitura fleckiana, esse processo de transformação da teoria do calórico foi um momento intranquilo, em que se mostraram as lutas das ideias, os diferentes pontos de vista, as contradições, a ausência de clareza e a impossibilidade de perceber imediatamente uma forma ou um sentido.

Mediante as preconcepções teóricas apontadas anteriormente (conexões ativas), Joule no final do artigo aponta duas conclusões importantes consequentes do seu novo equivalente mecânico do calor. Primeiro sobre a combustão de um quilo de carvão poderia, em princípio, produzir 10 vezes o trabalho dos melhores motores a vapor da Cornuália; segundo, os cálculos de Joule mostrando exatamente que a eficiência do motor elétrico é inferior ao motor a vapor (conexões passivas) (STEFFENS, 1979, p. 46).

Em seu pós-escrito do artigo de 1843, Joule assumiu falhas em sua teoria, pois não esclarece nada sobre como o calor era produzido pelo atrito. Ao assumir esta falha, Joule referencia Rumford¹⁸ declarando em seu pós-escrito,

Nós devemos ser obrigados a admitir que Conde Rumford estava certo em atribuir o calor envolvido na fricção do canhão e ainda (em qualquer grau considerável) a qualquer mudança na capacidade do metal. Eu mais tarde provei experimentalmente que o *calor surgiu pela passagem da água por tubos estreitos* (JOULE, 1843, p. 157).

Esse seria um exemplo de circulação intracoletiva de ideias e práticas entre indivíduos. Joule, mediante a consciência do problema (como o calor era produzido pelo atrito), apropriou-se das ideias de Rumford, que compartilhava de uma teoria dinâmica do calor. De acordo com Fleck (2010, p.158):

A estrutura geral do coletivo de pensamento faz com que o tráfego intracoletivo de pensamento-pelo fato sociológico em si, sem consideração pelo conteúdo e pela legitimação lógica-leve ao fortalecimento das formações de pensamento: a confiança nos iniciados, a dependência por parte destes da opinião pública, a

¹⁸ Reformista social, inventor e físico anglo-americano fundou a Royal Institution.

solidariedade intelectual dos pares, que estão a serviço da mesma ideia, são forças sociais alinhadas que criam uma atmosfera comum específica, proporcionando às formações de pensamento solidariedade e adequação ao estilo numa medida cada vez maior.

Dessa forma, o compartilhamento intracoletivo de Joule com as ideias de Rumford possibilitou o reforço da teoria dinâmica do calor. Poucos cientistas ingleses deram atenção ao trabalho de Rumford, pois contrariava a teoria do calórico. Para apoiar o trabalho de Rumford, Joule desenvolveu uma experiência para testar o calor produzido pelo atrito, para saber como se dava a relação calor e força mecânica, o que caracteriza um pressuposto de Joule relacionado às conexões ativas. Ele usou um pistão perfurado com pequenos orifícios, movendo-se num frasco de vidro cilíndrico, contendo cinco libras de água. Joule detectou com este aparelho, o aumento em um 1^o F da temperatura por libra de água, gerando calor equivalente a uma força mecânica capaz de levantar 770 libras a um pé de altura. Este valor estava em estreita relação com os outros experimentos. Joule, em seguida, fez uma declaração que clarifica as razões para sua rejeição da teoria calórica e sua dedicação à busca de equivalentes exatos na natureza. Ele escreveu:

Eu não devo perder tempo em repetir e ampliar estas experiências, se considerar que os agentes da natureza, por decreto do Criador são indestrutíveis e que sempre que o poder mecânico é gasto, o equivalente exato de calor é sempre obtido (Joule, 1843, p.157-158).

Então, para Joule, o mundo físico criado por Deus, cujos vários agentes, como calor, eletricidade, força mecânica e afinidade química, nunca podem ser criados ou destruídos, poderiam ser convertidos através de vários processos naturais, mas nunca perdidos. Os experimentos de Joule corroboraram estes elementos metafísicos (conexões ativas) com a tentativa de demonstrar as diversas conversões entre corrente elétrica e calor, força elétrica, força mecânica e calor. Dentro dos limites de precisão experimental, cada uma destas conversões foi demonstrada por Joule, que acreditava que a relação entre elas era completamente exata (conexões ativas).

Fleck (2010, p.135) faz uma análise do processo experimental da reação de Wassermann, mostrando que é inadequado dizer que os primeiros experimentos são

corretos ou incorretos, porque de imediato, algo muito correto surgiu deles, sem que eles mesmos pudessem ser chamados de corretos. Então, os experimentos de Joule podem ser vistos sob este ponto de vista, pois algo muito importante surgiu deles e ajudou-o a acreditar no princípio de convertibilidade das forças.

Para Joule, o mundo foi criado e colocado em atividade por vontade inicial de Deus. Nenhuma ação seria necessária, então Deus quis garantir a continuação da indestrutibilidade dos agentes da natureza. Desta forma, Joule se opôs fortemente aos teóricos da teoria do calórico, que diziam que a força mecânica poderia ser gasta e perdida, ou seja, a destrutibilidade das forças mecânicas. Ao invés disso, Joule estava determinado a desenvolver uma teoria que explicasse os fenômenos e mantivesse a convertibilidade e correlação entre as forças da natureza (STEFFENS, 1979).

A crença de Joule em um princípio de convertibilidade das várias forças e seu trabalho experimental feito nos leva a dizer que os processos de conversão constituem um EP, que guiou suas pesquisas futuras. Pois, de acordo com Fleck (1986) a disposição para o perceber dirigido é que constitui o componente principal do EP. Com toda sua bagagem conquistada até o momento, Joule tinha total confiança no princípio de convertibilidade das forças. Neste momento, o trabalho de Joule intensifica-se no sentimento e na vontade, formando com o entendimento do princípio da convertibilidade uma unidade inseparável.

Joule, rapidamente, reconheceu que sua teoria original da resistência da passagem de corrente elétrica, que gera calor não conseguiria incluir todos os fenômenos naturais, especialmente o atrito. Ele não abandonou, imediatamente, a sua teoria elétrica, mas sim, o conjunto de experimentos para determinar a relação entre o calor e o atrito. Sua experiência com o pistão furado e água, o convenceu de que esta relação definitiva existia, sobretudo, porque o valor mecânico do calor obtido a partir do experimento foi próximo de seu valor previamente determinado.

A partir da crença na teoria dinâmica do calor e no princípio de convertibilidade das várias forças da natureza e do seu trabalho experimental, Joule começa a pensar em uma mudança de sua teoria, ou seja, a eletricidade gerada por afinidade química já não podia ser o operador fundamental da natureza, pois a afinidade química não tivera qualquer papel na geração de calor por atrito. Joule aceitou o fato de que devesse

abandonar a afinidade química, mas não tinha certeza do que deveria substituí-la (STEFFENS, 1979, p.49).

A relação entre o atrito e o calor não ofereceu nenhuma pista para esse novo fator. Joule discutiu o problema do atrito com o seu amigo, John Davies que foi seu tutor após a morte de Dalton. Joule participou das palestras de Davies para estudantes de Medicina. Davies tentou explicar parte do fenômeno do calor animal pelo atrito do sangue nas veias e artérias. Joule fez algumas reflexões sobre o problema do calor animal e chegou a uma conclusão original, que foi esquecida e redescoberta 30 anos depois. Este foi o primeiro uso importante do valor mecânico do calor para chegar a novas conclusões teóricas. Joule dirigiu-se ao processo de atrito do sangue nas veias e artérias e fundamentou a mesma, da seguinte forma:

É inquestionável que o calor é produzido pelo atrito, mas deve ser entendido que a força mecânica gasta no atrito é uma parte da força de afinidade que faz com que o sangue venoso se una com o oxigênio, de modo que todo o calor do sistema ainda deve ser encaminhado para as mudanças químicas. Mas se os animais estavam empenhados em virar um pedaço de maquinário, ou em subir uma montanha, eu entendo que, em proporção ao esforço muscular para o propósito, a diminuição do calor envolvido no sistema ocorra em decorrência a uma dada ação química que deve ser experienciada (JOULE, 1843, p. 158).

A crença nos processos de conversão (conexões ativas) das várias forças da natureza fez com que Joule fizesse tal declaração. Suas ideias sobre o calor animal também dependiam da afinidade química, entretanto, não deram nenhuma pista de como ele poderia modificar a teoria, para fornecer um processo fundamental, que servisse para relacionar todas as conversões dos grandes agentes (STEFFENS, 1979, p. 50). Ao propor uma melhoria em sua teoria, Joule ainda baseou na eletricidade e substituiu a afinidade química, por uma forma de potencial gravitacional entre os átomos e as moléculas.

A nova versão da teoria de Joule invocava alguma forma de atração entre átomos e moléculas. A queda dos átomos em conjunto era determinada de alguma maneira, mas não descrevia a intensidade da corrente elétrica, que por sua vez determinava a quantidade de calor. A conexão entre a eletricidade e a afinidade química foi amplamente aceita na Inglaterra, embora não bem compreendida. Isso só

serviu para complicar ainda mais a sua teoria do calor, quando cancelou a relação direta e declarou que não era exatamente a atração de afinidades, mas sim a força mecânica gasta pelos átomos em queda em direção ao outro, que determinava a intensidade da corrente e, conseqüentemente, a quantidade de calor envolvido. Joule tinha eliminado um aspecto familiar da teoria e apresentou uma declaração vaga sobre átomos caindo em direção um ao outro.

Joule levou a sua nova teoria do calor muito a sério. Estava convencido de que, uma vez que uma teoria do calor tinha sido corretamente formulada, iria servir tanto para unificar as explicações de vários tipos de fenômenos, quanto para fazer previsões sobre possíveis ocorrências não observadas anteriormente. Joule passou os meses de agosto de 1843 a fevereiro 1844, na tentativa de formular tal teoria. Os resultados de seus pensamentos sobre o calor foram apresentados em um apêndice curto para o seu artigo "Sobre o calor despreendido durante a eletrólise da água". Este acréscimo foi lido para a Sociedade Literária e Filosófica de Manchester, em 20 de fevereiro de 1844. No artigo, Joule apresentou sua completa teoria de calor, aqui reproduzida, pois de acordo com Steffens (1979) teve importância fundamental para os futuros trabalhos de Joule:

Eu tenho uma ou duas vezes feito uso dos termos "calor latente", "calórico", etc, mas eu gostaria que fosse entendido que aquelas palavras eram apenas empregadas, porque convenientemente expressavam os fatos apresentados. Eu estava então, tão fortemente atraído para a teoria que considera o calor como o movimento entre as partículas de matéria como eu estou agora. Neste espírito, a proposição 6 foi escrita, a exatidão da qual eu tenho estabelecido pela experiência. (6 - A eletricidade pode ser considerada como um grande agente para a realização, organização e conversão do calor químico).

Há muitos fenômenos que não podem ser explicados pela teoria que reconhece o calor como uma substância, e há vários que, embora por vezes apresentados como uma objeção à teoria triunfante tende quando devidamente considerados, apenas a confirmá-la. O calor de fluidez pode muito naturalmente ser considerado como o impulso ou a força mecânica necessária para superar a agregação das partículas no estado sólido. O calor de vaporização pode muito naturalmente, ser considerado em parte como a força mecânica necessária para superar a condição de agregado de átomos no estado líquido e, em parte como a força necessária para superar as pressões atmosféricas. Novamente, o calor em combinação é apenas a manifestação, sob outra forma, da força mecânica com a qual os átomos se combinam. Por outro lado, os fenômenos da eletrólise da bateria voltaica nos dão uma prova positiva de que a força mecânica da corrente é necessária para obter a decomposição de um eletrólito no equivalente do calor devido à recombinação de elementos. Assim, parece que a eletricidade é um agente para a conversão do calor em outras formas de energia mecânica.

Eu tenho ultimamente lutado na elaboração dessa teoria do calor. Partindo da descoberta de Faraday, de que cada átomo é associado com a mesma quantidade absoluta de energia elétrica, presumo que as atmosferas de eletricidade giram com enorme rapidez em volta de seus respectivos átomos, e que a dinâmica da atmosfera constitui um "calórico" (calor 'calórico'), enquanto a velocidade de suas circunferências exteriores determina a temperatura. Essa teoria pode ser feita para aplicar aos fenômenos de condução, e que cumpra a lei de Boyle e Mariotte que diz respeito a fluidos elásticos. Quando aplicado à doutrina de calor específico, que exige a extensão da lei de Dulong e Petit a todos os corpos, sejam compostos ou não e aponta para a seguinte lei geral, aplicável a todos os corpos, exceto, talvez, a compostos de gases, viz. *O calor específico de um corpo é proporcional ao número de átomos de combinação divididos pelo peso atômico.* - uma lei que concorda muito bem com os resultados do experimento, quando alguns pesos atômicos (como, por exemplo, os de hidrogênio, nitrogênio e cloro) são reduzidos para metade, enquanto outros (como o de carbono) são dobrados. Segundo esta teoria, o zero da temperatura é de apenas 480 abaixo do ponto de fusão, indicando que a dinâmica da atmosfera rotativa de eletricidade em uma libra de água no ponto de congelamento é igual a uma força mecânica capaz de levantar um peso de cerca de 400.000 libras à altura de um pé (JOULE, 1844, p.121-123).

Assim, nesse artigo, Joule declara explicitamente a sua teoria e sugere a substituição da teoria do calórico pela sua própria teoria. Neste caso, o trabalho de Faraday (uma conexão que era passiva e tornou-se ativa) auxiliou fortemente o raciocínio de Joule, já que o levou a concluir que cada átomo estava associado à uma quantidade absoluta de eletricidade (conexão passiva). Tomando isto como ponto de partida, Joule desenvolveu um modelo de átomo com atmosferas de eletricidade que giravam sobre a matéria.

As ideias mais evidentes que levaram à rejeição da teoria calórica de Joule foram os trabalhos científicos desenvolvidos durante os anos de 1843 e 1844. Entre o momento em que Joule acrescentou a nota para seu trabalho "Efeitos Calóricos da Magneto-Eletricidade e o Valor Mecânico do Calor" e da conclusão de seu artigo intitulado "Mudanças de Temperatura Produzidas pela Rarefação e Condensação do Ar," mudanças profundas ocorreram em seu trabalho científico de forma geral. Sua teoria do calor envolvia um compromisso com a crença de um equivalente mecânico exato do calor.

Joule rejeitou a possibilidade do desaparecimento do efeito mecânico e prosseguiu em suas investigações experimentais em busca de um equivalente mecânico (conexão ativa). Estas mudanças evoluíram, como resultado do aumento do

conhecimento de Joule sobre o trabalho de seus predecessores. Nestes anos, ele amadureceu como cientista, ampliando a base de sua confiança em seus próprios pensamentos e experiências, colocando-os no contexto de trabalhos científicos anteriores. Ele havia mencionado Rumford, especificamente em sua nota e tornou-se mais familiarizado com as obras de Bacon, Boyle, Davy, Newton e Forbes até o fim do seu trabalho em junho de 1844 (STEFFENS, 1979, p. 53).

Esse amadurecimento das pesquisas de Joule por meio da visão fleckiana (2010, p. 144) pode ser visto como a máxima procura do pesquisador de coerção de pensamento. Esta busca de coerção ocorre quando Joule menciona os trabalhos dos seus predecessores para ampliar e confirmar suas hipóteses e experimentos (conexões ativas e passivas). Além disso, o mesmo vai se inserindo dentro de uma comunidade de pensamento que, conseqüentemente, torna sua pesquisa mais fortalecida socialmente.

Entre junho de 1843 e junho de 1844, Joule se viu envolvido em intensa atividade científica. Por acreditar no equivalente mecânico exato do calor e ler as obras necessárias para ampliar a base de seu conhecimento científico (conexões ativas), ele havia realizado dois novos conjuntos de experimentos (conexão passiva). O primeiro intitulado "No Caráter Intermitente da Corrente Voltaica, em Certos Casos de Eletrólise e em Diferentes Intensidades de Modalidades Voltaicas", foi uma continuação do trabalho que tinha feito sobre a eletrólise e as propriedades das baterias; o outro conjunto, os experimentos que levaram para a escrita do artigo sobre rarefação e condensação do ar, que representou uma linha completamente nova de investigação e revelou, muito claramente, a influência da leitura que tinha feito durante o ano.

O primeiro tópico do programa de Joule consistiu na leitura de obras de Benjamin Thompson, Conde Rumford. Nos trabalhos de Rumford, Joule encontrou experiências com o calor produzido pelo atrito, um tema que não havia considerado anteriormente. O trabalho de Rumford, ainda exibiu uma tendência definitiva para a explicação dos fenômenos de calor, em termos de vibração e movimento. Rumford tinha rejeitado a teoria do calor como substância, a partir do início de suas primeiras experiências. Em seu primeiro artigo "Um Relato de Algumas Experiências com Pólvora, com Observações Ocasionais e Inferências Práticas", Rumford defende, em toda sua obra científica, o conceito de calor como uma forma de vibração. Além do que apresentamos

anteriormente, a recorrência ao trabalho de Rumford por Joule é um exemplo do que Fleck (2010, p. 73) explicita:

Entre os graus de intensidade de uma tendência à persistência ativa dos sistemas de opinião, mencionamos o silenciamento de uma “exceção”. Tal exceção, para dar um exemplo entre muitos outros é representada pelos movimentos de Mercúrio em relação às leis de Newton. Apesar de conhecidas entre os especialistas, elas passaram em silêncio para o público mais amplo, uma vez que contradiziam as opiniões dominantes. Agora, quando se tornaram úteis para a teoria da relatividade, são citadas.

Apesar de alguns cientistas ingleses conhecerem o trabalho de Rumford, o mesmo sofreu um silenciamento. Na leitura Fleckiana, o trabalho de Rumford de considerar o calor como uma vibração, representa aqui uma das exceções, pois contrariava a teoria dominante - a teoria do calórico. Como Joule tinha uma crença no equivalente mecânico do calor, o que era exceção (o trabalho de Rumford) se torna útil para o reforço da sua teoria nas pesquisas de consolidação da teoria dinâmica do calor.

Assim, além de Joule conhecer o trabalho de Rumford, conheceu também os trabalhos de Davy para quem o calor não era uma substância. Entretanto, Joule não fez menção a um artigo escrito por Julius Robert Mayer, intitulado "Observações sobre as Forças Inorgânicas da Natureza". Este artigo tornou-se disponível para Joule apenas no momento em que ele foi reavaliar sua teoria do calor. O conteúdo do artigo era de interesse imediato para o trabalho (STEFFENS, 1979, p. 60).

Além da leitura das obras de Rumford, Davy, e possivelmente Mayer, Joule também tinha se familiarizado com o trabalho de Carnot, lendo o artigo de Clapeyron sobre a teoria do calor. Joule nunca tinha ficado satisfeito com a eficiência do motor a vapor, e depois de ler o relato de Clapeyron, rejeitou a teoria do calor de Carnot. O artigo de Clapeyron demonstrou a incompatibilidade do trabalho de Carnot com a própria teoria de Joule de calor e os elementos dos seus experimentos anteriores. O motivo para tal rejeição foi devido à possibilidade de destruição das forças da natureza e o conceito de calórico. Joule descartou as obras de Carnot e Clapeyron na sua totalidade; a teoria era muito mais útil e mais geral do que Joule optou por admitir, uma vez que esta teoria teve um papel extremamente importante no desenvolvimento posterior ao seu trabalho científico (STEFFENS, p. 77-79).

A teoria dinâmica do calor de Joule, incorporada ao conceito de “perda” de calor para produzir força mecânica, fornecia uma teoria melhor da máquina a vapor do que a teoria do calor como uma substância. Certamente sua teoria estava de acordo com os resultados de suas próprias experiências.

Os experimentos de Joule sobre a rarefação e condensação do ar confirmaram sua crença na rejeição da teoria calórica. Tais experimentos forneceram mais uma confirmação de seu conceito de equivalente mecânico do calor e demonstraram o cuidado de Joule em referenciar, de forma mais rigorosa, a literatura científica disponível para a informação sobre o tema; um exemplo disso foi o retorno de Joule às obras de John Dalton, em relação aos experimentos sobre a condensação e rarefação do ar:

Dr. Cullen e Dr. Darwin parecem ter sido os primeiros a observarem que a temperatura do ar é reduzida pela rarefação e aumentada pela condensação. Outros filósofos que posteriormente dirigiu sua atenção para o assunto. Dalton foi, no entanto, o primeiro que conseguiu medir a variação da temperatura com algum grau de precisão. Pelo emprego de um artifício muito engenhoso, que ilustre filósofo constatou que cerca de 50 ° de calor são liberados no ar, quando o ar é comprimido à metade de seu volume original, e que, por outro lado, 50 ° é absorvido por uma rarefação correspondente (Joule, 1845, p.172-173).

Joule, ao referir aos experimentos de Dalton intitulado: "Experimentos e observações sobre o calor e frio, produzidas pela condensação mecânica e rarefação do ar", estava bastante satisfeito com os resultados obtidos por Dalton. A partir dos experimentos de Dalton, Joule procurou desenvolver uma melhoria no seu projeto experimental. Como os experimentos de Dalton deixaram claros os calores específicos de vários gases, as diferentes densidades do ar não eram conhecidas com qualquer grande precisão, no entanto, a determinação do calor específico da água foi considerada muito mais acurada. Joule, portanto, inventou um arranjo para seu experimento, a fim de que somente o calor específico da água fosse um fator; ao invés de tentar determinar a quantidade absoluta de calor absorvido ou envolvido de um "fluido elástico" ou ar, Joule rodeou todo o seu aparato com uma grande quantidade de água. A água foi considerada o padrão de capacidade para o calor e as mudanças de temperatura eram transmitidas para a água; a experiência poderia, portanto, estar relacionada com as quantidades absolutas de calor com precisão conhecida.

As conclusões, que Joule tirou de suas experiências sobre o ar, também mostravam os resultados de sua leitura científica. Ele considerou as experiências, não apenas uma nova confirmação de seu equivalente mecânico do calor, mas também um argumento quase decisivo contra a teoria do calor como uma substância; um maior apoio do que ele chamou de teoria dinâmica do calor. Tomando por base a leitura de trabalhos de outros cientistas, como a sugestão dada por Davy de que o calor consistia no movimento de partículas sobre seu eixo e combinando com o trabalho de Faraday sobre a quantidade de eletricidade associada a cada átomo, Joule afirmava sua nova teoria do calor com estas palavras:

O equivalente mecânico do calor determinado por várias séries de experimentos apresentados neste trabalho são 823, 795, 820, 814, 760. A média dos três últimos, que eu tomo, pelo menos como passível de erro, é 798 libras, um resultado tão perto de 838 libras, o equivalente que eu deduzi dos meus experimentos magnéticos para confirmar, de uma forma notável, a explicação acima dos fenômenos descritos neste artigo (a equivalência do calor e da força mecânica) e de forma nova na minha opinião, argumento poderoso em favor da teoria dinâmica do calor que se originou com Bacon, Newton e Boyle, e foi em um período posterior pelos experimentos de Rumford, Davy, e Forbes. No que diz respeito aos detalhes da teoria, muita incerteza que se apresenta. A idéia bonita de Davy de que o calor de fluidos elásticos depende em parte de um movimento de partículas à volta dos seus eixos, eu acho que não recebeu até agora a atenção que merece. Eu acredito que a maioria dos fenômenos pode ser explicada pela adaptação para a grande descoberta electroquímica de Faraday, através da qual sabemos que cada elemento atômico é associado com a mesma quantidade absoluta de eletricidade. Vamos supor que estas atmosferas de eletricidade dotada de certa forma com as propriedades ordinárias da matéria giram com grande velocidade em volta seus respectivos átomos e que a velocidade de rotação determina o que chamamos de temperatura. Em um fluido aeriforme podemos supor que a atração das atmosferas de seus respectivos átomos e que os átomos em direção ao outro são incomensuráveis para todas as pressões as quais a lei de Boyle e Mariotte se aplica, e que, conseqüentemente a força centrífuga das atmosferas rotativas é a única causa de expansão sobre a remoção da pressão. Por este modo de raciocínio a lei de Boyle e Mariotte recebe uma explicação fácil sem recorrer à hipótese improvável de uma repulsa variando em uma proporção diferente daquela do inverso do quadrado. Os fenômenos descritos no presente trabalho, assim como a maioria dos fatos da termoquímica, de acordo com esta teoria e a fim de aplicá-la à radiação só temos que admitir que as atmosferas de eletricidade renovável possui, em grau maior ou menor, consoante as circunstâncias, o poder de excitar isócrona ondulações no éter que é suposto permear o espaço (JOULE, 1845, p. 187-188).

Então, toda a leitura de Joule de artigos de outros pesquisadores e seus experimentos contribuiu para sua completa rejeição do calor como substância, sendo

reforçada pelos trabalhos de Rumford e Davy. Todas as suas experiências até esta data, tinham sérias dúvidas sobre a teoria do calor como uma substância, conservada em todos os processos naturais. Finalmente, Joule viu na teoria dinâmica do calor, uma maneira que iria unificar e impulsionar toda a química. Seu objetivo, na tentativa do desenvolvimento de uma nova teoria do calor, era avançar o conhecimento químico (STEFFENS, 1979, p. 82).

Quanto aos experimentos anteriores das experiências sobre a condensação e rarefação do ar de Joule ainda deixarem dúvida sobre a existência de uma possível teoria substancialista do calor, a partir do ponto de vista de Fleck seria:

Se um experimento fosse claro, ele seria desnecessário: pois, para formar um experimento de maneira clara, deve-se conhecer seu resultado de antemão; caso contrário, ele não pode ser limitado, nem direcionado para um fim. Quanto mais rico em aspectos desconhecidos e quanto mais nova uma área de pesquisa, tanto mais confusos são os experimentos. Quando uma área já é tão elaborada que as possibilidades de conclusão são limitadas à questão da existência ou não existência e eventualmente a constatações quantitativas, os experimentos se tornam cada vez mais claros, mas não possuem autonomia por serem arrastados pelo sistema de experimentos e decisões anteriores (FLECK, 2010, p. 135-136).

Dessa forma, podemos dizer que os experimentos iniciais de Joule eram confusos e inconclusivos para rebater a teoria substancialista do calor, mas na medida em que vai desenvolvendo novos experimentos, como os da condensação e rarefação do ar, aperfeiçoa o seu processo experimental. Este processo de aperfeiçoamento combinado com as ideias e práticas de outros cientistas contribui para que os aspectos desconhecidos dos experimentos anteriores do equivalente mecânico do calor tornem-se mais claros, fortalecendo a sua teoria dinâmica do calor.

Quanto aos seus colaboradores, com base em Fleck, Joule recebeu por meio da circulação intracoletiva de ideias e práticas através das leituras dos trabalhos de Dalton, Rumford, Davy e Faraday, um reforço sociocientífico, para fortalecer a sua teoria da dinâmica do calor.

Joule acreditava que sua teoria dinâmica já fornecia uma explicação para uma grande quantidade de conceitos de Química, já que os fenômenos da temperatura, a pressão de "fluidos aeriforme" e todos os fenômenos da termoquímica foram bem

explicados por sua teoria. Como resultado das suas descobertas recentes, ele também viu o trabalho de Dulong como potencial explicável para confirmar a sua teoria.

Os experimentos de Joule foram extremamente importantes, quando confirmados pelo trabalho de Dulong, de que nenhum calor foi desenvolvido, quando o ar expandiu, sem executar o trabalho. Se isso fosse verdade, poderia ser argumentado que o calor desenvolvido, quando o ar foi comprimido, era equivalente ao trabalho para produzir a compressão. Desta forma, Joule sentiu que sua nova teoria teve grande significado prático, livrando-o de todas as teorias sobre o funcionamento do motor a vapor, que envolvia o conceito de calor como uma substância, porque conflitava com sua nova teoria dinâmica e os resultados da sua própria experimentação (STEFFENS, 1979, p. 83).

Joule tentou estender sua teoria do calor para incluir o novo trabalho experimental sobre o calor radiante. Sua menção a Forbes, no mesmo contexto de Rumford e Davy, é especialmente reveladora, porque James Forbes tinha realizado várias pesquisas sobre os fenômenos de calor radiante e ficou, particularmente, impressionado com a estreita analogia entre os fenômenos do calor radiante e a luz; foi um defensor da teoria ondulatória da luz e estava interessado em aplicar sua teoria da ondulação para a explicação do calor radiante. Esta teoria era amplamente aceita na Inglaterra, nos últimos anos da década de 30, do século XIX.

O estudo do calor radiante ligou-se, naturalmente, à teoria ondulatória, porque ambos os aparatos experimentais e matemáticos desenvolvidos para a luz poderiam ser facilmente adotados para os estudos dos fenômenos do calor radiante. Dois relatórios que ligavam os fenômenos radiante de luz e calor foram preparados pela Associação Britânica para o Avanço da Ciência: um em 1832 e o outro em 1840, uma vez que a Inglaterra teve grande interesse pelo assunto. Em 1840, a maioria dos fenômenos de calor radiante tinham sido estudados e era, consenso geral, que o fenômeno poderia ser explicado em termos de ondulações, embora um mecanismo exato não tivesse sido desenvolvido.

A semelhança entre o calor radiante e a luz estava claramente indicada no início de 1840, mas ainda havia problemas com a conexão exata dos dois. Joule teve o

cuidado de ligar sua nova teoria do calor, apenas para a produção de ondulações leves. É certo que ele sabia que a forte analogia entre calor e luz estava familiarizada com o calor radiante; a fim de dar melhor suporte a sua teoria, ele optou por fazer um link com a melhor doutrina estabelecida de ondulações leves (STEFFENS, 1979, p. 85).

O artigo de Joule sobre a rarefação e condensação do ar foi de importância para seu trabalho científico, por três razões principais. Primeira, ele apresentou a terceira determinação de um valor para o equivalente mecânico do calor; agora tinha três valores suficientemente próximos uns dos outros para confirmar totalmente a sua crença na equivalência numérica; segunda, a leitura de Joule do trabalho de Clapeyron e sua garantia de que a força mecânica fora produzida à custa do calor, resultou na sua completa rejeição das sugestões de Carnot e o conceito de calor como uma substância.

Joule estava absolutamente convencido de que, sempre que uma quantidade de força mecânica fora gasta, um montante exatamente de equivalente de calor fora produzido. Já Carnot relata a produção de força mecânica pela simples queda de calórico, através de um diferencial de temperatura sem perda de qualquer quantidade de calor, o que parecia completamente errada em relação aos experimentos de Joule; devido a isto, Joule tentou formular a sua própria "teoria dinâmica do calor".

Finalmente, a terceira razão: os experimentos de Joule sobre o ar dirigiram forte atenção para uma formulação mais completa da teoria dinâmica. Ele estava determinado a desenvolver uma teoria que pudesse substituir a teoria calórica e também fornecer uma explicação básica para todos os fenômenos de calor e para toda a química; queria inventar uma explicação única, para os eventos observados, que iria cobrir uma variedade enorme de áreas possíveis. De 1843 em diante, esta preocupação de formular uma teoria dinâmica básica do calor fazia parte de todas as suas outras pesquisas experimentais.

Como consequência de seu interesse pela teoria dinâmica do calor e de suas pesquisas anteriores sobre o equivalente mecânico do calor entre os anos de 1844 e 1845, Joule ficou interessado na determinação precisa dos calores específicos, já que estava preocupado com os valores dos calores específicos dos materiais, que ele usara em seus experimentos. No entanto, de uma forma mais de nível teórico, Joule tornou-se

interessado no calor específico, devido à sua relação com o trabalho de Dulong e, mais indiretamente, à sua própria teoria do calor.

Joule no seu pequeno artigo, "Sobre o Calor específico" (JOULE, 1844, p.189-192) tinha a intenção, claramente implícita, de utilizar o trabalho de Dulong e Petit, como um maior apoio para a sua própria teoria do calor. A sua familiaridade com a teoria de Dulong e Petit foi demonstrada em seu artigo sobre a condensação e rarefação do ar. Dulong e Petit "descobriram" que o calor específico dos corpos simples era inversamente proporcional ao seu peso atômico, realizando experimentos, principalmente, em corpos metálicos, com o apoio a esta teoria. Joule mencionou especificamente os experimentos recentes feitos para estender a teoria para gases e sólidos compostos.

Como aconteceu com o resultado de experiências de Regnault, Joule estava convencido de que a lei de Dulong e Petit poderia ser estendida a compostos químicos e poderia, pois, ser descrita como a lei mais geral: "Em todos os corpos compostos com a mesma composição atômica e de constituição química semelhante, os calores específicos são inversamente proporcionais aos pesos atômicos." Joule, em seguida, elaborou um novo método para determinar os calores específicos, baseado em seu trabalho anterior sobre resistências elétricas, ou seja, usou o calor gerado pela resistência que um fio oferece à passagem de uma corrente elétrica. O processo foi, na melhor das hipóteses, controverso por envolver a medição da absorção do calor emitido pelo fio. A lei de Joule afirmava que a quantidade de calor desenvolvido pelo fio em um dado momento foi proporcional à resistência, à condução e ao quadrado da quantidade de eletricidade transmitida.

Joule, simplesmente, assumiu que uma quantidade exata de calor foi gerada pelo fio e assim representou uma fonte exata e mensurável. A teoria contemporânea, no entanto, não aceitou esta geração de calor, mas atribuiu ao calor alguma outra fonte mal definida.

Joule descreveu em detalhes seus métodos para determinar o calor específico de gases e líquidos; utilizando um galvanômetro delicado, encontrou um método fácil e exato. Ele concluiu seu artigo com a afirmação de que considerava o seu método com

distintas vantagens sobre os processos antigos. Apesar de suas afirmações serem verdadeiras, seu método não era suscetível de ser utilizado por qualquer um dos adeptos da teoria do calor. Joule era a única pessoa que, tardiamente, em 1845, colocou toda a confiança em seu trabalho. Ninguém citou seu trabalho em artigos publicados e não encontrou novo incentivo, com exceção de seu círculo de amigos da sociedade de Manchester (STEFFENS, 1979, p. 86-88).

De forma geral, as pesquisas sobre o equivalente mecânico do calor, assim como aquelas do efeito Joule do motor elétrico, ilustram muito bem as relações entre conexões ativas e passivas. Especificamente, no caso do equivalente mecânico do calor, Joule acreditava na teoria dinâmica do calor, que fez com que acreditasse na relação exata entre calor e força mecânica (conexões ativas) e suas várias medidas experimentais feitas, o que constituem as conexões passivas, que no constante aperfeiçoamento em busca da exatidão (conexão ativa), os resultados experimentais que eram conexões passivas, se tornaram conexões ativas.

As pesquisas de Joule sobre o equivalente mecânico do calor foram ignoradas tanto pela associação britânica para o Progresso da Ciência como pela Royal Society. Ele apresentou o primeiro relatório de suas experiências empregando o aparato da agitação da água através de pás para a seção de química da reunião da associação britânica em Cambridge, em 1845. Apesar da indiferença com que o documento foi recebido a experiência de Joule das pás representou um avanço teórico em seu trabalho. Tal avanço foi expresso em outro valor para o equivalente mecânico e também contribuiu para uma explicação física dos meios de transformar a força mecânica em calor. Joule também foi capaz de aplicar sua nova explicação para a determinação do "zero de temperatura" ou zero absoluto.

O valor obtido por Joule para o equivalente mecânico foi 890 libras caindo através de um pé, o que não satisfez os seus anseios. Este valor foi maior do que as outras três determinações de 823 libras, 770 libras e 795 libras. Ele decidiu modificar ainda mais o seu aparelho de agitação da água, através das pás para obter maior precisão, convencido de que poderia haver um número exato para a equivalência.

De acordo com Sibus e Morel (1998), nestas experiências iniciais apresentadas na reunião da associação britânica, em Cambridge, em 1845, Joule ainda não tinha conseguido determinar o equivalente mecânico do calor com grande exatidão, porque os instrumentos eram expostos ao ambiente, o que afetava consideravelmente as suas medidas.

O aparato para os experimentos de Joule, da agitação da água através de pás foi uma adaptação do utilizado por Rennie, em sua experiência sobre o atrito da água. O objetivo dos dois experimentos foi, porém, muito diferentes. Rennie estava interessado apenas na fricção de fluidos em superfícies diversas e as palhetas em seus aparatos foram desenhadas para testar a resistência da água contra elas, bem como a quantidade de atrito experimentado pela água contra os lados do recipiente; Joule modificou o aparato para que o movimento de agitação da água, através das pás, impedisse o movimento de translação da água. A força mecânica gasta pela roda de bronze, em girar a água no interior do recipiente, foi medida por meio do arranjo de peso e polia utilizados em suas experiências anteriores, sobre um circuito eletromagnético voltaico. De acordo com Sibus e Morel (1998), uma parte do aparato para os experimentos de Joule da agitação da água através das pás, refletia a sua prática de cervejeiro; as rodas de metal e o recipiente de água foram uma versão reduzida de um recipiente utilizado na cervejaria.

Esta adaptação do experimento de agitação da água, através das pás, de Rennie é mais um exemplo da categoria epistemológica *circulação intercoletiva de ideias e práticas*, que ocorre no momento em que Joule mediante a determinação de um equivalente mecânico exato do calor e a conscientização do problema (a falta de um instrumento de melhor precisão e um local isolado). A prática seria o experimento construído por Rennie, que apesar de ter objetivo diferente, serviu de base para Joule estudar, de maneira mais aprofundada, o equivalente mecânico do calor.

O aparelho para o experimento de agitação da água, através das pás, foi cuidadosamente construído para segurar a tensão e livre de vibração nas partes móveis. Os braços e as pás utilizadas para agitar a água foram construídos a partir de folha de latão, o recipiente de água e a tampa foram feitos de cobre. Mais tarde, o

aparato para a agitação de mercúrio foi construído com os braços e as palhetas de ferro forjado e o recipiente de tampa de ferro. Mas, o arranjo básico permaneceu o mesmo ao longo de uma série de experimentos: o conjunto de braços rotativos e palhetas estacionárias foram colocados dentro de um recipiente e a tampa foi equipada com uma junta de couro; os braços giratórios produziam a agitação e as palhetas fixas impediam o líquido de ter um movimento de translação.

Um diagrama de vista superior Fig. 3 e um diagrama de vista lateral Fig. 4 mostra o arranjo para a agitação da água constituído de palhetas fixas e braços móveis associados ao eixo rotação. No total são oito conjuntos de braços rotativos e quatro de palhetas estacionárias.

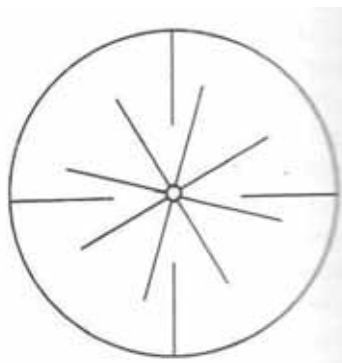


Figura 3: Diagrama de vista superior do arranjo de palhetas fixas e braços móveis que constitui o aparato do experimento de agitação da água através das pás (JOULE, 1850, p. 65).

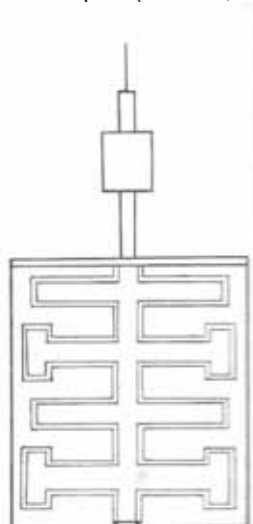


Figura 4: Diagrama de vista lateral do arranjo de palhetas fixas e braços móveis que constitui o aparato do experimento de agitação da água através das pás (JOULE, 1850, p. 65).

O recipiente foi construído com dois furos Fig. 5, (a) um para o eixo, e (b) uma para o termômetro.

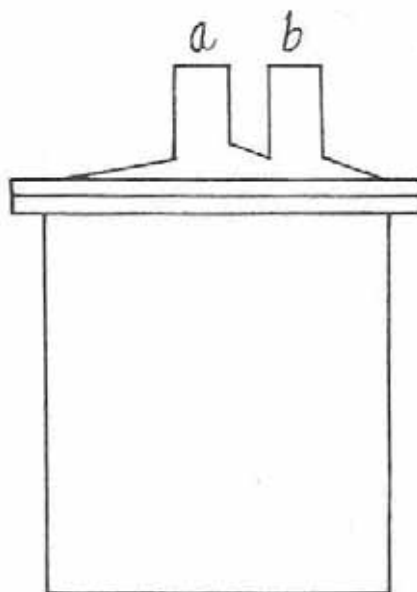


Figura 5: Recipiente que constitui o conjunto de equipamentos do aparato do experimento de agitação da água através das pás. (a) orifício do eixo de rotação; (b) orifício para inserção do termômetro (Joule, 1850, p. 65).

O aparato todo está montado na Fig.6. O eixo de rotação dos braços foi anexado a uma roldana de madeira que poderia ser transformada por alavanca. Esta polia, por sua vez era anexada por um barbante fino contínuo, cuidadosamente, às talhas de madeira, cerca de um pé de diâmetro e duas polegadas de espessura, tendo rolos de madeira, cerca de duas polegadas de diâmetro, conectado a eles. Através do centro destes rolos foi inserido um eixo de aço de rotação em torno de 1 / 4 de polegada de diâmetro. Este eixo de aço rotacionava dois pares de rodas de bronze, que estavam ligados a um eixo de seu próprio conjunto num quadro de madeira forte fixados nas paredes da adega de Joule (ele considerou a localização do seu aparato experimental na adega, uma grande vantagem devido à uniformidade da temperatura). Os pesos de chumbo, que ativavam o aparelho, estavam suspensos por cordas a partir das roldanas presas as rodas de madeira; os pesos eram permitidos cair a uma distância cerca de 63 polegadas, ou seja, até que eles chegassem ao chão do laboratório.

O início da altura dos pesos, acima do solo, era medida por uma régua. O aparelho de agitação da água através das pás foi isolado tanto quanto possível, desde a troca de calor por condução, já que o calor poderia ser perdido (ou ganho) somente a partir do ar e por radiação. O recipiente foi colocado sobre uma plataforma de madeira entalhada para minimizar a perda de calor. Durante a realização dos ensaios experimentais, Joule ficava atrás de uma grande tela de madeira para evitar que o calor do corpo radiante afetasse o aparato.

Joule coletou seus dados da seguinte forma: mediu a temperatura do aparelho e os pesos foram girando a alavanca, usando um pino no eixo ligado ao dispositivo rotativo para soltar o aparelho; o pino foi contratado, o peso permitido cair no chão, então, o pino foi desligado e os pesos enrolados novamente. Joule tinha a confiança de que pudesse ler os seus termômetros com uma precisão que correspondesse a um ducentésimo de um grau Fahrenheit, em seguida mediu a temperatura da adega do laboratório no início, no meio e no final de cada ensaio. Ele teve o cuidado de verificar os efeitos da condução e radiação de calor sobre o aparato antes e após cada ensaio. Desta forma determinou o aumento de calor ou perda no aparato compatível, com todas as condições da situação experimental, com exceção do aparelho de atrito que estava em repouso. Ele tentou estabelecer parâmetros exatos para o erro experimental. Em suma, os trabalhos experimentais de Joule são obras-primas de cuidado e exatidão.

Cabe ressaltar que detalhes de como ele instalava o termômetro para medir a temperatura do ar e a maneira de aferir a temperatura da água no recipiente de metal não se encontram em suas notas e relatórios de laboratório, pois estas questões estão diretamente ligadas aos saberes tácitos adquiridos na cultura dos cervejeiros (SIBUM e MOREL, 1998).

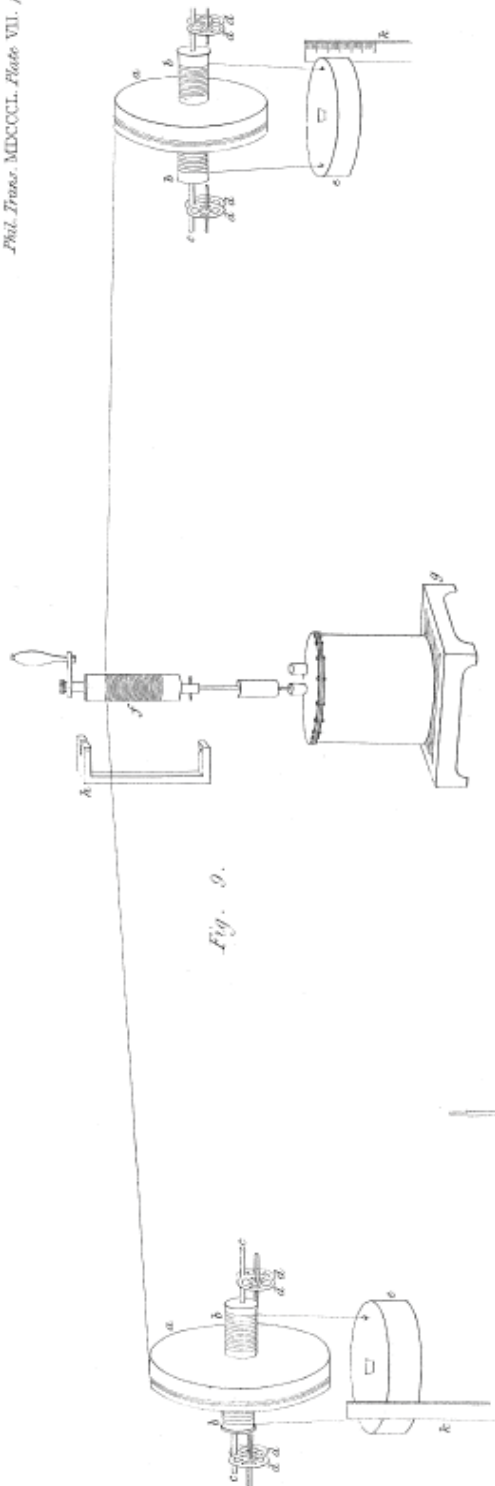


Figura 6: Aparato completo do experimento de agitação da água através das pás (JOULE, 1850, p. 65). Escala: 1 polegada para cada 1 pé.

Em uma carta aos editores do periódico *Philosophical Magazine*, Joule conseguiu fazer uma descrição completa de suas experiências, principalmente porque tentou fazer o valor de 890 libras mais aceitável, por algumas médias bastante questionáveis. Suas posições foram enfraquecidas pelos seguintes argumentos:

Esta última classe de experimentos [água através de tubos estreitos], sendo semelhante da agitação da água através das pás podemos tomar a média de 774 e 890, ou 832 libras com o equivalente derivado da fricção da água. Em tais experimentos delicados, em que um mal nunca recolhe mais de meio grau de calor, maior conformidade dos resultados com outro que aquele exibido, mal podia esperar. Eu posso, portanto, concluir que a existência de uma relação equivalente entre calor e as formas ordinárias da energia mecânica é provada e assumir 817 libras, a média dos resultados das três classes distintas de experiências como o equivalente até experiências mais precisas devem ter sido feitas (JOULE, 1845, p. 204).

São vários os motivos pelos quais as pesquisas de Joule tiveram dificuldades de aceitação. Por exemplo, o que mais tarde foram consideradas duas das suas grandes pesquisas sobre o equivalente mecânico tiveram grandes dificuldades de aceitação, no ano de 1845. A confiança de Joule nas pequenas variações de temperatura, mais tarde, foi vista como exemplo da habilidade de Joule, como um experimentador. No entanto, em 1845, estas medidas não inspiraram confiança em seus contemporâneos. Neste mesmo ano, algumas medidas começaram a ser feitas com precisão suficiente para serem consideradas confiáveis. Mais tarde, em 1860, os resultados obtidos a partir dos três diferentes tipos de experiências, também seriam saudados como uma boa prova da aplicação extensiva do conceito de equivalente mecânico. No entanto, em 1845, esses resultados diferentes serviram apenas para confirmar as dúvidas dos cientistas, que acreditavam na teoria do calórico.

Essa dificuldade de aceitação dos experimentos de Joule, nos anos de 1845, e mais tarde (1860) os mesmos serem aceitos como uma boa prova do equivalente mecânico do calor, em um olhar epistemológico, a partir de Fleck (1986, p. 136) significa que não é possível, durante o trabalho cognitivo, ter uma conclusão lógica e segura das primeiras observações, pois os resultados são pouco enunciáveis na linguagem das primeiras observações e vice versa, ou seja, as primeiras observações, na linguagem dos resultados. Desta forma, em uma leitura fleckiana, a legitimação dos

experimentos de Joule só vieram depois do contínuo desenvolvimento de outros saberes, com o surgimento de outros equipamentos, que melhoraram a precisão experimental e a corroboração de outras pesquisas feitas e no decorrer desta evolução, houve o reforço social da aceitação do trabalho de Joule.

A idéia de calor como substância era tão forte que os adeptos desta teoria não aceitaram a explicação que Joule tinha, de que em cada um de seus três arranjos experimentais tinha gerado calor, em uma quantidade exata, de acordo com as “perdas” de força mecânica. Para os adeptos da teoria do calórico, a interpretação mais provável era a transferência de calor do que a geração de calor. Entretanto, a fonte desse calor transferido não foi identificada, mas isso não era importante para o argumento. Entretanto, se a fonte não foi definida, seria lógico que ela deveria ser diferente para cada um dos três tipos de experimentos. Os diferentes valores obtidos pelos três métodos, infelizmente, confirmaram as críticas feitas nas conclusões dos trabalhos de Joule e mesmo diante da defesa dos resultados, de que pela especificidade e dificuldade experimental, os valores alcançados eram o melhor possível, não conseguiram convencer os seus opositores. Mais tarde, William Thomson teve dúvidas semelhantes, quando teve conhecimento do trabalho de Joule em 1847 (STEFFENS, 1979, p. 94-95).

De acordo com Fleck (2010, p. 150) este é um exemplo de resistência à mudança de um determinado EP. Os teóricos do calórico se fecharam socialmente na crença de uma teoria substancialista do calor e suas ideias transformaram-se em coação para os outros indivíduos. Esta coação impede o que pode ser pensado de outra maneira, no caso aqui, uma teoria alternativa à do calor como substância.

O ponto negativo disto é que várias gerações ficaram submissas a coerção de um determinado pensamento (a teoria substancialista do calor), queimando aqueles que pensavam diferente (teoria dinâmica do calor), por não fazerem parte do CP dominante e que foram considerados subversivos. Mas, quando outra disposição gera crise no sistema de harmonia das ilusões do coletivo dominante, abre disposição para a instauração de um novo EP, no caso, um coletivo rival representado nos nomes de Faraday, Rumford, Davy, John Herapath e outros, contrário ao coletivo dos teóricos do calórico. Tal coletivo corroborou diretamente com Joule no aperfeiçoamento de suas

ideias e práticas experimentais, além de buscar um reforço social para sua teoria dinâmica do calor, que contribuiu, posteriormente, com a instauração do princípio da conservação da energia.

A teoria do calórico não dava conta de explicar o desaparecimento da força mecânica durante as operações dos fenômenos do calor. Se a força não era simplesmente gasta, Joule foi obrigado a fornecer uma explicação para o desaparecimento da força mecânica. A inclusão das propostas da vis viva em sua teoria do calor representa um contributo significativo para as suas pesquisas e tornou-se o modo básico de explicação dos fenômenos do calor e da equivalência. Joule desenvolveu um método para a transferência da vis viva que sob seu regime, o calor poderia ser produzido pela mudança de força mecânica de uma forma para outra, ou seja, a vis viva da massa em queda foi transferida para a vis viva das partículas de água. Este mecanismo que Joule desenvolveu para explicar esta transferência foi a revolução das atmosferas de eletricidade sobre cada átomo de água ou de átomos em geral. O conceito da transferência de vis viva tornou-se essencial para o esquema teórico de Joule (STEFFENS, 1979, p. 95-96).

Apesar do pouco apoio das sociedades científicas, Joule estava convencido da utilidade de sua teoria do calor e um reflexo disto foi sua ansiedade para alargar a sua aplicabilidade e mesmo diante dos problemas, continuou a experimentar para argumentar a sua nova teoria do calor. Entre sua apresentação na Associação Britânica, em 1845 e sua próxima apresentação na reunião de Oxford, em junho de 1847, Joule trabalhou para melhorar a precisão de sua determinação do equivalente mecânico. O seu objetivo era melhorar a precisão experimental, de tal forma que ninguém pudesse duvidar de que houve, de fato, um equivalente exato entre calor e força mecânica. As mais importantes melhorias no seu aparato experimental foram a eliminação dos efeitos do aquecimento e o arrefecimento do aparelho pelo ar. Joule blindou o aparelho com água e repetiu toda a série de experimentos com outros líquidos como o óleo, tabulou os resultados dos nove experimentos com água destilada e nove com o óleo. Os valores para o equivalente mecânico obtidos foram: 781,5 libras para a água e 782,1 para o óleo (STEFFENS, 1979, p. 96).

Como já ocorria, não houve interesse nas publicações de Joule. Um resumo foi impresso nos relatórios da Associação Britânica de 1847 e os seus artigos curtos apareceram na *Philosophical Magazine*. Joule tinha enviado igualmente um artigo curto para a Academia Francesa. Após ser examinado por Biot, Pouillet e Regnault, o documento finalmente apareceu no *Comptes Rendus* em agosto de 1847.

Este processo experimental de Joule é semelhante a da reação Wassermann estudado por Fleck:

[...] É claro, portanto, que os dados fornecidos pelos experimentos não eram precisos, que alguns experimentos forneciam resultados pouco nítidos, que muitas vezes havia que decidir somente após o experimento se o resultado deveria ser considerado positivo ou negativo. Também não há dúvida de que Wassermann ouvia, no meio desses sons confusos, aquela melodia que estava no seu interior, mas esta não era audível para os não envolvidos. Ele e seus colaboradores ficavam à escuta e manipulavam seus aparelhos até estes se tornarem seletivos e a melodia se tornar perceptível também para os não envolvidos (imparciais). Quem saberia definir o momento em que isso se tornou possível pela primeira vez? A comunidade daqueles que tornaram a melodia audível e aquela dos ouvintes crescia incessantemente. É inadequado dizer que os primeiros experimentos tivessem sido corretos ou incorretos, porque, de imediato, algo muito correto surgiu deles, sem que eles mesmos pudessem ser chamados de corretos (FLECK, 2010, p. 135).

Analisando Joule sob esta ótica, os seus experimentos iniciais não eram precisos e forneciam resultados pouco nítidos; não há dúvida de que Joule, no meio da confusão geral, ouvia aquela melodia que estava em seu interior, em acreditar em um equivalente mecânico exato do calor, mas que não estava audível para os não envolvidos, os defensores da teoria do calórico. Joule e seus colaboradores, os defensores da teoria dinâmica do calor, Faraday, Rumford, Davy, John Herapath ficavam à escuta e manipulavam seus aparelhos até estes se tornarem seletivos e a melodia se tornar perceptível também para os não envolvidos (imparciais). Um exemplo destes que eram imparciais e depois a melodia se tornou audível foi William Thomson; sua interação com Joule será descrita na próxima seção.

Joule continuou a fazer pequenas alterações em seus aparelhos para melhorar a precisão. Ele decidiu que deveria continuar os experimentos utilizando três líquidos - água, óleo e mercúrio - para chegar a um valor mais preciso. Após uma série de 40

experimentos com os três líquidos, concluiu que o valor de 771 libras foi preciso "dentro de um ducentésimo de verdade".

O resumo do artigo de Joule fez mais do que simplesmente relatar os resultados dos experimentos em 1848. Desta vez, foi acrescentado nas conclusões, o que Joule tinha tirado do seu trabalho experimental. Dois parágrafos resumiram a posição de Joule muito bem:

O autor concebe os seguintes pontos a serem estabelecidos: Primeiro, suas experiências sobre o atrito dos fluidos confirmando as opiniões e experiências de Rumford, Davy sobre o atrito dos sólidos, o outro uma prova decisiva de que o calor é simplesmente um esforço mecânico, não uma substância. Segundo seus experimentos, mostrando que os efeitos térmicos da força mecânica gasta em um caso, e ganha no outro, prova que o calor de fluidos elásticos consiste simplesmente na vis viva de suas partículas, e terceiro, o zero de temperatura determinado pela expansão de gases, está em 491 abaixo do ponto de congelamento da água.

Podemos, o autor pensa, empregar as proposições acima para calcular o calor específico dos gases. Pois, se nós concebemos as partículas a ser rodada revolvendo outro, de acordo com a visão de Herapath, a pressão do gás será proporcional à vis viva de suas partículas (JOULE, 1848, p. 289).

Apesar do equivalente mecânico de John Herapath (885 libras) diferir do resultado (817 libras) encontrado por Joule nos trabalhos de 1845, Joule adotou as visões de Herapath sobre a vis viva de partículas (CARDWELL, 1989, p. 91-92). Herapath, em sua obra em dois volumes, *Física Matemática*, em 1848, propõe o que hoje é chamado de "teoria cinética dos gases", em que usou a vis viva das partículas de gases para explicar os vários fenômenos de gases. O uso de Joule da idéia de Herapath foi um dos primeiros apoios para a teoria cinética dos gases. No entanto, Joule não abandonou suas visões antigas de átomos estáticos, com atmosferas de eletricidade rotativas, considerando ambas as hipóteses capazes de explicar o fenômeno, mas aceitou a teoria de Herapath como a mais simples das duas, em termos de cálculo.

De acordo com Cardwell (1989, p. 92-93), Herapath trabalhou dentro da tradição newtoniana britânica. As forças centrais e dinâmicas foram os conceitos-chave que ele usou, quando manteve a parafernália antiga de proposições, escólios e lemas. Não havia nenhuma rota direta desses conjuntos de ideias para a doutrina da energia.

Ao contrário de Steffens, para Cardwell (1989) Joule teria aprendido a usar os conceitos de vis viva e a 'atração pelo espaço', através dos mentores de Manchester, particularmente John Dalton. Outros, não conectados a Manchester, que aceitaram esses conceitos foram Davies Gilbert, que era um bom amigo dos engenheiros da Cornuália, tais como: Richard Trevithick e Arthur Woolf, o químico W. H. Wollaston e claro, os engenheiros escoceses como W.J.M. Rankine.

O artigo intitulado "Algumas observações sobre calor e a Constituição dos Fluidos Elásticos", teve uma aceitação melhor, na leitura feita na Associação Britânica em 1848; Joule utiliza a hipótese de Herapath e a primeira parte do artigo foi dedicada a uma descrição de todas as pesquisas experimentais de Joule até aquele momento. Joule deixou bem claro que seu trabalho tinha provado a equivalência de calor e energia mecânica, além de ter mostrado que o calor não era uma substância, mas sim "outras partículas ponderáveis a vis viva ou um estado de atração ou repulsão capaz de gerar vis viva." Ele reafirmou sua crença de que Davy foi a primeira pessoa a demonstrar a imaterialidade de calor e o primeiro a conceber uma teoria alternativa. No entanto, ele decidiu deixar de lado a hipótese de Davy, em favor da visão de Herapath, pois era mais fácil de usar (STEFFENS, 1979, p. 98).

O artigo "Sobre o equivalente mecânico do calor", lido em junho de 1849, perante a Royal Society representou o ápice do trabalho de Joule sobre a determinação do valor do equivalente mecânico do calor, que foi comunicado à Sociedade por Michael Faraday. Nele, Joule apresentou uma enorme quantidade de dados experimentais de três séries de experimentos, usando água, mercúrio e o atrito de ferro fundido com ferro. Ele tinha aperfeiçoado seu aparato o suficiente para obter resultados muito próximos de todas as cinco séries, com a média de 772,692 para água, 774,083 para mercúrio e para o ferro fundido 774,987 libras pelo espaço de um pé. Joule concluiu o artigo, afirmando que seus experimentos demonstraram que o calor produzido pelo atrito dos corpos, líquido ou sólido foi sempre proporcional à quantidade de força exercida. Afirmou ainda que, uma força mecânica representada pela queda de 772 libras de uma altura de um pé, é necessária para fornecer a quantidade de calor capaz de aumentar a temperatura de uma libra de água por um grau Fahrenheit (STEFFENS, 1979, p. 99).

Mesmo com pouca aceitação do trabalho de Joule, principalmente pelo meio científico fora de Manchester, a Royal Society foi obrigada a aceitar os resultados dos seus experimentos para publicação, no entanto, não aceitou as implicações dessas experiências para uma nova teoria do calor. Um exemplo disto, foi a terceira conclusão que Joule tinha a intenção de incluir em seu documento, porém foi excluída pelo árbitro. Esta conclusão indicava que o atrito consistiu na conversão de energia mecânica em calor (SMITH, 1976, p. 447-448).

Os trabalhos de Joule de 1838 até 1849 tiveram pouco impacto científico, pois boa parte deles tiveram aprovação e importância somente entre seus amigos pessoais. No entanto, depois de 1850, o seu trabalho ganhou grande importância, tornando-se base para alguns dos mais importantes desenvolvimentos científicos da próxima década (STEFFENS, 1979, p.100).

Os EPs de Joule que conseguimos classificar na evolução de seus principais trabalhos, até 1849, como *tecnicismo, científico, convertibilidade e eficiência experimental*, após 1850, serviram de base para Joule tentar generalizar os seus resultados experimentais. Além disso, para outros cientistas (William Thomson, Helmholtz), por meio da circulação intra e intercoletiva de ideias e práticas, utilizarem dos trabalhos de Joule pra auxiliar as suas ideias na formulação do Princípio da Conservação da Energia. Esta recorrência aos trabalhos de Joule e suas consequências para o futuro demonstra que os EPs do passado podem contribuir com as pesquisas presentes e futuras:

[...] Provavelmente, poucos conceitos novos se formam sem qualquer relação com estilos de pensamento anteriores. Apenas seus matizes mudam na maioria dos casos, assim como o conceito científico de força é um derivado do conceito cotidiano de força ou o conceito novo de sífilis procede do místico (FLECK, 2010, p. 150).

3.3.6 A interação de Joule e William Thomson: a busca de acordos com a teoria de Carnot

A reunião da Associação Britânica realizada em Oxford, em 1847, foi o evento que propiciou uma maior aceitação dos trabalhos de Joule. Foi nesta reunião que William Thomson ouviu, pela primeira vez, o trabalho de Joule. Ao contrário da reunião

de 1845, Joule descreveu melhor sua experiência de agitação da água através das pás. Thomson, em 1882, relata que na época da reunião da associação britânica em 1847, apesar de concordar com o trabalho de Carnot, percebeu um fundo de verdade no trabalho de Joule. Relata também a dificuldade dos chefes científicos, como Faraday em aceitar o trabalho de Joule; outro exemplo citado por Thomson foi o de Miller e Graham, que eram muito incrédulos quanto aos resultados já que dependiam de frações de um grau de temperatura, às vezes, frações muito pequenas (STEFFENS, 1979, p. 101-102).

Thomson teve várias vantagens pessoais, uma vez que sua posição acadêmica deu-lhe bons contatos no círculo universitário escocês, que se tornou um importante centro de ciência e sua bem sucedida carreira na Universidade de Cambridge garantiu conhecimento e respeito de suas ideias, pois tinha muitos amigos influentes na França (CARDWELL, 1989, p. 103).

A relação estabelecida entre Joule e Thomson é um bom exemplo da comunicação dos círculos esotéricos e exotéricos. No caso, William Thomson faria parte de um círculo esotérico, porque teve uma formação acadêmica e era bem aceito e respeitado na elite da ciência inglesa. Enquanto Joule, apesar da mudança ocorrida de um EP tecnicista para um EP que convergia para o científico, pode ser classificado como parte do círculo exotérico, pois não tinha uma formação acadêmica e vinha de um Estado (Manchester) fora da elite da ciência inglesa.

Após a reunião da Associação Britânica em 1847, Thomson e Joule se tornaram amigos. Inicialmente, depois do pronunciamento de Joule na reunião, Thomson ficou confuso pelo conflito aparente entre a teoria de calor de Carnot e os resultados experimentais de Joule. Nas questões do calor, Thomson tinha conhecimento da teoria analítica do calor de Fourier. O seu primeiro trabalho publicado intitulado “As Expansões de Fourier em Séries de Funções Trigonométricas” proporcionou um maior entendimento da Matemática de Fourier em sua teoria do calor.

Como estudante, em Cambridge em 1841, Thomson estudou a teoria de Fourier e completou seus estudos com a teoria do calor de Poisson e seu interesse pelo calor cresceu rapidamente, em 1842 e 1843, com trabalhos teóricos, como por exemplo: “Sobre o Movimento Linear do Calor”. Em 1844, ele publicou: “Notas sobre Alguns

Pontos da Teoria do Calor”, que continham as derivações de equações para representar a distribuição do calor nas hastes e vários corpos esféricos.

Em 1845, Thomson foi a Paris, ao encontro de matemáticos franceses, onde foi apresentado a Arago, Biot, Cauchy, Dumas, Liouville e Regnaut. Nesta época, seus interesses tinham expandido para o estudo da eletricidade e magnetismo, assim como o calor estudado nas aplicações da teoria de Green, ainda pouco conhecidos. Thomson continuou seus estudos sobre Matemática e teoria do calor, na época de seu encontro com Joule, na Associação Britânica em 1847, e estava bem compenetrado nos estudos científicos de Fourier, Clapeyron e Poisson. Isto dificultou a aceitação imediata dos resultados experimentais de Joule, que deu cópias de seus trabalhos anteriores para Thomson, que parece não os ter lido com profundidade, devido ao seu recente trabalho de 1846, como professor de Filosofia natural, da Universidade de Glasgow (STEFFENS, 1979).

Thomson estava, fortemente, comprometido com a teoria de calor de Carnot, que o levou a planejar e calcular uma escala absoluta, com base em sua teoria e assim rejeitou a proposta de escala termométrica de Joule, baseada na expansão de gases. Ele optou por rejeitar este método, porque na realidade não produzia uma escala absoluta, apenas um sistema definitivo de aplicabilidade prática da medição (STEFFENS, 1979, p. 105-106).

O que levou Thomson a dar uma melhor atenção aos trabalhos de Joule foi a falta de respostas consistentes no trabalho de Carnot sobre as questões: O que acontece no caso simples da condução de calor através do sólido? Se tal condução ocorreu, o motor pode ser não perfeito, mas e quanto ao efeito mecânico que parecia estar perdido quando a condução aconteceu? Também era preocupação de Thomson em confirmar a teoria de Carnot, demonstrando que elas estavam de acordo com os atuais dados experimentais. Ao fazer as deduções da teoria de Carnot, Thomson foi capaz de mostrar a verificação experimental para estas deduções já previstas por Dulong e Petit e pelos experimentos de Joule, sobre o calor desenvolvido pela compressão do ar (STEFFENS, 1979, p. 111).

Entretanto, essas verificações experimentais pouco restauraram a confiança de Thomson na teoria de Carnot. Somente com a conclusão de alguns experimentos pelo

seu irmão James Thomson, é que ele voltou a ter confiança no trabalho de Carnot. Seu irmão publicou um artigo intitulado “Considerações Teóricas sobre o efeito da Pressão em diminuir o ponto de congelamento da Água”, nele, James fez um experimento mental que contrapôs as dúvidas de William, sobre a possibilidade de movimento perpétuo e sobre o surgimento de trabalho mecânico do nada. William Thomson ficou muito impressionado com a experiência mental de seu irmão e argumentos com base no ciclo de Carnot, por isso, imediatamente realizou um experimento simples, cujos argumentos com base no ciclo de Carnot encontraram resultados muito próximos do valor previsto.

Thomson, ao ficar sabendo, em 1849, do novo trabalho de Joule sobre o equivalente mecânico do calor, suas dúvidas relativas à teoria de Carnot foram, temporariamente, ofuscadas pelo sucesso da previsão teórica. Entretanto, esta contradição foi trazida à sua atenção novamente em um artigo escrito por um jovem engenheiro civil, William Rankine (STEFFENS, 1979, p.112).

W. J. M. Rankine (1820-72) foi educado em casa com tutores e cursou a universidade de Edimburgo, onde participou das aulas de J. D. Forbes; o primeiro emprego de Rankine foi como engenheiro de uma estrada de ferro. Em quatro de fevereiro de 1850, ele leu um artigo na Sociedade Real de Edimburgo “A ação mecânica do calor, especialmente em gases e vapores”. Este artigo atingiu o ponto mais alto da teoria dinâmica do calor, que Rankine tinha formulado em 1842, mas tinha deixado de lado, por querer dados experimentais mais confiáveis. Para Rankine, o método de menor objeção para a determinação do equivalente era que nenhuma máquina fosse envolvida e concluiu que o equivalente mecânico de calor deveria ser por volta de 695,6 pés libras/unidade térmica ou mais 10% menor do que os números de Joule (CARDWELL, 1989, p. 111).

O artigo de Rankine, sobre “a Ação Mecânica do Calor, especialmente em Gases e Vapores”, baseou-se fortemente na realização de experimentos de Joule, do Equivalente Mecânico em sua Teoria Dinâmica do Calor. O artigo foi o resultado de um estudo cuidadoso de Rankine sobre os trabalhos de Joule, combinado com algumas de suas próprias ideias sobre a teoria do calor e um tratamento matemático detalhado de

todo o assunto. Como Joule, Rankine procurou desenvolver uma teoria do calor, que incluía uma gama tão ampla de fenômenos possíveis.

Rankine foi realmente a primeira pessoa a dar elogio público ao trabalho de Joule, mesmo que os experimentos dele não fossem considerados conclusivos por Rankine, pois possuíam falhas. Ele não confiou cegamente nos trabalhos de Joule, pois considerava mais confiáveis os dados recentes de Regnault para uso no cálculo, do que as determinações diretas de Joule (CARDWELL, 1989, p. 111).

Joule ficou impressionado com o artigo de Rankine. Ele contou a Thomson que não faria mais nada a respeito do equivalente mecânico do calor até que fizesse melhores experimentos sobre a “absorção de calor pela expansão mecânica do ar”. Apesar das críticas aos seus experimentos e das afirmações de Rankine sobre o valor do equivalente ser mais de 10% menor que o seu, o trabalho deste para a teoria dinâmica era, particularmente, bem vindo por Joule (CARDWELL, 1989, p. 112).

A contribuição mais importante feita por Rankine para o estudo da ação mecânica do calor foi o tratamento matemático que chamou de “Conservação da Vis Viva” como aplicado ao calor dos gases. Ele relacionou este princípio de conservação com o Ciclo de Carnot de um motor de operações a vapor, aplicando as ideias deste sobre o ciclo de operação, combinado com sua noção de vis-viva para vários tipos de gases, a fim de determinar os valores para as funções de suas diferentes equações, para os casos de gases ideais e reais. Com base em hipóteses diferentes, William Thomson e Rudolf Clausius fizeram tratamentos matemáticos semelhantes (STEFFENS, 1979, p. 115-116).

Ao mesmo tempo em que Rankine reconheceu o valor do trabalho de Carnot encontrou também várias falhas, sendo seu ponto de maior conflito a rejeição do conceito de calórico. Rankine rejeitou a ideia de calor como uma substância, em defesa da teoria de calor como movimento. Assim, o artigo de Rankine representou o acúmulo de conceitos de calor, tanto de Joule como de Carnot, o primeiro referente à convertibilidade da força mecânica em calor, o segundo pelo conceito do ciclo de operações. O trabalho de Rankine foi o primeiro passo para a reconciliação entre o trabalho experimental de Joule e a teoria matemática de Carnot.

O artigo de Rankine provocou interesse em Thomson, porque sublinhou todos os pontos fracos da teoria de Carnot, os quais ele próprio já havia reconhecido anteriormente. Thomson deu especial atenção aos pressupostos ao tratamento matemático feito por Rankine, as críticas do trabalho de Carnot e a aceitação de Rankine do equivalente mecânico do calor. O artigo de Rankine convenceu Thomson sobre a validade dos trabalhos experimentais de Joule e da verdade sobre a convertibilidade do calor e do efeito mecânico. Rankine conseguiu mostrar que a teoria de Carnot não precisava conter o princípio do calórico para ser utilizada em sua análise, demonstrando que eram eficazes os resultados obtidos da combinação do Ciclo de Carnot com o conceito de convertibilidade da força mecânica em calor. O trabalho de Rankine eliminou um dos princípios que tinha incomodado Thomson anteriormente, a constância de calorias (STEFFENS, 1979, p. 118-119).

Outro ponto que interessou Thomson foi a explicação de Rankine sobre as propriedades do vapor sob alta pressão. Isto mostrou o valor experimental do trabalho de Joule a Thomson, o que fez com que ele escrevesse uma carta para Joule em 15 de outubro de 1850. A carta chama a atenção de Joule para o novo artigo e cita parte importante do trabalho de Rankine:

Se o vapor quando saturado é permitido a se expandir e ao mesmo tempo em que é mantido na temperatura de saturação, o calor que desaparece na produção da expansão é maior do que o libertado pela queda da temperatura e a deficiência de calor deve ser fornecida a partir de fora. Caso contrário, uma parte do vapor vai ser liquefeito a fim de fornecer o calor necessário para a expansão do resto. Esta conclusão pode, penso eu, ser conciliada com os fatos conhecidos apenas por meio de sua descoberta que o calor é desenvolvido pela fricção de fluidos em movimento. Pois, é bem sabido que a mão pode manter impunidade em uma corrente de vapor de emissão da válvula de segurança de uma caldeira de alta pressão,... segundo a proposição do Sr. Rankine o vapor que foi permitido se expandir a partir da saturação será, se nenhum calor for fornecido a ele, mantido saturado, exceto uma pequena parcela que se torna líquido. Quer então a conclusão do Sr. Rankine é oposta aos fatos, ou um pouco de calor deve ser adquirido pelo vapor, conforme originam da caldeira... Não há nenhuma maneira possível em que o calor possa ser adquirido, exceto pelo atrito do vapor, uma vez que corre através do orifício. Por isso eu acho que estou justificado em dizer que a sua descoberta por si só pode conciliar com a descoberta do Sr. Rankine a fatos conhecidos (THOMSON, 1850, p.171).

Joule ficou muito contente pelo apoio de Thomson a sua obra e pediu permissão para publicar a carta, juntamente, com uma breve nota de sua autoria, enviando-a

imediatamente a *Philosophical Magazine*. A publicação desta carta marcou o ponto de mudança no reconhecimento de Joule pelo mundo científico. O apoio de Thomson e Rankine somado à comunicação de Michael Faraday para a Royal Society contribuiu significativamente para o reconhecimento de Joule, no meio científico. O trabalho sobre o equivalente mecânico do calor impressionou o mundo científico pelo peso dos dados apresentados por Joule em seu artigo de 1850 e mesmo Rankine, cético quanto à exatidão das experiências anteriores de Joule, rapidamente escreveu para dizer que o valor de Joule, para o equivalente deveria estar preciso pelo seu grau muito elevado e não poderia mais ser posto em dúvida. Como prova deste novo reconhecimento, Joule foi eleito *Fellow* da Royal Society em 1850 (STEFFENS, 1979, p. 119).

Temos aqui um exemplo de como a comunicação estabelecida entre os círculos esotéricos, representados na figura de Thomson com os membros do círculo exotérico, representados aqui por Rankine e Faraday, pode reconhecer o trabalho de um membro do grupo exotérico. Isto é bem condizente com Fleck (1986, p.172):

[...] É de especial importância para a teoria do conhecimento que a posição coercitiva seja mais exotérica do que considerá-la meramente como provisória. O que indica a supremacia da massa sobre a elite no coletivo de pensamento democrático.

No caso do reconhecimento do trabalho de Joule, Thomson buscou no círculo exotérico, ou seja, no coletivo das massas, ideias e práticas que deram-lhe uma maior credibilidade no trabalho de Joule. Além disso, comprova como a influência de um membro de um círculo esotérico, pode ser decisiva no estabelecimento de um saber exotérico. Para Fleck (2011, p.166) “a partir do saber especializado esotérico surge o saber popular (exotérico)”; no caso de Joule, o saber exotérico é mais elaborado, pois ele faria parte de um grupo exotérico de leigos formados.

De acordo com Cardwell (1989, p. 142), o reconhecimento público de Joule pelos homens da ciência britânica, veio em Novembro de 1852; foi agraciado com a Medalha Real da Royal Society, pelo seu trabalho sobre o equivalente mecânico do calor e foram feitas reparações, pela negligência anterior da sociedade, em reconhecer o seu trabalho.

William Thomson, além de reconhecer o trabalho de Joule, principalmente, na aceitação da convertibilidade do poder mecânico em calor, desistiu do princípio fundamental de Carnot. Desta forma, ele exigiu de si mesmo, uma reformulação completa da teoria do calor e durante esta reavaliação, leu um artigo de Rudolf Clausius sobre o assunto.

No artigo, Clausius adotou o trabalho de Joule e rejeitou o axioma da regularidade calórica que acompanhava a teoria de Carnot. Não aceitava o conceito de calor como uma substância e buscou apoio no trabalho de Joule para a aceitação do conceito de calor como movimento e fez o mesmo uso da vis viva, que Joule fez em seus artigos publicados, sobre o equivalente mecânico, utilizando o movimento das pás para agitar a água. A ideia de trabalho mecânico e a vis viva, em escala visível, foi muito bem compreendida, em 1850. Mas a ligação da vis viva do movimento em uma escala menor, não foi bem estudada e Clausius supôs que os princípios da mecânica geral, em nível macrocosmo poderiam ser assumidos e aplicados ao microcosmo, em nível molecular (STEFFENS, 1979, p. 119-120).

Ao contrário de Thomson, Clausius não foi pessimista a uma possível mudança na teoria de Carnot. Ele estava convencido de que era necessária, para tornar a teoria de Carnot completa, uma mudança no pressuposto básico da constância da quantidade de calor (STEFFENS, 1979, p. 122).

Antes de Rankine, Clausius reconheceu o caminho para reconciliar os trabalhos de Joule sobre a equivalência com a Matemática da teoria de Carnot. Sua percepção de que a reconciliação poderia certamente ser efetuada, foi um grande marco na história da ciência. Seu parágrafo sobre o tema vale a pena ser citado na íntegra:

Creio que não devemos ser intimidados por estas dificuldades (de reconciliação de Joule e Carnot). Mas devemos familiarizar-nos tanto quanto possível com as consequências da ideia de que o calor é movimento, pois é só dessa forma que poderemos obter recursos suficientes para confirmar ou refutar a ideia. Então, também não acho que as dificuldades são tão graves como Thomson acha, mesmo porque devemos fazer algumas mudanças na forma usual de apresentação, mas não posso achar contradição com os fatos provados. Não é de todo necessário descartar a Teoria de Carnot inteiramente, um passo que seria certamente difícil de tomar, para todos nós, já que até certa medida foi visivelmente verificada pela experiência. Um exame cuidadoso mostra que o novo método não está em contradição com o princípio essencial de Carnot, mas apenas a declaração subsidiária que nenhum calor é perdido, uma vez que na

produção do trabalho pode muito bem ser o caso que, ao mesmo tempo, certa quantidade de calor é consumida, e outra quantidade transferida a partir de um corpo mais quente para um corpo mais frio; e ambas as quantidades de calor estão em uma relação definida com o do trabalho que é realizado. Isso vai parecer mais claramente na sequência e vai demonstrar que as consequências provenientes dos dois pressupostos não são apenas compatíveis uma com a outra, mas confirmatórias mutuamente (CLAUSIUS, 1850 apud STEFFENS, 1979, p. 122).

Na realização da reconciliação, Clausius estudou algumas propriedades de gases e vapores, entre elas os gases perfeitos. Para análise dos gases perfeitos, contou com as pesquisas de Regnault. Clausius deduziu o zero absoluto de temperatura e uma expressão definitiva para a chamada função de Carnot, que relatou o trabalho realizado com os valores das temperaturas inicial e final da situação.

Assim, baseado nos trabalhos de Rankine e Clausius e aliado ao seu bom conhecimento de Matemática, Thomson pode reavaliar sua teoria de Calor. Durante esta reavaliação, nos anos de 1850 e no início de 1851, completou a pesquisa de Joule sobre o equivalente mecânico de calor. A reavaliação de sua pesquisa resultou no famoso estudo apresentado à sociedade Real de Edimburgo, em março de 1851, “A Teoria Dinâmica do Calor” (STEFFENS, 1979, p. 123-124).

Este artigo de Thomson representou a reformulação de um conjunto de dados experimentais e conceitos teóricos disponíveis em 1850. Um aspecto importante do trabalho de Thomson é que ele recusou limitar suas considerações do calor por algumas suposições, que dependessem das propriedades que iriam limitar a generalização da discussão. O trabalho de Rankine completava o tratamento matemático de calor, em termos da teoria da equivalência e foi baseado na ideia de vórtices moleculares. O desenvolvimento da teoria dos Vórtices foi para dar conta da dificuldade do aparecimento e desaparecimento da vis viva e sua relação com o calor. Thomson considerou o trabalho de Rankine como incompleto, que não ligava para a criação de uma teoria de vórtices moleculares para explicar o problema (STEFFENS, 1979, p. 124).

Quanto ao trabalho de Clausius, Thomson considerou como insatisfatório por duas razões: a primeira era que ele evitou o problema fundamental das relações físicas entre vis viva e calor. Em segundo lugar, Thomson não ligava para a formulação de

Clausius sobre “a escala absoluta de temperatura”, com base nas propriedades dos chamados gases perfeitos. Thomson acreditava que a maioria da discussão geral e, portanto, mais satisfatória da teoria do calor, não devesse ser baseada nas propriedades de um único gás.

Como vimos até o momento, Thomson, no processo de reavaliação da sua teoria do calor, estudou e ponderou os trabalhos de Joule, Rankine, Clausius e outros, selecionando o que considerava útil e fazendo seu próprio tratamento sobre o assunto, mas enfim a Matemática de Thomson pouco diferiu dos trabalhos de Rankine e Clausius (STEFFENS, 1979, p.124-126).

Segundo Steffens (1979, p. 125), a teoria de calor de Thomson teve três pontos principais: primeiro, Thomson pretendia demonstrar as modificações que achava necessárias nas obras de Carnot, querendo apresentar uma teoria corrigida, totalmente compatível com a teoria dinâmica do calor e as experiências de Joule; segundo, além de apresentar a teoria de Carnot corrigida, Thomson queria provar sua precisão e utilidade, principalmente, o mérito da prova da ligação do método de Carnot com a teoria dinâmica do calor. A ideia era consolidar a união entre os dados experimentais das experiências de Joule e Regnault com o método de análise matemática do poder de movimento do calor de Carnot. Em terceiro lugar, Thomson pretendia estabelecer uma relação geral entre as propriedades físicas de todas as substâncias, que poderiam ser obtidas pela revisão e utilização da teoria dinâmica de calor, que deveria por sua vez, dizer respeito à integridade física das propriedades dos corpos; Thomson acreditava que estas propriedades físicas seriam propriedades muito gerais, presentes em todos os corpos.

O grande mérito do trabalho de Thomson residiu na sua concisa apresentação dos conceitos teóricos fundamentais e seu desenvolvimento da apresentação mais geral da Matemática quanto possível, derivada a partir destes conceitos teóricos fundamentais e uma Matemática mais generalizada possível, no que diz respeito a uma teoria do calor.

Esse processo de reconciliação, feito por William Thomson, da teoria de Carnot com uma teoria dinâmica de calor, representada nos trabalhos de Joule, visto por meio da epistemologia de Fleck (1986, p. 141), consiste no trabalho do investigador (no caso

de Thomson) em distinguir em meio a confusão geral, o que obedece a sua vontade, satisfazendo as conexões passivas (teoria dinâmica do calor) de acordo com os domínios permitidos pelo CP. De uma maneira geral, para Fleck o propósito do trabalho cognitivo é buscar maior coerção de pensamento, com uma menor arbitrariedade de pensamento e foi o que Thomson fez ao ponderar os trabalhos de Rankine, Clausius e Joule no processo de reconciliação.

A busca de Thomson por respostas mais consistentes no trabalho de Carnot, sobre a conversão da força mecânica em calor, fez com que interagisse por meio da circulação intercoletiva de ideias e práticas. Neste caso os membros do coletivo (Rankine, Clausius e Joule) têm o mesmo nível mental, e desta forma, de acordo com Fleck (1986, p. 153), há certo sentimento de solidariedade intelectual dos indivíduos entre si e uma atitude comum a serviço de uma ideia. Os pontos comuns entre eles foram: a não aceitação da teoria de calor como substância, o convencimento da convertibilidade da força mecânica em calor desenvolvido por meio do processo de experimentação de Joule e o uso do conceito de vis viva em seus trabalhos. A aceitação e as discordâncias de teorias foram guiadas de acordo com o EP e a solidariedade, na busca de Thomson, é concretizada pelas contribuições dos trabalhos de Rankine e Clausius, para a reconciliação da teoria de Carnot com a teoria dinâmica de Joule e no auxílio a Thomson que lhe possibilitou a reformulação da sua teoria de calor.

Thomson queria demonstrar como seu trabalho recente sobre a teoria dinâmica do calor poderia ajudar a reconsiderar e ampliar o trabalho de Joule, sobre a rarefação e condensação do ar. Neste processo, a comparação com trabalhos de outros cientistas como Mayer e Clausius serviu de grande auxílio. O novo entendimento de Thomson sobre a função de Carnot forneceu a chave para uma explicação adequada aos fenômenos. Em sua reflexão sobre a compressibilidade dos gases, Thomson prossegue da seguinte maneira:

Daí, podemos concluir que o calor desenvolvido por qualquer fluido que preencha as leis de gases é proporcional ao trabalho desprendido em comprimido dada qualquer temperatura constante, mas a quantidade de trabalho necessária para produzir uma unidade de calor não é constante para todas as temperaturas, a não ser que a função de Carnot para diferentes temperaturas

varie inversamente com dado: $1 + Et$ [E é a expressão de Thomson para a elasticidade, t a temperatura] e não o simples equivalente mecânico de calor, como foi assumido sem garantias por Mayer, a menos que esta função tenha precisamente a expressão $M = (J \cdot E) / (1 + Et)$ [Onde M é a função de Carnot, J é o equivalente mecânico do calor.]

Esta fórmula me foi sugerida pelo Sr. Joule, em uma carta datada de 9 de Dezembro de 1848, provavelmente como uma expressão verdadeira, sendo necessário conciliar a expressão derivada da teoria de Carnot (que eu havia comunicado a ele) para o calor que evoluiu em termos de trabalho gasto na compressão de um gás, com a hipótese de que o último deles é exatamente o equivalente mecânico do anterior que ele adotou em consequência de seus próprios experimentos, pelo menos aproximadamente verificados por ele. Isso que será chamado de Hipótese de Mayer, pois foi primeiramente assumido por Mayer, também é assumido por Clausius, sem qualquer razão de experiência e uma expressão para o mesmo, é, portanto, adotada por ele como o fundamento da sua matemática e deduções matemáticas de raciocínio elementar sobre a força motriz do calor. A demonstração da fórmula anterior que se for verdade para uma determinada temperatura para um fluido qualquer cumprindo a lei de gases, isso deve ser verdade para todos os fluidos na mesma temperatura (THOMSON, 1851, p. 212-213).

Em 1848, Joule percebeu a importância da função de Carnot e das suas próprias experiências para a interpretação adequada da função de Carnot, repensada por Thomson. Para Joule, parecia que Thomson procurava apoio experimental para sua recém desenvolvida teoria do calor. Os dois se uniram, em 1852, para realizar várias experiências de apoio a esta teoria. Em uma seção do seu artigo “sobre a Teoria Dinâmica do calor”, Thomson fez uma declaração que mais tarde viria expandir, para completar o conceito de conservação de energia. No seu artigo, ele começa a apontar algumas implicações da função de Carnot e em um trabalho posterior, intitulado: “Sobre a Tendência Universal da Natureza para a Dissipação da energia mecânica”, estas implicações começam a ficar mais claras.

3.3.7 Joule e o princípio da conservação da energia

A publicação desse artigo de Thomson surgiu em um momento do século XIX, em que o conceito de energia ganhou significado. O estudo de Thomson da reconciliação dos experimentos de Joule, do equivalente mecânico do calor, com a teoria de Calor de Carnot serviu para direcionar sua atenção para a energia, que estava de acordo com as ocorrências observadas no mundo físico. A ideia era fazer uma formulação do conceito de energia, aproximando a teoria com a observação, já que

havia realizado uma concepção incompleta de energia. Ambos, Joule e Helmholtz desempenharam um papel importante nas inovações de Thomson, cujas principais características de pano de fundo foram o aumento dos interesses na inter-relação entre os vários ramos da ciência e dos interesses nas correlações entre as várias forças da natureza.

No século XIX, principalmente, na década de 1830, muitos ramos da Física foram interligados: o calor radiante e a luz; a interconexão entre eletricidade e magnetismo demonstrado por Faraday; a eletroquímica indicou a relação entre eletricidade e química. Alguns, como Mary Somerville, W. R. Grove e Michael Faraday foram responsáveis pelo aprofundamento das correlações de forças da natureza e de suas inter-relações que, foi acima de tudo, uma crença sobre a organização geral da natureza, mas que tiveram pouco tratamento matemático. A crença na convertibilidade das várias forças, que possibilitou a interconexão das várias áreas da Física, pode ser analisada a partir de Fleck (1986) como um EP, que direcionou as pesquisas de vários cientistas, sobretudo as pesquisas de Joule. Esta idéia de EP como direcionador da observação é para Fleck (2010, p.136):

O que dissemos sobre o experimento vale muito mais para a observação, uma vez que o experimento é uma observação já direcionada. Penso em algumas observações na área da variabilidade das bactérias, que publiquei recentemente e que, pelo menos pra mim eram novidade.

Ainda, o EP de convertibilidade é um exemplo da confluência de EPs de diferentes coletivos de pensamento como de técnicos, físicos, químicos e engenheiros (Faraday, Mary Somerville, W. R. Grove). Os experimentos realizados por Joule, na década de 1840, sugerem, fortemente, esta correlação, mas houve algumas determinações quantitativas para fortalecer as apresentações. Enfim, pode-se dizer que o trabalho experimental de James Joule é o principal representante nas pesquisas sobre a convertibilidade das forças da natureza e que teve especial contribuição para o desenvolvimento do conceito de energia (STEFFENS, 1979, p. 132).

A crença de Joule no princípio de convertibilidade das forças fez com que buscasse o aperfeiçoamento do seu processo experimental, contribuindo para o estabelecimento do conceito de energia. Em uma leitura mais ampla, esta seria a

percepção do princípio da conservação da energia. Desta forma, o trabalho experimental de Joule, na década de 1840, pode ser visto sob a ótica de Fleck (2010, p. 142) como, a percepção de uma forma, de um sentido que se dá, somente, após uma formação prévia e muita vivência em determinada área do conhecimento.

Apesar das pesquisas de Joule ter dado uma contribuição de suma importância para o entendimento da convertibilidade das forças, a maioria delas era muito específica; apenas em um trabalho, de 1847, intitulado: “Sobre Força viva e Calor”, é que Joule descreve de forma mais ampla e coerente o princípio geral de conservação. Neste trabalho, ele introduziu modificações importantes na ideia geral de correlação de forças, fazendo considerações da vis viva e da atração por meio do espaço. Joule apresentou também uma visão de como o mundo físico é operado, pois tinha a crença de que as operações básicas da natureza eram indestrutíveis, porque foi uma criação inicial de Deus. Assim, as forças da natureza nunca poderiam ser destruídas, simplesmente mudariam de forma, resultando em conversões de “força viva”, calor ou atração pelo espaço, Joule escreveu:

Você vai perceber que uma vez a força viva do que temos vindo a falar é uma das qualidades mais importantes com que a matéria pode ser dotada, e como tal, que seria absurdo supor que ela pode ser destruída, ou mesmo diminuída, sem produzir o equivalente a atrações com uma determinada distância da qual temos falado. Você vai ser surpreendido ao saber que até muito recentemente, a opinião universal foi que a força viva pode ser absolutamente e irrevogavelmente destruída por opção de cada um. Assim, quando o peso cai no chão, tem sido geralmente suposto que a sua força viva é absolutamente aniquilada e que o trabalho pode ser gasto em elevá-la a partir do qual ele caiu foi totalmente jogado fora e desperdiçado sem a produção de qualquer efeito permanente. Poderíamos em razão, a priori, que tal destruição absoluta como da força viva não pode possivelmente ter lugar, porque é manifestamente absurdo supor que os poderes com que Deus dotou a matéria pode ser destruído mais do que eles podem ser criados pela agência do homem. Temos razões para acreditar que as manifestações de força viva do nosso mundo estão, neste momento, tão amplas como as que existiram, em qualquer momento desde sua criação, ou, pelo menos, desde o dilúvio, que os ventos sopram fortemente e o fluxo de torrentes com impetuosidade igual agora, como no período remoto de 4000 ou mesmo 6000 anos atrás e ainda estamos certos de que, através do vasto intervalo de tempo, os movimentos do ar e da água foram incessantemente obstruídos e impedidos pelo atrito. Podemos concluir, então, com certeza, que estes movimentos do ar e da água constituindo força viva, não são aniquilados pelo atrito. Nós na verdade perdemos de vista deles, por um tempo, mas vamos encontrá-los novamente reproduzido. (Joule, 1847, p. 268-269).

Joule tinha a crença na conservação dos fenômenos da natureza, já que eram uma criação divina. Baseado nesta crença, aplicou a ideia de conservação para o sistema planetário, nas ocorrências naturais da terra e no funcionamento dos organismos vivos. Esta concepção corroborou em seu conceito de equivalência, como por exemplo: a equivalência exata da força viva; o calor como forma de movimento; a atração pelo espaço que deu sustentação à afirmação de que todas as coisas funcionam no presente, como fizeram no início, ou pelo menos, desde o Dilúvio.

Você vê, portanto, que a força viva pode ser convertida em calor, e que o calor pode ser convertido numa força viva, ou a sua atração equivalente pelo espaço. Todos os três, portanto, a saber, o calor, força viva e atração pelo espaço (para a qual eu também poderia adicionar a luz, se fosse coerente com o âmbito da conferência presente) são mutuamente conversíveis uma na outra. Nestas conversões nunca nada está perdido. A mesma quantidade de calor irá sempre ser convertida para a mesma quantidade de força viva. Podemos, portanto, expressar a equivalência na língua definitiva aplicável em todos os momentos e em todas as circunstâncias (JOULE, 1847, p. 271-272).

Essa generalidade da conservação das coisas divinas deu base para Joule estabelecer uma equivalência geral, distinguindo claramente força de movimento ou vis viva, calor e força inerente à situação física, ou “atração pelo espaço”:

De fato, os fenômenos da natureza, quer mecânicos, químicos ou vital, composto quase que inteiramente em uma contínua conversão de atração pelo espaço, força viva e calor uma na outra. Assim é que a ordem é mantida no universo nada é desordenado, nada perdido, mas toda a maquinaria complicada como ela é, funciona de forma suave e harmoniosa. E embora, como na visão terrível de Ezequiel, "roda pode ser no meio da roda e tudo pode parecer complicado e envolvido na aparente confusão e complexidade de uma variedade quase infinita de causas, efeitos, conversões e arranjos, ainda é a mais perfeita regularidade preservada a todo o ser governado pela vontade soberana de Deus (JOULE, 1847, p. 273).

Até o momento, podemos caracterizar o trabalho de Joule por meio de quatro EPs: primeiro, o *tecnicista*, que foi gerado pelo ambiente tecnicista de Manchester; o segundo o de *eficiência experimental*, herdado dos membros dos coletivos do qual Joule participou (Dalton, Faraday entre outros); terceiro o *de convertibilidade*, devido à crença na conversão das várias forças da natureza; o quarto o *científico*, que foi originado pelos problemas e complicações encontrados no seu trabalho técnico e pela

interação com vários pesquisadores. Na medida em que o trabalho de Joule evoluiu, todos estes estilos guardam resquícios um do outro.

Agora, como declarado no seu trabalho de 1847, talvez poderíamos definir um quinto EP - o *religioso*. Para Cardwell (1989), não existem evidências de uma motivação religiosa para as pesquisas de Joule, no entanto, podemos perceber que, no trabalho de 1847, esta motivação é bastante explícita na elaboração dos seus pressupostos, que determinaram o rumo de suas investigações. Também no seu trabalho de 1843, "*On the Calorific Effects of Magneto-Electricity, and on the Mechanical Value of Heat*", Joule declara crença em um Deus, criador da natureza, que impediria que todos os agentes da natureza como o calor, eletricidade fossem destrutíveis.

Para Cardwell (1989), esta recorrência de Joule a um criador (Deus) em seus trabalhos e correspondências não são mais que expressões convencionais, força de expressão para o princípio da uniformidade da natureza. Entretanto, se recorrermos a uma definição de *EP* de Fleck (1986) como forma de linguagem, a forma de Joule expressar suas motivações por meio da existência de um criador (Deus) e até mesmo parafraseando a bíblia, sinaliza investigarmos melhor em outra comunicação a caracterização de *EP religioso* no trabalho de Joule. O caminho a percorrer em outra investigação é buscarmos o coletivo de religiosos do qual Joule compartilhou idéias e práticas e aprofundarmos melhor a influência das suas concepções religiosas no seu trabalho científico.

Hermann Von Helmholtz, em um artigo lido, em 23 de Julho de 1847, na Sociedade de Física, de Berlim, tinha opiniões semelhantes às de Joule, quanto à concepção de conservação da natureza e seu uso na distinção da *vis viva*. O artigo apresentado por Helmholtz foi mais técnico e matemático do que o artigo de Joule, que diferentemente deste, tinha um método acadêmico e matemático, ao invés de um tecnicismo de um engenheiro; fica implícito que o entendimento de Helmholtz era mais geral e profundo do que o de Joule (CARDWELL, 1989, p. 93). Helmholtz leu alguns trabalhos de Joule sobre o equivalente mecânico e foi uma figura importante para o reconhecimento público do trabalho de Joule, entretanto, as suas opiniões eram um pouco pessimistas.

A crítica principal ao trabalho de Joule foi a falta de precisão experimental, mas ao mesmo tempo, Helmholtz considerava os temas naturalmente difíceis. O próprio Joule tinha consciência da inadequação de suas experiências e isto é claramente perceptível, nas suas várias tentativas de melhorar a precisão e elaborar um aparato experimental, que pudesse fornecer um valor aceitável para o equivalente mecânico do calor e este valor mais preciso foi determinado por Joule, para a Royal Society, em 1849, depois da publicação do artigo de Helmholtz. Apesar das determinações numéricas não serem muito precisas para Helmholtz, as conclusões de Joule eram bastante interessantes e concordou em um aspecto importante: o calor não poderia ser uma substância e sim movimento; e que a vis viva e tensões ou separações no espaço devem ser consideradas nas operações da natureza.

Segundo Steffens (1979, p. 134-136), a rejeição de Helmholtz da teoria substancialista de calor requer uma explicação em termos de vis viva. Desta forma, ele se preocupou com o significado da vis viva, particularmente, interessado na determinação exata das expressões matemáticas para este princípio em suas várias formas. No seu artigo, usou o pressuposto de que é impossível, qualquer combinação dos corpos naturais produzir força continuamente, a partir do nada. Sua primeira expressão do princípio da conservação da vis viva foi dada em termos de mecânica:

A quantidade de trabalho que é produzido e consumido pode como é conhecido, ser expresso por um peso m , que é elevado a uma certa altura h , é então mgh , onde g representa a força da gravidade. Para aumentar perpendicularmente à altura h o corpo requer a velocidade v e atinge o mesmo, caindo da mesma altura. Assim, temos $\frac{1}{2}mv^2 = mgh$ e portanto podemos definir a metade do produto mv^2 que é conhecido em mecânica, sob o nome da vis viva do corpo m no lugar da quantidade de trabalho. Por uma questão de melhor acordo com a forma usual de medir a intensidade de forças proponho chamar o $\frac{1}{2}mv^2$ a quantidade de vis viva, através da qual ela é processada com a quantidade idêntica de trabalho (HELMHOLTZ, 1851 apud STEFFENS, 1979, p.136).

Helmholtz estava interessado em provar que a lei de conservação da *vis viva* era válida para sistemas tridimensionais de pontos materiais; o que envolveu, necessariamente, a análise de forças. Assim, com o seu tratamento matemático expandido, a aplicabilidade do conceito também se expandiu e um exemplo, é um caso

simples em que o potencial gravitacional poder ser equiparado à vis viva do sistema. Em um caso mais geral, as tensões criadas pelas forças atrativas e repulsivas de um sistema de pontos materiais poderiam ser equiparadas à vis viva de todo o sistema. Helmholtz expressou isto da seguinte maneira:

Em todos os casos do movimento de pontos materiais livres sob a influência de suas forças atrativas e repulsivas, cuja intensidade depende solidamente da distância, a perda de tensão é sempre igual ao ganho de vis viva e o ganho na igualdade anterior é igual a perda na posterior. Daí a soma das tensões existentes é sempre constante. Nesta forma mais geral podemos distinguir a nossa lei como o princípio da conservação da força (HELMHOLTZ, 1851 apud STEFFENS, 1979, p.137).

Helmholtz reconheceu que tal lei era aplicável a problemas teóricos, que envolvessem forças centrais e sólidos perfeitamente elásticos, a corpos fluidos, que não experimentaram nenhuma compressão, nem perderam nada por atrito interno. Helmholtz, em três seções do seu artigo, conseguiu fazer uma generalização do princípio da conservação da força, para o equivalente força mecânica e calor; força equivalente de processos elétricos e força equivalente de magnetismo e eletromagnetismo. Nestas três seções, Helmholtz estendeu a lei de conservação da força para incluir todos os fenômenos físicos conhecidos. Desta forma, sempre que a força parecia ter sido perdida ou destruída, ele mostrava que tinha apenas mudado de forma, em uma quantidade equivalente de vis viva ou tensão de algum tipo (STEFFENS, 1979, p. 136-137).

Outro problema que preocupava Helmholtz era o da fisiologia, especialmente a tentativa de banir o vitalismo da fisiologia. Ele argumentou que, se o princípio das “forças vitalistas” fosse verdadeiro, a natureza teria um processo de movimento perpétuo. A declaração de Helmholtz sobre a conservação da força corroborou com os trabalhos de Mayer, Colding e Joule e foi reconhecida na publicação do trabalho, de 1847.

Segundo Steffens (1979, p.138), o trabalho de Helmholtz foi importante para o desenvolvimento do princípio da conservação da energia; não por causa das realizações de seu inquestionável trabalho de 1847, mas porque William Thomson, ao ler o seu artigo, num momento em que estava tentando conciliar suas ideias sobre as

forças, equivalentes mecânicos e as dificuldades reconhecidas com a teoria do calor e com a teoria de Carnot, foi estimulado a reavaliar as suas ideias sobre o aspecto da teoria do calor e da conservação da energia. Thomson começa o seu breve artigo, da seguinte forma:

O objeto da presente comunicação é chamar a atenção para as consequências notáveis que se seguem a partir da proposição de Carnot que existe um absoluto desperdício de energia mecânica disponível ao homem quando é permitido a passagem de calor de um corpo para outro em uma temperatura mais baixa, por quaisquer meios que não cumpram o seu critério de um "motor termodinâmico perfeito" estabelecido em uma nova fundamentação da teoria dinâmica do calor. Como é mais certo que a poder criativo sozinho pode chamar à existência ou aniquilar energia mecânica, o "desperdício" referido não pode ser a aniquilação, mas deve ser alguma transformação de energia (THOMSON, 1852, p. 511).

Na continuação da exposição do seu artigo, Thomson dividiu os tipos de energia mecânica em duas classes: estática e dinâmica. Analisou estas classes, conforme os fenômenos reversíveis nelas contidos ou se resultaram na dissipação da energia mecânica. Quanto à dissipação da energia mecânica, ele considerou, especificamente, as formas mais comuns como o atrito, a dissipação de calor pela resistência oferecida por um condutor para a passagem de eletricidade. Além disso, incluiu toda a gama de fenômenos de calor radiante. Estas considerações de dissipação de energia eram extensões interessantes da nova teoria de Carnot, mas o grande impacto do artigo de Thomson foram suas conclusões gerais. Segundo Steffens (1979, p.139-140), estas conclusões possuíam consequências arrebatadoras para quase todas as fases da ciência contemporânea, tanto as biológicas, quanto as físicas. Thomson escreveu:

1. Há atualmente no mundo material, uma tendência universal à dissipação da energia mecânica.
2. Qualquer restauração da energia mecânica, sem mais do que um equivalente de dissipação é impossível nos processos de material inanimado, e é, provavelmente, nunca efetuado por meio de matéria organizada, seja dotado de vida vegetal ou sujeita à vontade de uma criatura animada.
3. Dentro de um período limitado de tempo passado, a terra deve ter sido e dentro de um período finito de tempo para vir a terra deve ser novamente, impróprias para a habitação do homem na sua composição atual a menos que as operações tenham sido ou venham a ser realizadas, que são impossíveis sob as leis às quais as operações conhecidas acontecendo atualmente no mundo material estão sujeitas (THOMSON, 1852, p. 514).

Thomson deu uma contribuição essencial para a formulação do conceito de energia; em relação a Joule e Helmholtz que tinham a concepção mais ampla possível dos aspectos de conservação dos processos de transformação da natureza, Thomson compreendia que, mesmo com a conservação total da energia, a transformação de muitos processos, envolvia a dissipação da energia mecânica de tal forma, que não poderia haver uma perfeita restauração da situação inicial.

O artigo de Thomson “Sobre uma Tendência Universal da natureza para a Dissipação da Energia Mecânica” continha uma série de pressupostos que se manteve expresso em termos exatos. Para ele, a sua teoria dinâmica do calor ainda não estava completa, pois não tinha trabalhado as expressões matemáticas, pelas quais os processos de conversões poderiam ocorrer. Ele não tinha reconciliado o conceito de sua escala absoluta de temperatura, que havia formulado com base na teoria de Carnot e calórico com a teoria dinâmica do calor. Também reconheceu que, embora o conceito de dissipação de energia mecânica fosse expresso qualitativamente, não havia uma formulação matemática exata do que parecia ser uma característica da natureza. Segundo Steffens (1979, p. 141-142) o artigo de Thomson de 1852, marcou o ponto de virada na história do desenvolvimento do princípio da conservação de energia. As ideias fundamentais foram articuladas; as formulações exatas da termodinâmica e a teoria dinâmica do calor ainda estavam por esclarecer e refinar ainda mais estas ideias.

As contribuições de Joule para o desenvolvimento do conceito de energia foram concluídas até 1850. Joule teve pouca formação matemática e após 1852, o conceito de energia foi defendido por homens com extensa formação nesta área. Depois de 1852, Joule prosseguia experimentos com estreita colaboração de William Thomson. Seus trabalhos experimentais posteriores, com exceção de uma determinação final do equivalente mecânico do calor, em 1878, foi realizada em colaboração com Thomson. Joule aplicou suas habilidades como um experimentador às questões de interesse teórico levantadas, principalmente, por Thomson.

Segundo Cardwell (1989, p. 191), a Física, no início do século XIX, incluía os ramos de sua própria ciência em si, juntamente com certas tecnologias, que necessitavam de interpretação matemática. O que faltava eram conceitos e teorias, que poderiam unir os diferentes ramos. A doutrina de meados do século sobre a energia foi

tal teoria. Joule pesquisou sobre o calor, eletricidade e magnetismo no âmbito da mecânica e sugeriu que a luz e o som devessem estar sujeitos ao mesmo conjunto de princípios.

Das várias definições de Fleck (1986) de EP, uma delas é a ideia de uma disposição para um perceber dirigido, que dá disponibilidade intelectual orientada para formar novos conhecimentos. Nesta direção, podemos dizer que o princípio de conservação da energia é um EP, pois o mesmo serviu de base para o desenvolvimento de tecnologias e a interligação de várias áreas da Física e das Ciências Naturais em geral.

Após o estabelecimento do princípio de energia global, as pesquisas conjuntas com Thomson formam um exemplo muito bom e completo do exercício e da prática da Física, como pode ser encontrado. Eles representaram um novo ponto de partida da Física, uma colaboração sustentada por um longo período, por um experimentalista e um teórico.

A interação entre Joule e Thomson é condizente com o pensamento de Fleck (1986, p.158) ao declarar que, em uma comunicação intracoletiva entre duas pessoas mentalmente iguais, há sempre certo sentimento de solidariedade, na busca de entender e auxiliar um ao outro na construção do conhecimento, formando um sentimento de dependência que vai proporcionar a adequação e construção de novos EPs.

Essa é a razão pela qual a parceria Joule-Thomson tem sido discutida em alguns detalhes. Um fruto da interação entre estes dois cientistas foi a “descoberta” do efeito Joule-Thomson. Posteriormente, as descobertas anteriores de Faraday, Seebeck e Peltier, bem como as de Hall, Stark, Zeeman, Compton, etc. têm sido também descritas como efeitos.

Além da contribuição para o estabelecimento do princípio de conservação de energia, o trabalho de Joule teve impacto também no desenvolvimento de análises sobre fontes de energia e tecnologia. Um exemplo disto é o livro: “*A Questão do Carvão: Uma investigação sobre o progresso da Nação e do esgotamento de Nossa Provável Mina de carvão*”, de autoria de W. Stanley Jevons, publicado em 1865. O trabalho atingiu o primeiro reconhecimento por prever uma inevitável crise energética.

Neste trabalho, além de Jevons utilizar dados de pesquisas geológicas, que possibilitaram uma estimativa razoável das reservas de carvão, ele mostra conhecimento das experiências de Joule, principalmente das correspondências de Joule para Thomson, nas quais expressa a preocupação sobre o alto consumo de carvão pelos navios a vapor (CARDWELL, 1989).

Outra consequência do estabelecimento do princípio da conservação da energia foi a invenção do dínamo. Esta invenção foi baseada na descoberta de Faraday da indução eletromagnética em 1831. No entanto, um dos primeiros a estudar o princípio do funcionamento do dínamo foi Henry Wilde (1833-1919). Em 26 de abril de 1866, um artigo escrito por Wilde, comunicado por Faraday, foi lido perante a Royal Society. O título foi sem compromisso, mas o assunto foi explícito e direto. No início, é feita uma exposição simples do princípio da conservação da energia, na sequência, alega ter descoberto um "meio de produção de eletricidade dinâmica, em quantidades até então inatingíveis, por qualquer aparelho construído". Wilde postulou que "uma quantidade indefinida e pequena de eletricidade dinâmica ou do magnetismo é capaz de evoluir em um montante, infinitamente, grande de eletricidade dinâmica." Esta foi uma declaração clara e concisa do princípio do dínamo.

A base de sua invenção foi a constatação de que, de acordo com o princípio da conservação da energia, deveria ser possível converter a energia dinâmica em uma forma equivalente de energia elétrica. Apesar de Wilde não mencionar Joule, a conexão com o seu trabalho sobre energia elétrica era óbvia, neste momento, pois ele pesquisou as formas de conversão que a máquina magneto-elétrica poderia converter em força mecânica. Mais tarde, o dínamo foi aperfeiçoado por outros cientistas, como Werner Siemens, Charles Wheatstone.

Segundo Cardwell (1989, p. 218-220), a aceitação geral da conservação de energia, ou mais explicitamente, da transformabilidade de energia, possibilitou a ligação com o magnetismo, fortalecendo a vinculação entre energia mecânica e elétrica. A compreensão teórica dos processos de conversão permitiu aos inventores perceberem as possibilidades que antes não eram possíveis. O caso do dínamo é um exemplo. Muitos textos históricos sugerem que Faraday, por ter descoberto a indução eletromagnética, teria inventado o dínamo. Isto é uma distorção da história e uma

ignorância sobre a importância do princípio da conservação da energia e faz grande injustiça às contribuições essenciais de Sturgeon, Joule, Thomson, Wilde, os irmãos Siemens e outros, como Edison, Swan, Hopkins e Tesla.

Temos aqui um exemplo daquilo que Fleck (1986, p. 156) declara que cada EP tem seus efeitos práticos. No caso, a confluência dos vários EPs oriundos dos vários coletivos dos quais Joule participou contribuiu para a construção do *princípio da conservação da energia*. O surgimento deste princípio teve consequências práticas, como a invenção do dínamo, principalmente pela coerção, o hábito de pensar do CP (Sturgeon, Joule, Thomson, Wilde, Siemens entre outros); o indivíduo e os companheiros conseguem, dentro da harmonia das ilusões, se coagirem em direção ao EP, assegurando a sua permanência.

Apesar de Joule ser um excelente experimentador, suas contribuições teóricas e especulações foram corroboradas com a teoria científica e postulou uma nova ordem no universo. Suas contribuições, sobre a busca de um equivalente exato de calor, deram sustentação a um pensamento geral sobre a convertibilidade. A inexatidão sobre a convertibilidade das forças da natureza e a rejeição do calor como substância, em favor de uma teoria dinâmica, serviu para isolar e enfatizar os problemas da teoria de Carnot. A determinação de Joule do equivalente mecânico do calor foi decisiva; ele desempenhou um papel tanto como um cientista, como um filósofo natural na formulação do conceito de energia (STEFFENS, 1979, p. 142).

De acordo com Cardwell (1989, p. 211-213), desde 1863, Joule tinha se tornado membro da Comissão de Unidades Elétricas da Associação Britânica. Foi em nome desta Comissão que, a partir de 1865, ele trabalhou na determinação elétrica do equivalente mecânico do Calor. A ideia era simples e direta: o calor gerado por uma corrente, que flui através de uma resistência, deve em unidades mecânicas ser igual a ri^2 . Tudo que Joule tinha que fazer era dividir o calor gerado pela corrente elétrica por ri^2 expressa em unidades mecânicas. O resultado deveria ser igual à sua determinação clássica do equivalente mecânico do calor (1849). Isto traz o novo sistema de unidades elétricas em harmonia com a teoria dinâmica do calor e da doutrina da energia.

Joule, tendo calculado a energia equivalente a (ri^2) e medido o calor produzido no calorímetro, dividiu a primeira pela segunda. O resultado ficou dentro de 1/200 do valor,

que conseguiu em 1849, o que foi considerado muito satisfatório. As medidas foram comunicadas na reunião de 1866, da Associação Britânica em Nottingham, mas não foram publicadas. Infelizmente, ele tinha baseado sua medição no valor do campo magnético terrestre (H) determinado por Kew; era um valor determinado na localidade em que Kew vivia e menor do que o de Manchester, isto fez com que o equivalente mecânico fosse 792 pés por libra.

Joule sugeriu para Fleeming Jenkin que a resistência medida por Maxwell e seus colegas talvez fosse maior do que deveria ser devido ao efeito indutivo da corrente alternada. Mas, Jenkin tinha a confirmação de Thomson, que não poderia haver erro a partir desta fonte. Joule, portanto, voltou-se para o seu aparelho, a fim de melhorá-lo, na medida do possível. A água do calorímetro foi agora agitada por um relógio, a guarnição foi melhorada e a força do campo magnético da terra foi medida de forma sistemática, pois tinha sido encontrado que poderia variar de dia para dia, bem como de lugar para lugar. A nova determinação do equivalente mecânico foi de 782 pés libras, mais próximo do valor determinado em 1849, derivada de experiências sobre atrito com o fluido, mas ainda não inteiramente satisfatório.

O relatório publicado no Comitê, no entanto, aceitou o valor de 783 pés libras e Joule citou que o método elétrico “foi realizado com maior precisão do que o método de fricção, como sendo um exato múltiplo decimal da unidade absoluta.” O relatório acrescentou que “O Doutor Joule expressa-se disposto a fazer uma nova determinação por fricção”. Com grande sinceridade, Joule sugeriu a Thomson que alguém deveria realizar as experiências necessárias, para eliminar qualquer viés de sua parte. Mas, acrescentou: “Eu não acho que nada será encontrado mais simples do que o atrito da água”. Isso não era incompatível com sua declaração à Associação Britânica (CARDWELL, 1989).

Joule estava sempre disposto a mudar sua mente, à luz da evidência científica e, às vezes, em função da autoridade científica, mas em uma questão ele era bem relutante em mudar: a Comissão tinha insistido, desde o início, que as unidades absolutas deveriam ser expressas em medidas métricas; Joule não queria isso e, em matéria de unidades, ficou um conservador obstinado. Ele era contrário ao sistema métrico e parece que foi relutante ao usar gráficos, dispondo o resultado de suas

pesquisas em tabelas. Se utilizasse gráficos, conseguiria ter mais eficiência na formulação dos seus conhecimentos (CARDWELL, 1989).

Segundo Cardwell (1989), os últimos trabalhos de Joule nos *Philosophical Transactions* foram recebidos com clamor pelas gerações futuras e tornou-se conteúdo dos cursos de Física básica. Várias gerações de estudantes conheceram Joule, como o homem que mediu o equivalente mecânico do calor com precisão inigualável. Esta importância exagerada dada aos trabalhos de Joule sobre o equivalente mecânico do calor, em especial os trabalhos de 1850 e 1878, distorceu a importância de obra de Joule para o futuro da Física.

Segundo Cardwell (1976), nenhum dos experimentos de Joule poderia ser tomado como conclusivo, não houve experimento crucial. Mas, o efeito cumulativo foi esmagador, pois Joule tinha dado a resposta para todas as especialidades. É concebível que um químico, por exemplo, possa ter chegado a uma declaração do princípio de energia, a título de simples química. Mas, será que, os resultados teriam convencido os engenheiros mecânicos, os físicos, os meteorologistas e os eletricitistas? Parece improvável. Mas, Joule poderia satisfazer todas as disciplinas, embora ele não explorasse os aspectos fisiológicos, como Mayer tinha feito.

O *EP de convertibilidade* de Joule propiciou a perseverança em suas pesquisas experimentais, o aperfeiçoamento dos experimentos, a fim de obter resultados mais precisos e buscar uma generalização maior, nos processos de conversão das forças da natureza. Para Fleck (1986, p.146), um pesquisador experimentalista sabe que um único experimento comprova muito pouco e que seu resultado não tem um caráter impositivo; sempre faz parte do seu trabalho, todo um sistema de experimentos e controles constituídos de acordo com um pressuposto (um estilo) e executados por pessoas treinadas. É justamente essa capacidade de estabelecer pressupostos, no caso aqui o princípio da convertibilidade, é que contribuiu para o treinamento manual e mental que formou o saber experimental e não experimental de James Prescott Joule; saber este claramente concebido e, ao mesmo tempo, pouco claro e “instintivo” de um pesquisador, aquilo que chamamos de experiência.

Esse saber de Joule culminou, juntamente com os trabalhos teóricos de Helmholtz e Thomson, em um saber mais bem formulado e ajustado - o princípio da

conservação da energia - ou seja, possibilitou a percepção da forma (Gestaltsehen). Esta percepção da forma foi impactante, pois permitiu a participação e a corroboração por meio da *circulação intracoletiva e intercoletiva de ideias e práticas* dos vários coletivos representantes das várias áreas da ciência e tecnologia.

O trabalho experimental de Joule contribuiu para o rompimento da teoria substancialista do calor e o estabelecimento de uma teoria dinâmica do calor, servindo de base fundamental para a estruturação do princípio da conservação da energia. Isto está de acordo com Fleck (1986, p. 142), quando afirma que “qualquer descoberta empírica, portanto, pode ser concebida como complemento, desenvolvimento e transformação do EP; considera-se como complemento, porque as pesquisas de Joule foram utilizadas por meio da circulação intercoletiva e intracoletiva de ideias e práticas por outros cientistas e técnicos. No caso específico do estabelecimento da conservação da energia, temos Helmholtz e William Thomson.

No campo político, Joule¹⁹ não gostava de uma política liberal. Segundo Cardwell (1989), isto explica talvez, porque Joule tinha medo de sua propriedade ser expropriada pelo governo, eleito por trabalhadores, recém emancipados. Joule, apesar de ser um homem suave e tímido, foi violento nas denúncias contra o liberalismo de Gladstone e, ao contrário deste, Joule não tinha uma boa oratória e, por isto, escreveu vários manifestos violentos para seus amigos, que mais ou menos, compartilhavam de suas opiniões, como Thomson e Tyndall, que se opunham fortemente a política irlandesa. A percepção política de Joule era fraca, seus comentários sobre a guerra civil americana eram frágeis e era, como muitos de seus compatriotas, desnecessariamente, temeroso sobre os franceses e russos. Suas observações sócio-políticas eram muito vastas e generalizações não embasadas. Segundo Cardwell (1989), Joule representa uma classe de homens, cuja opinião política era de senso comum.

Em 1850, quando a Inglaterra estava temerosa com uma invasão francesa, os governantes começaram a construir fortes e a treinar homens para uma possível guerra. A opinião de Joule quanto a este episódio foi:

¹⁹ Talvez em outra comunicação poderemos explorar melhor a atuação política de Joule.

Eu ainda não me "formei", como um atirador. Com relação às defesas nacionais minha opinião é que o governo deveria há muito ter incentivado a construção de ferrovias ao longo da costa... elas seriam, portanto construídas com relativamente pouco custo público, dando-lhes os meios de lançar grandes corpos de artilharia na praia que quase sempre oferece uma posição de comando, antes que um inimigo pudesse efetuar um desembarque. Além disso, devemos ter canhões muito pesados, digamos, 200 libras, por todo o litoral, em intervalos de no máximo uma milha. No momento da invasão nenhum deles poderia salvar a nação. Tenho às vezes especulado, no entanto, se uma calamidade muito mais fatal do que a invasão, não nos alcançará em breve se nada for feito para verificar a mania de reforma. A eleição dos membros do *House of Commons* (H.C.) está nas mãos da plebe²⁰ e a constituição nas mãos da mesma H. C. Se Bonaparte chegou, ele provavelmente nos deixaria na constituição, Igreja e o Estado e, talvez, reduziria a H. C. para a sua posição legítima (Joule & Thomson, 1859 apud Cardwell, 1989, p. 185).

Um pouco mais tarde, ele expressou a opinião de que:

Em si, eu acredito que uma invasão por Napoleão I “seria uma calamidade terrível. Mas seria pior do que Bright & outros que estão se esforçando para nos trazer nossa constituição americanizada? No entanto, estou extremamente feliz que o atual Governo está continuando com os nossos ajustes defensivos que devo dizer que, pessoalmente, prefiro uma república aqui, a degradação de uma invasão francesa. Manchester é muito atrasada com seu clube de fuzil, mas não há local mais adequado para a prática (Joule & Thomson, 1859 apud Cardwell, 1989, p. 186)

Quando o segundo volume da sua coletânea de artigos (*Scientific Papers*) foi lançada, ficou doente e só se recuperou no final de 1886. Ele participou da reunião da Lit & Phil, pela última vez, em 9 de março de 1886. Suas últimas contribuições para a sociedade foram impressas nos *Proceedings* em 1882-1883. O conteúdo destas pesquisas era sobre o formato dos cascos de navios e Joule defendia um formato de peixe, sobre a construção de um dispositivo simples para diminuir as oscilações de um telescópio.

A última carta de Joule a Thomson explica que estava tão doente que era incapaz de fazer qualquer coisa. Durante os dois últimos anos de sua vida, raramente saía de casa e passava boa parte do tempo lendo. Estando em coma nos seus últimos dias, Joule morreu em 11 de Outubro de 1889, na cidade de Sale. A causa de sua

²⁰ A referência é a lei Lord John Russell reforma fracassada que teria estendido a franquia.

morte foi de arteroesclerose, provocando a degeneração do cérebro. Ao contrário do funeral de Dalton, o de Joule teve a participação apenas dos filhos, seu genro, seu irmão Benjamim e as três filhas de John e alguns outros parentes. A Lit & Phil estava representada pelos oficiais: Osborne Reynolds, Henry Wilde, Arthur Shuster, Edward Schunck e Dixon Mann. O pastor presente era o vigário de Brooklands, o Reverendo H. B. Jones e o vigário de Broughton, o reverendo C. T. Watson (CARDWELL, 1989, p. 264).

Apesar de Joule ter uma visão política de senso comum e ter dificuldade de não ser muito comunicativo, antes de sua morte, o *Manchester Guardian* publicou uma nota de elogio de Hirn. Segundo Hirn, Joule não era apenas um grande sábio, que tinha tido os seus trabalhos magníficos reconhecidos pelo mundo científico, mas sido um homem honesto, justo, fiel e bom. Era um homem que não deixava a fama tomar conta da sua vida e morreu como um servo cristão. O tributo de Williamson da Associação Britânica foi lembrado: Dr Joule... Um homem modesto e discreto, muito contente com o trabalho científico silencioso, sem fazer movimento no mundo por suas palestras ou livros, sendo sua voz raramente ouvida em público.

Depois do funeral, uma delegação da Lit & Phil, juntamente com comerciantes e alguns políticos conduzida por Osborne Reynolds, queria um memorial para homenagear o trabalho de Joule. Decidiram fazer uma estátua em frente à entrada principal da prefeitura de Manchester, de frente com a estátua de Dalton. No memorial nacional, na inscrição lê-se:

Está localizada perto das lapides de Newton, Herschel e Darwin, daqueles que em muitas terras, se reuniram para perpetuar a memória de James Prescott Joule, F.R.S., de Manchester em reconhecimento aos serviços prestados à ciência no estabelecimento da Lei da Conservação da Energia e na determinação do Equivalente Mecânico do Calor.

Além da estátua na prefeitura de Manchester, há um busto de Joule no Sale Park. Uma cratera na lua e um navio francês tiveram seu nome dados como homenagem. Segundo Cardwell (1989, p. 267-268), o memorial mais significativo de homenagem a Joule foi a estação de energia de Deptford que, por coincidência, começou a funcionar no mês da morte de Joule. Esta usina foi projetada no rio Tamisa

e os processos de “perdas” de energia foram calculados, utilizando a lei de trabalho de Joule ri^2 de 1840-1841. Todas as estações de energia seguiram o mesmo projeto, conduzido por Deptford. O projeto elétrico destas usinas exemplifica a lei de aquecimento de Joule e sua brilhante sacada de 1843: “A eletricidade deve ser reconhecida como o grande agente para carregar, dispor e converter o calor químico”.

3.3.8 Algumas considerações sobre os estilos de Pensamento que permearam o trabalho de Joule

Em nossa análise epistemológica, classificamos 4 coletivos de pensamento: o tecnicista, eficiência experimental, o científico e o de convertibilidade. Estes coletivos colaboraram no enfrentamento dos problemas de Joule, que em uma leitura a partir de Fleck podem ser caracterizados como complicações; por meio do compartilhamento de ideias e práticas, ele conduz suas pesquisas na substituição do motor a vapor pelo elétrico, no estudo do efeito Joule, na determinação do equivalente mecânico do calor, que contribuíram para a elaboração do Princípio da Conservação da Energia.

Os membros destes CPs tinham uma formação diversificada como o coletivo de técnicos, que conduziu Joule na substituição do motor elétrico. Eles tinham uma formação em vários campos do conhecimento: eletricidade, mecânica e instrumentação e, se fôssemos classificá-los, com certeza, encontraríamos a participação de Joule em vários outros coletivos como o de eletricitistas, instrumentadores etc. O fato é que estes profissionais das diversas áreas estavam imersos, como explicitamos, em uma visão de mundo tecnicista e muitos deles estavam dispostos a trabalhar para tentar substituir o motor a vapor pelo elétrico. Esta disposição para Fleck (2010, p.110):

O estilo de pensamento não é apenas esse ou aquele matiz dos conceitos e essa ou aquela maneira de combiná-los. Ele é uma coerção definida de pensamento e mais: a totalidade das disposições mentais, a disposição para uma e não para a outra maneira de perceber e agir. Evidencia-se a dependência do fato científico em relação ao estilo de pensamento.

Como o foco desses profissionais era buscar a invenção de artefatos tecnológicos para servir a indústria, já que estavam imersos na sociedade industrial de Manchester, onde o tecnicismo, como definimos, era a atmosfera da época, resolvemos

simplificar e classificá-los como o CP tecnicista que conduz a um EP tecnicista, que é coerente com a definição forte de EP de Fleck (2010, p.154):

Designamos o portador comunitário do estilo de pensamento como coletivo de pensamento. Não cabe ao conceito de coletivo de pensamento, da maneira que o estamos empregando, como meio de análise do condicionamento social do pensamento, o valor de um grupo fixo ou de uma classe social. Trata-se, por assim dizer, mais de um conceito funcional do que substancial, comparável, por exemplo, ao conceito do campo de força na física.

Continuando com o mesmo raciocínio, Fleck complementa que sempre temos um CP quando duas ou mais pessoas trocam ideias, pois há os coletivos momentâneos ou casuais de pensamento que aparecem e desaparecem a cada momento. E que neles surge uma predisposição peculiar, de que nenhum dos envolvidos consegue apoderar-se de outra maneira, mas que volta com frequência, assim que determinadas pessoas se reúnem. Isto é um exemplo das interações de Joule com Dalton e Faraday, de onde Joule compartilhou conhecimentos de matemática, química, eletricidade, métodos de experimentação e a intensa procura pela exatidão e precisão experimental. Ou seja, dos membros do coletivo dos técnicos na figura de Faraday²¹ e no coletivo dos cientistas na figura de Dalton, daí que nomeamos *o EP eficiência experimental*, ou seja, na definição forte de EP *o EP de eficiência experimental* teria que estar no CP de eficiência experimental.

Mas quem é o coletivo de eficiência experimental? No nosso caso, os membros deste coletivo pertencem tanto ao coletivo tecnicista quanto ao científico. Neste caso, temos aquilo que Fleck define como matizes de estilo, ou seja, os EPs tecnicista e científico possuem outras variedades de estilo por possuírem outros coletivos como o de eletricitas e inventores, que tinham como norte de seu trabalho técnico científico a eficiência experimental, como Joule, Faraday e o fabricante de instrumentos, o senhor Dancer. Da mesma forma que o de eficiência experimental, talvez um pouco mais amplo, o EP de convertibilidade é uma variação dos EPs tecnicista e científico. As distâncias entre estes EPs são pequenas, o que facilitou a circulação intercoletiva de

²¹ Cabe ressaltar que, dependendo do momento, Faraday participava, ora do coletivo de técnicos, ora, do coletivo de cientistas.

pensamento e práticas, como por exemplo, as concepções iniciais de Joule sobre a substituição do motor a vapor serem oriundas de alguns motores elétricos construídos por Sturgeon.

Outro fator relevante que estes EPs oriundos dos diferentes CPs nos quais Joule interagiu, pode ser considerado EPs confluentes:

[...] As corporações de ofício representam, de forma expressiva, comunidades voltadas para a prática; é instrutivo constatar como, de acordo com a atividade profissional, problemas práticos semelhantes são resolvidos de maneira diferente. Uma rachadura no revestimento, por exemplo, é algo bem diferente para um pintor ou para um pedreiro. O pintor vê apenas os danos de superfície e os trata como tais; o pedreiro pensa no conjunto da parede e tende, também na prática, a intervir na profundidade da parte interna: o aspecto estilístico do pensamento dos mesmos aparece em cada aplicação (FLECK, 2010, p. 156).

Essa confluência entre os EPs se dá pelo enfoque diferente dos vários representantes dos coletivos na resolução de um problema, como exemplo, temos os instrumentadores que se preocupavam em construir os instrumentos mais precisos; Joule tinha a preocupação de ter os equipamentos mais precisos para fazer as medidas com precisão e exatidão, com a finalidade de obter os melhores resultados nas relações entre eletricidade e calor e do equivalente mecânico do calor. Isto mostra também a relação dialética entre o indivíduo e o coletivo do qual Joule compartilhou de ideias e práticas, o que para Fleck (2010 p. 87-88):

Evidencia-se que um indivíduo pertence a vários coletivos de pensamento. Como pesquisador, ele faz parte de uma comunidade com a qual trabalha e, muitas vezes de maneira inconsciente, faz surgir idéias e desenvolvimentos que, logo depois de se tornarem autônomos, não raramente se voltam contra seus autores. Como membro de um partido, como representante de uma classe, de um país, de uma raça etc. pertence a outros coletivos. Quando chega a viver num grupo, logo se transforma em seu membro e obedece às suas imposições. Tanto o indivíduo pode ser estudado do ponto de vista coletivo, quanto o coletivo do ponto de vista individual, sendo que, em ambos os casos, tanto a especificidade da personalidade individual quanto da totalidade coletiva somente se tornam acessíveis com o uso dos métodos adequados.

Joule pode ser visto sob essa ótica, quando assume a prática da cervejaria , nos coletivos tecnicista e científico e na exigência dos governantes, pois busca a melhor precisão e exatidão, ao mesmo tempo em que exige do coletivo de eficiência

experimental, melhores instrumentos com maior precisão, como por exemplo, a sua interação com Dancer, o fabricante de instrumentos.

Dessa forma, o indivíduo Joule, nos vários momentos do seu trabalho científico, no enfrentamento de várias complicações em sua investigação científica, interagiu dialeticamente com os CPs tecnicista, eficiência experimental, científico e de convertibilidade, que contribuíram para o nascimento de vários fatos científicos, culminando na principal contribuição que foi a elaboração do princípio da conservação de energia. O que é semelhante ao processo da reação de Wassermann, do qual Fleck (2010, p. 115) declara:

Wassermann e seus colaboradores passaram, portanto, pela mesma experiência que Colombo: procuravam a Índia e tinham a convicção de estarem no caminho certo, mas encontraram a América. E mais: sua viagem não era um velejar contínuo na direção intencionada, mas uma odisséia com constantes mudanças de direção. E o que conseguiram não era seu objetivo, a saber, a comprovação de antígeno ou antígenos, mas a realização de um velho desejo coletivo: a comprovação da existência do sangue sífilítico.

Analogicamente a Wassermann, Joule e alguns de seus colaboradores do coletivo tecnicista procuravam substituir o motor a vapor com a convicção de que estavam no caminho certo, mas descobriram que não era possível substituir, até aquele momento, o motor a vapor pelo elétrico. E mais: sua viagem não foi um velejar contínuo na direção intencionada, mas uma odisseia com constantes mudanças de direção, no caso a transição do EP tecnicista para o científico, chegando ao efeito Joule e ao equivalente mecânico do calor, e no final, o que conseguiu foi a realização de um velho desejo coletivo (William Thomson, Helmholtz): chegar a formulação de um fato científico, no caso, o princípio da conservação da energia, o que significa a instauração de um novo EP, oriundo da confluência de vários EPs, a saber: o tecnicista, o de eficiência experimental, científico e o de convertibilidade.

CAPÍTULO 4: A FORMAÇÃO DE PROFESSORES UNIVERSITÁRIOS DE CIÊNCIAS E AS DUAS CULTURAS

4.1 Introdução

No capítulo 3, procuramos responder, por meio da análise fleckiana, uma das questões de pesquisa formuladas no capítulo 1, a saber: *Quais foram os elementos conceituais, experimentais, sociais e culturais que influenciaram o trabalho de Joule?* Acreditamos que uma leitura fleckiana sociocultural dos trabalhos de Joule contribuirá para um projeto pedagógico que contemple uma visão sociocultural dos processos tecnocientíficos na articulação das culturas científica e humanística na formação de professores universitários com vistas a uma busca de transformação de suas práticas pedagógicas.

A concepção de currículo, ensino e aprendizagem dos professores universitários pode ser reproduzida pelo professor da escola básica. O fato é que vários problemas afetam a formação inicial de professores de Ciências, entre eles a dissociação entre a formação científica e a pedagógica, traduzida em um currículo elaborado pelos professores universitários. Entretanto, as reformas estabelecidas pelas Leis de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDB 9394/96) e pelas Diretrizes Curriculares para Formação de Professores (CNE/CP1/2002) sinalizam para uma integração entre as disciplinas de conteúdo específico com as pedagógicas.

Mesmo que os cursos de licenciatura atendam à proposta dos documentos oficiais, ainda ficam problemas a serem estudados como: a definição de conteúdos e objetivos das disciplinas; a formação dos professores universitários que irão ministrar as disciplinas na nova organização curricular sustentada por estes documentos. Isto nos conduz ao seguinte questionamento: Será que os professores universitários de Física possuem uma formação adequada para formar professores da educação básica na perspectiva de integração do conhecimento científico com o pedagógico? Diante disto, um dos objetivos do presente capítulo é responder a seguinte questão: Os professores Universitários da área de Ciências Naturais possuem uma visão articulada das culturas humanística e científica? Para isto, será consultada a literatura da área de ensino de

Ciências em que explicitaremos dados empíricos da literatura sobre concepções de professores universitários de ensino-aprendizagem, currículo e HFSC. Analisaremos também as diretrizes curriculares para os cursos de Física. A triangulação destes dados propiciará uma leitura da visão dos professores universitários sobre a questão.

Esses dados serão analisados com um olhar cultural, na perspectiva dos referenciais adotados por Fleck e Giroux. Inicialmente, apresentaremos uma conceituação de cultura em suas diferentes perspectivas e assumimos aquela que é corroborada pelos referenciais adotados. Problematizaremos o significado das “duas culturas” segundo Snow (1995) e definiremos o significado abordado na presente tese.

Em seguida, apresentaremos os vários modelos de formação de professores e o projeto pedagógico político cultural de Giroux de currículo, escola e de formação de professores. Também discutiremos a formação de professores universitários no contexto internacional e alguns resultados de pesquisas no contexto nacional.

A partir do arcabouço teórico apresentado no corpo do capítulo, faremos a análise dos dados empíricos, procurando caracterizar o aspecto cultural dos sujeitos investigados nestas pesquisas, ou seja, se possuem ou não uma articulação da cultura científica e humanística ou somente uma das culturas.

Os dados empíricos analisados, juntamente com a análise epistemológica dos trabalhos de Joule realizados no capítulo 3, nos darão subsídio para no capítulo 5, responder a nossa principal questão de pesquisa: Por que uma abordagem Histórico-Sociocultural poderá contribuir para articulação das duas culturas no processo formativo de professores? Especificamente, como a partir do estudo do trabalho de Joule, poderemos ter uma visão mais crítica do processo de formação de professores universitários de Física na articulação das duas culturas?

4.2 Cultura

A palavra cultura vem da raiz semântica *colore*, que originou o termo em latim *cultura*, de significados diversos como habitar, cultivar, proteger, honrar com veneração (WILLIAMS, 2007, p.117). Japiassu e Marcondes (2006) apresentam várias definições de cultura, dentre elas a de que cultura serve para designar tanto a formação do espírito humano quanto de toda a personalidade do homem: gosto, sensibilidade,

inteligência; como um feixe de representações, de símbolos, de imaginário, de atitudes e referências suscetíveis de irrigar, de modo bastante desigual, mas globalmente, o corpo social.

Segundo Santos (1983), cultura é tudo aquilo que caracteriza uma população humana. Isto inclui a cultura associada à educação; formação escolar; manifestações artísticas como o teatro, a música, a pintura, a escultura; meios de comunicação em massa, tais como o rádio, o cinema, a televisão; as festas e cerimônias tradicionais, lendas e crenças de um povo, ou o seu modo de vestir, sua comida, seu idioma etc.

O autor aponta duas concepções básicas de cultura: a primeira caracteriza todos os aspectos de uma realidade social, tudo o que demonstra a existência social de um povo ou nação, ou então, grupos no interior de uma sociedade, o que nomeamos de cultura brasileira ou de cultura Xavante. A segunda é mais específica, refere-se ao conhecimento, às ideias e crenças de um povo e de uma determinada sociedade. Neste caso, entende-se que a cultura diz respeito a uma esfera, a um domínio social da vida social. Na segunda concepção, quando falamos em cultura brasileira, de forma generalizada, sentimos a necessidade de fazer referência à língua brasileira, a sua literatura, a sua dança, a sua comida etc.

A consideração e o respeito às crenças e costumes de cada cultura particular não podem ser dissociados da necessidade de se considerar as relações entre as culturas. Neste caso, duas são as possibilidades básicas de relacionarmos diferentes culturas entre si. No primeiro caso, seria cultura como hierarquização, ou seja, comparar cultura através de valores materiais. Por exemplo, uma cultura que detém uma maior quantidade de tecnologias é mais desenvolvida que uma tribo indígena. A segunda possibilidade de relacionar diferentes culturas é negar que seja viável fazer qualquer hierarquização. Nesta linha, argumenta-se que cada cultura tem seus próprios critérios de avaliação e que para uma comparação ou relação ser construída é necessário subjugar uma cultura aos critérios de outra. Por exemplo, pensar em duas culturas: uma, em que seus bens de produção são feitos por meio do trabalho manual e, na outra, o processo é mecanizado. Nesta segunda concepção não faria sentido utilizar o critério de comparação, julgando aquela cultura mecanizada como melhor que a cultura manual.

O estudo de hierarquização de culturas teve grande euforia no século XIX; tal estudo teve como pretensão hierarquizar todas as culturas humanas, existentes ou extintas. As versões mais comuns deste estudo é que a humanidade passaria por estágios sociais evolutivos, desde um estágio em que iniciaria a distinção da espécie humana de outras espécies animais até a civilização, tal como conhecida na Europa Ocidental. Assim, a diversidade de sociedades existentes no século XIX representaria estágios diferentes da evolução humana: sociedades indígenas da Amazônia poderiam ser classificadas no estágio de selvageria; reinos africanos, no estágio de barbárie. Quanto à Europa no estágio de civilização, considerava-se que já teria passado por aqueles outros estágios (SANTOS, 1983).

Um teórico que defendeu a hierarquização das culturas foi Edward Burnett Tylor (1832-1917), considerado o fundador da Antropologia Britânica. Foi um dos principais teóricos a defender a existência de uma cultura universal, na qual a cultura era uma palavra neutra que permitia pensar toda a humanidade e romper com uma abordagem dos povos primitivos. Para ele existia uma unidade psicológica da humanidade. Foi o primeiro etnólogo a abordar os fatos culturais sob uma ótica geral e sistemática. Além disso, dedicou-se ao estudo da cultura em todos os tipos de sociedade e sob todos os aspectos materiais, simbólicos e até corporais (CUCHE, 2002, p.35-37).

Precisamente em estudos de hierarquização das culturas, Tylor elaborou um método de estudos da evolução da cultura, chamado de “sobrevivências culturais”, que, em outras palavras, tinha como principal diretriz a comparação entre culturas. Uma grande experiência de estudos deste tipo foi a que observou no México: a permanência de costumes ancestrais nas características culturais de sua época. Generalizando sua metodologia, chegou-se à conclusão de que a cultura dos povos primitivos contemporâneos representava a sobrevivência das primeiras fases da evolução cultural, fases pelas quais a cultura dos povos civilizados (a europeia) teria passado, necessariamente. De acordo com Tylor, os estudos das culturas particulares não poderiam ser feitos sem a comparação entre elas, pois estavam ligadas umas às outras em movimento de progresso cultural. Tylor, por meio do método comparativo, desejava provar a continuidade entre cultura primitiva e a cultura avançada. Para Tylor, os primitivos e civilizados são seres humanos dotados de cultura e que cada povo tem sua

contribuição para o progresso; não há uma diferença de natureza, mas simplesmente, de grau de avanço no caminho da cultura.

Apesar de Tylor ser evolucionista, não excluía um relativismo cultural que era raro na sua época, devido ao forte etnocentrismo europeu. A sua concepção do evolucionismo era flexível, não estava totalmente convencido de que houvesse um paralelismo absoluto na evolução cultural das diferentes sociedades. Em alguns casos, assumiu a hipótese difusionista. De acordo com esta hipótese, a semelhança entre traços culturais de duas culturas diferentes não era suficiente para provar que elas estivessem situadas no mesmo nível da escala de desenvolvimento cultural, mas que poderia ter havido uma difusão de uma em direção à outra (CUCHE, 2002, p.38-39).

Em resumo, Tylor, apesar de considerar as particularidades culturais e suas relações, defendeu fortemente uma concepção universalista de cultura que teve como consequência a comparação de forma hierárquica, sendo preponderante a concepção etnocêntrica de cultura, em que a cultura dos povos primitivos era inferior a cultura dos povos civilizados (a europeia).

A concepção de evolução por estágios possuía uma visão europeia da humanidade que servia aos propósitos de legitimar o processo que se vivia de expansão e consolidação do domínio dos principais países capitalistas sobre os povos do mundo. Além disso, tal hierarquização serviu para reforçar ideias racistas contra alguns povos não europeus, considerados inferiores, o que era usado como justificativa para domínio e exploração. Entretanto, muitos estudos atacaram a ideia de evolução linear, mostrando que a diversidade das culturas existentes acompanha a variedade da história humana, expressa possibilidades de vida social organizada e registra graus e formas diferentes de domínio humano sobre a natureza.

Franz Boas (1858 – 1942), considerado o inventor da etnografia, foi um dos analistas-teóricos das culturas que era contra a ideia de hierarquização das culturas. Ao contrário de Tylor, de quem utilizou o conceito de cultura, Boas tinha como objetivo o estudo “das culturas” e não da cultura, pois defendia uma concepção particularista da cultura. Era muito resistente à teoria evolucionista unilinear de cultura, dominante no campo intelectual da época. Ele recusou o comparativismo imprudente da maioria dos

autores evolucionistas, fazendo críticas severas ao método de periodização²² e das teses difusionistas, baseadas em reconstruções pseudo-históricas. Para ele, era impossível descobrir leis universais de evolução das culturas e funcionamento das sociedades humanas (CUCHE, 2002, p.41-42).

De acordo com Cucho (2002), Franz Boas foi um marco na história da antropologia por fundar o método indutivo e intensivo de campo. Para Boas, em um estudo de uma cultura em particular, o pesquisador deve se inserir ao máximo nesta cultura, pois o etnólogo que apenas realiza entrevistas formais, pode não entender as alterações de respostas. O etnólogo deve aprender a língua e estar atento a tudo o que se diz nas conversas espontâneas.

Apesar de Boas não ter sido o primeiro a pensar na relatividade cultural, foi um defensor, principalmente, como princípio metodológico de fuga ao etnocentrismo no estudo de uma cultura particular, fazendo uma aborgadagem sem *apriori*, aplicar suas concepções teóricas para interpretá-la, nem compará-la, precipitadamente, a outras culturas. Afirmava que cada grupo cultural tinha sua complexidade e que uma análise metódica do sistema cultural em si mesmo poderia chegar ao fundo de sua complexidade. Os estilos particulares de cada cultura, a linguagem, os costumes, crenças, a arte, influem nos indivíduos que a constituem; para Boas estudar a relação do indivíduo com sua própria cultura era uma tarefa para o etnólogo. Desta forma, Boas acaba assumindo o relativismo cultural, tanto como metodologia como princípio epistemológico (CUCHE, 2002, p.42-45).

De acordo com Santos (1983), a ideia de que cada cultura tem a sua identidade e a classificação destas culturas em escalas hierarquizadas é impossível, não pode cair em uma relativização total no estudo das culturas, ou seja, vê-las somente de dentro para fora. Esta relativização pode mascarar, por exemplo, as relações históricas de domínio estabelecidas entre povos e nações. Não existem superioridade e inferioridade entre culturas, há processos históricos que as relacionam e estabelecem marcas verdadeiras e concretas entre elas.

²² O método de periodização consiste em reconstruir os diferentes estágios de evolução da cultura a partir de pretensas origens.

Nesse processo histórico, há de se considerar o estudo das culturas e de suas transformações com o intuito de entender suas características e reconhecer as desigualdades instauradas nas suas relações, a fim de buscar uma superação. Desta forma, ao falarmos de cultura, faz-se necessário entendermos o conhecimento específico de uma determinada sociedade, mas também termos consciência da sociedade como um todo.

Assim, a relação entre essas duas concepções é que permite entendermos cultura como construção histórica e uma dimensão do processo social construído coletivamente. Quando entendemos cultura como dimensão do processo social, podemos falar em cultura negra das sociedades negras do Brasil, apesar de que dependendo da situação, estas definições podem variar bastante (SANTOS, 1983).

Essa cultura negra encontra-se em interação crescente com a sociedade nacional que passa a participar dos processos sociais comuns, a partilhar de uma mesma história. Neste processo, suas culturas mudam de conteúdo e de significado, que podem ser marcas de resistência à sociedade que as quer dominar e podem incorporar novos conhecimentos, a fim de que possam melhor resistir, já que suas culturas se transformem e as sociedades sobrevivam.

Assim, discutir cultura implica sempre discutir o processo social concreto. De tal discussão pode emergir uma preocupação de cultura como lendas ou crenças, festas ou jogos, costumes ou tradições. Estes fazem sentido como parte de uma cultura, a qual não pode ser entendida sem referência à realidade social de que faz parte a história de sua sociedade (SANTOS, 1983).

Portanto, a concepção de cultura assumida neste trabalho é de processo social. Tal concepção é dinâmica e é corroborada com a epistemologia de Fleck, onde cultura é entendida a partir da categoria estilo de pensamento (EP) e o decorrente processo de instauração, extensão e transformação de estilo considerado em sua análise histórico-epistemológica. De acordo com Fleck (1986) é possível ter um conhecimento melhor do que o outro, pois a comparabilidade permite fazer estas distinções em relação a um determinado EP. Assim, ao contrário de Tylor, a verdade para Fleck não é universal,

mas existe uma verdade melhor temporariamente, pois a verdade é uma eterna busca, o que permite fazer uma comparabilidade não fixa das culturas (FLECK, 2010, p. 94-95). Para Fleck, um EP se transforma quando há um problema por ele não resolvido, ou seja, uma complicação. O desafio da busca por soluções flexibiliza a coerção de pensamento e potencializa o estabelecimento da circulação intercoletiva.

Assim, diferentemente do relativismo de Franz Boas, para Fleck, que assume uma posição de realista crítico, é possível comparar duas culturas com conhecimentos diferentes e ainda duas culturas interagirem entre si, uma vez que podem criar novos conhecimentos e práticas no enfrentamento de complicações, o que para Fleck (1986, p. 157), é o significado mais importante da circulação intercoletiva de pensamento.

Essa dinâmica é estabelecida para Fleck, na medida em que um determinado coletivo de pensamento (CP) que possui um determinado EP dentro de uma cultura²³ depara-se com um problema, o que para Boas teria que resolvê-lo dentro da própria estrutura de conhecimento da cultura; já para Fleck é possível considerar que, quando uma determinada cultura atinge a consciência de que não consegue resolver um problema e se empenha na busca de uma possível solução, poderia haver contribuição mediada por interações com outras culturas. Nestes casos, a circulação intercoletiva de ideias e práticas entre estilos de pensamento diferentes, consideradas por Fleck, auxilia na compreensão de processos formativos, com os quais se pode chegar a superação do problema e a instauração de um novo estilo de pensamento. Na perspectiva do realismo crítico de Fleck, este poderá ser também superado, na medida em que houver a consciência do CP que o compartilha, durante a extensão do EP, de que há outros problemas, não resolvidos neste novo EP instaurado.

Assim, para o problema desta tese interessa sobremaneira caracterizar processos formativos que ocorrem na educação escolar, que contribuem de modo planejado e intencional para transformações de EPs compartilhados pelos alunos, bem como por professores formadores.

²³ Observação: Na perspectiva fleckiana, podemos ter mais de um coletivo de pensamento compartilhando ideias e práticas que podem estar constituindo uma mesma cultura.

4.2.1 As duas culturas

Snow (1995), em seu livro “as duas culturas e uma segunda leitura” tenciona as diversidades existentes entre cientistas e humanistas. Segundo o autor, os humanistas não conhecem os conceitos básicos da ciência e os cientistas, na maioria das vezes, não têm interesse ou interpretam, equivocadamente, as dimensões sociais e éticas do conhecimento científico. O que mais chama a atenção do autor são os diferentes posicionamentos dos intelectuais frente aos problemas da sobrevivência da humanidade.

A cultura científica é uma cultura tanto no sentido intelectual como antropológico. Os membros de áreas científicas diferentes nem sempre se compreendem, mas têm algumas formas e padrões de investigação, abordagens e postulados comuns. Um exemplo disto seria a Física e a Biologia na maneira de verem a sociedade em relação à religião, à política e às classes sociais. Já para os membros da área humanística, a forma de agir e os hábitos são bem mais amplos e à medida que se passa da sociedade intelectual dos físicos para a dos literatos, podemos encontrar várias matizes de estilo (SNOW, 1995).

Esta polarização entre as duas culturas representa perda para o indivíduo e para a sociedade. Segundo o mesmo autor é perda prática, intelectual, criativa e que o fosso entre as duas culturas era mais alarmante do que 30 anos antes dele escrever o livro “as duas culturas”:

De fato a distância entre os cientistas e os não cientistas é muito menos transponível entre os jovens de agora do que era há apenas trinta anos. Trinta anos atrás as culturas já haviam cessado de falar uma com a outra, mas pelo menos trocavam um sorriso amarelo através do fosso. Agora a cortesia se foi, e elas só fazem caretas uma à outra. Não é apenas que os jovens cientistas sentem agora que são parte de uma cultura em ascensão, enquanto a outra está em retrocesso. É também, em termos brutais, que os jovens cientistas sabem que com qualquer diploma que seja conseguirão um emprego confortável, enquanto seus contemporâneos e congêneres em Inglês ou História terão sorte se ganharem 60% do que eles ganham. Nenhum jovem cientista de algum talento sentiria que não é um profissional necessário ou que seu trabalho é ridículo, como aconteceu com o herói de *Lucky Jim*; e, de fato, alguma coisa do desapontamento de Amis e de seus colegas é o desapontamento dos formados em arte subempregados (SNOW, 1995, p.36-27).

A análise de Snow é atual para a situação cada vez pior da sociedade consumista que estamos vivendo, cuja velocidade e exigência de novos bens de consumo são cada vez maiores. Nesta lógica, o mundo do trabalho tende a valorizar alguém que tem uma formação tecnocientífica por meio de maiores oportunidades e salários. Diante disto, o que fazer?

Segundo Snow, um meio de sair de tudo isso é repensar a educação. Ele declara que, no contexto inglês, é muito difícil este processo, já que tal país, desde a revolução industrial, priorizou a educação para uma cultura da técnica, sem se preocupar com valores humanísticos. O sistema educacional inglês tornou-se especializado demais.

Embora, com diferente impacto do contexto inglês, observamos nas últimas décadas, também no Brasil, uma crescente especialização na educação, priorizando uma cultura técnica. Cada vez mais engenharias específicas estão sendo criadas, tais como: engenharia mecatrônica, engenharia de mobilidade, engenharia ambiental, engenharia física, engenharia de energia.

Nos cursos de formação de professores, observa-se que até o final da década de 90, há uma prioridade por grades curriculares que favoreçam mais o bacharelado, com a intencionalidade de formar o cientista do que o professor da escola básica. Na última década, há um esforço de implantação de matrizes curriculares na formação de professores de Ciências que visem aspectos humanísticos, mas alguns documentos oficiais como as Diretrizes Curriculares da Física²⁴, que apesar de fazerem apontamentos de integração das disciplinas de conteúdo específico com o pedagógico, ainda assim priorizam uma formação específica. Além disso ocorrer nos cursos de licenciatura, o problema parece mais sério nos cursos de bacharelado em que as disciplinas como História e Filosofia da Ciência são vistas como secundárias, na formação dos futuros bacharéis.

Acreditamos que uma ampla discussão e ações para uma reforma curricular nos cursos de licenciatura em Ciências e os ligados a tecnologia poderá amenizar os problemas. Neste sentido, é que defendemos que o uso da HFSC poderá contribuir

²⁴ Uma análise mais aprofundada desta problemática será feita mais adiante

para o processo de humanização destes currículos de formação de professores. Entretanto, existem defensores e opositores a esta ideia.

Kuhn (1977) acredita que a História da Ciência é um remédio improvável para a doença social tão profunda que separa as duas culturas. Ele tem receio de que a História da Ciência se torne uma vítima deste problema. Ele aponta que uma abordagem externalista poderia amenizar o problema que há muito a história internalista dominou e continua dominando. Entretanto, ele alerta ainda mais, que se for feita a escolha por uma única abordagem externalista, esta ignoraria os elementos internos que configuram o desenvolvimento de qualquer disciplina. No mesmo trabalho, ele explicita a resistência que os historiadores têm de se comunicar com a história disciplinar.

Esse processo de articulação das “Duas Culturas” pode ser estudado e fundamentado em várias perspectivas. Tais perspectivas passam pelos tipos de disciplinas que poderiam ser como Ciência, Tecnologia e Sociedade, pela Sociologia, Filosofia etc. em termos de fundamentação teórica pode assumir várias perspectivas como, por exemplo, pela Pedagogia Histórico-crítica, Teoria Crítica da Escola de Frankfurt, pela Epistemologia da Ciência, entre outras.

Por meio de disciplinas como Física e Arte, Zanetic (2006a, 2006b) defende a articulação entre as culturas científica e humanística. Especificamente uma articulação da Literatura com a Física, com a leitura de autores da literatura universal, mas também de escritores com veia científica e de cientistas com veia literária. Ele defende que se instale uma atividade interdisciplinar de colaboração mútua entre professores destas duas disciplinas. Alguns exemplos que podem ser trabalhados na escola: trechos dos Diálogos e dos Discursos, de Galileu, ou de A máquina do tempo, de H. G. Wells, podem suscitar análises tanto do conteúdo científico e literário por professores de Física e Português.

Zanetic cita também os trabalhos de divulgação científica por grandes físicos do século XX com veia literária, como Einstein, Landau, Bohr e Feynman, indicando que muitos livros destes autores poderiam ser utilizados em aulas do Ensino Médio. Outra

aproximação entre as duas culturas é a divulgação científica por meio do teatro, que abordaria temas relacionados à Física, como é o caso da peça de *Einstein e Copenhagen* de grande sucesso na interpretação do grupo “Arte e Ciência no Palco” (ZANETIC, 2006 a, 2006 b).

Segundo Zanetic (2006 b), uma aproximação entre as duas culturas é útil, não apenas para interpretar o mundo, mas também para transformá-lo. Corroboramos com esta afirmação, porque uma articulação destas duas culturas na educação em Ciências, possivelmente traria benefícios, no sentido de humanizar o processo de ensino-aprendizagem, tanto do ponto de vista curricular, como nas metodologias de ensino-aprendizagem, propiciando uma educação transformadora. Para os cientistas e técnicos, seria uma maneira de problematizar e ponderar as suas invenções e práticas científicas frente aos problemas globais originados ou que poderão ser originadas pela intensa racionalidade advindas delas mesmas.

Apesar dos problemas apresentados por Kuhn quanto à História da Ciência na integração entre as duas culturas, assumimos esta disciplina como uma possibilidade para tal empreitada. Resta definirmos como poderíamos amenizar os problemas apontados por Kuhn. Um caminho que ameniza o pessimismo de Kuhn é que, diferentemente de Snow, que assume a literatura, neste trabalho, consideramos as especificidades da cultura humanística, contidas na Pedagogia e outras Ciências, como a História, para uma articulação entre as duas culturas.

Um fator importante a salientar é que apenas uma mudança em uma matriz curricular não é suficiente para o processo de articulação das duas culturas. Entendemos que esta discussão passa, principalmente, por aqueles que elaboram e implementam o currículo, no caso, os docentes universitários. Nesta direção, a problematização do estudo da articulação das culturas científica e humanística, neste trabalho, tem uma proposta centrada no modelo de formação do professor como intelectual crítico, ou seja, os sujeitos representantes destas culturas se articulariam com propósito de se chegar a um novo estilo de pensamento que, nesta vertente, teria

que ser transformador e temporário. Discorreremos com maiores detalhes, a perspectiva crítica de formação de professores na próxima seção.

4.3 Modelos de formação de professores

Apresentaremos aqui os três modelos de formação de professores: o do especialista técnico, o profissional reflexivo e o intelectual crítico. Estes modelos estão diretamente ligados ao processo formativo de professores e formas de entendimento da prática de ensino.

O primeiro modelo, o do profissional técnico, caracteriza-se dentro da perspectiva da racionalidade técnica, na qual os saberes previamente disponíveis são elaborados por meio de pesquisadores e disponibilizados ao professor. Uma vez que estas técnicas foram apreendidas, supõe-se a sua aplicação pelo professor em sua prática de ensino. Esta visão aplicacionista de Ciência, segundo Contreras (2002, p.91-92), afeta o desempenho profissional:

- Em primeiro lugar, a relação que se estabelece entre prática e o conhecimento é hierárquica: as habilidades práticas são necessárias para a realização de técnicas, as quais derivam do material disponível da ciência aplicada, que, por sua vez, se fundamenta nas contribuições que a ciência básica realiza.
- Em segundo lugar, a consideração da prática profissional como aplicação de procedimentos e meios técnicos para conseguir determinados fins entende a ciência aplicada como formulação de regras tecnológicas, segundo as quais se estabelecem aqueles procedimentos de atuação que dão lugar a determinados resultados desejados. Para a elaboração destas regras técnicas, como devem ser fundamentadas cientificamente, se requer um conhecimento anterior que estabeleça relações entre antecedentes e conseqüentes. Ou seja, um conhecimento que estabeleça leis ou regras entre fenômenos que sejam interpretados como relações de causa e efeito [...].
- Em terceiro lugar, a elaboração desse conhecimento técnico é possível na medida em que se considera que os *fins que se pretendem são fixos e bem definidos*. Só é possível estabelecer correspondências entre atuações e conquistas que possam estar fundamentadas na regra, se as conquistas buscadas são claras e estáveis. Se a ciência aplicada consiste na acumulação de conhecimento empírico sobre os meios mais adequados para a obtenção de fins selecionados, dificilmente se poderia dispor de tal conhecimento para fins cujo significado não se encontre definido, de forma que possa ser comprovado sem dar lugar a dúvidas quanto ao seu alcance. Devem ter uma definição estável, pois somente assim podem se fixar as regras entre os tratamentos ou atuações adequadas e os resultados desejáveis.

Quanto ao primeiro fator, Contreras (2002) afirma que a separação de quem produz o conhecimento e aplica é hierárquica, no sentido simbólico e social, já que representa status social para os pesquisadores da academia e subordinação de quem o aplica, evidenciando-se a divisão social do trabalho. No segundo e terceiro fatores, prevalece a visão do empirismo racional, característico das ciências naturais, que é um problema quando utilizado nas relações humanas, pois estas são mais complexas do que o objeto de estudo das ciências naturais. Esta complexidade se revela nas finalidades da aplicação de determinado conteúdo: elas não podem ser as mesmas nos diversos contextos educacionais, pois as atitudes e perspectivas dos indivíduos são diferentes.

O conhecimento pedagógico na racionalidade técnica é visto como uma intensa busca da melhor técnica de ensino, da elaboração de técnicas de diagnóstico e avaliação; do encontrar relações entre determinadas circunstâncias de atuação do professor, de materiais curriculares ou de ambiente escolar e seus efeitos sobre o rendimento dos alunos. O currículo é entendido como um conjunto de conhecimentos despersonalizados e estáticos (CONTRERAS, 2002, p. 96).

Na racionalidade técnica, o professor reduz sua atuação à aplicação de decisões técnicas. Quando o professor depara com dificuldades de aprendizagem do aluno ou determinada turma de alunos, busca na literatura, ou com os colegas de trabalho, uma teoria ou prática pedagógica que melhor se adapte à situação e a aplica. De acordo com Contreras (2002): “o pressuposto básico que aqui se manipula é que o conhecimento pedagógico disponível dirige-se à prática, proporcionando os meios para reconhecer os problemas e solucioná-los”.

Contreras (2002, p. 98) critica esse pressuposto propondo que os problemas encontrados pelos professores não se resolvem por meio de técnicas preestabelecidas. O fato é que não temos um problema na forma que a racionalidade técnica pressupõe. Um problema encontrado e resolvido por meio de uma teoria pode não dar conta de resolver o mesmo problema em outro contexto, como afirma Schön:

Os professores devem entender as situações no contexto específico em que se apresentam e na sua singularidade, e também devem tomar decisões que nem sempre refletem uma atuação que se dirige a um fim, senão manter aberta a

interpretação a diferentes possibilidades e finalidades, encontrar respostas singulares e às vezes provisórias, para casos que não haviam previsto nem imaginado. Evidentemente, uma situação diante da qual se abre um dilema, ou que reflete um acontecimento singular nunca anteriormente vivido, e que nem sequer chegamos a compreender exatamente “não pode se resolver mediante a utilização de técnicas derivadas da pesquisa aplicada” (SCHÖN, 1983, p.41)”.

As limitações da racionalidade técnica impedem que os seguidores desta perspectiva vejam os problemas que estão fora dos padrões estabelecidos por uma determinada técnica. Isto acaba forçando a compreensão de situações que nela se encaixe. Outro aspecto é que as situações ficam reduzidas a um contexto em que a técnica se adequa sem levar em consideração o contexto mais amplo, no qual o ensino está inserido (CONTRERAS, 2002, p. 99-100)

Os professores que entendem que seu trabalho consiste na aplicação de técnicas para resolver determinado problema, ou alcançar determinada aprendizagem, não conseguem analisar as diversas circunstâncias de suas práticas educativas e terão dificuldade de procurar e construir subsídios próprios para enfrentar as diversidades. Outro problema é que não conseguem entender o contexto de sua prática docente como uma prática social permeada pela complexidade, instabilidade e incerteza.

No plano político, tal prática pedagógica dificulta a busca da tão sonhada autonomia do docente, uma vez que as decisões são hierarquizadas, pois a aplicação do conhecimento depende de outras instâncias superiores, responsáveis pela elaboração do repertório de técnicas a serem aplicadas pelos docentes. As poucas políticas públicas que existem são feitas, na maioria das vezes, sem consultar o quadro docente de suas reais necessidades, não estabelecem comunicação com a comunidade escolar. Desta forma, não faz parte da prática docente questionar o porquê de ensinar determinado conteúdo, o porquê de determinada matriz curricular, qual o projeto político pedagógico da escola, do município, do seu estado etc. O que existe é uma despolitização da prática e da profissão docente.

De acordo com Contreras (2002, p. 105), o modelo de racionalidade técnica de formação de professores não dá conta das situações imprevisíveis que eles enfrentam durante a sua prática pedagógica. Dentre outras razões, isto ocorre devido à característica do modelo de racionalidade técnica que está fundamentado em uma

epistemologia positivista em que há uma rigidez associada à aplicação de regras definidas para alcançar os resultados já previstos. Isto dificulta aos professores procurarem alternativas diferentes das já estabelecidas para balizar situações problemáticas de ensino aprendizagem, caracterizadas pelo imprevisto, a incerteza, os dilemas e as situações de conflito. Diante disto, faz-se necessário resgatar a base reflexiva da profissão docente com o objetivo de entender a forma em que realmente se aborda as situações problemáticas da prática.

Ainda, de acordo com Contreras (2002), a ideia de profissional reflexivo desenvolvida por Schön (1983,1992) oferece uma alternativa aos professores para o enfrentamento das situações inesperadas da prática docente, na qual na maioria das vezes, a racionalidade técnica não consegue resolver. Ao propor o modelo de profissional reflexivo, Schön parte de duas situações: o conhecimento na ação e a reflexão na ação, que são habitualmente atividades espontâneas do cotidiano.

Conhecimento na ação é um conhecimento construído, que não precede a ação, mas sim, está na ação, ou seja, um conjunto de ações que realizamos espontaneamente, sem parar para pensarmos nelas antes de fazê-las. Enquanto que a reflexão na ação é pensarmos sobre o que fazemos, ou quando pensamos enquanto fazemos determinada atividade.

Este processo de reflexão na ação transforma o profissional em um pesquisador no contexto da prática. Isto quer dizer que um profissional que não é submisso às técnicas preestabelecidas, mas que diante das situações problemáticas, constrói novas maneiras de observar o problema que permite entender suas peculiaridades e tomar as decisões de forma ponderada. Com o passar do tempo, o conhecimento que o professor vai adquirindo nas várias reflexões na ação, com o objetivo de resolver problemas inesperados, consegue utilizar parte ou todo este conhecimento em outras situações, e ainda reconhecer as particularidades das novas situações problemáticas que vão aparecendo.

O fato é que a prática do profissional reflexivo o leva a refletir os problemas, não somente de acordo com determinados fins, mas a reflexão sobre quais devem ser os fins. De forma geral, de acordo com Contreras (2002, p. 110), os problemas que demandam atitudes reflexivas dos profissionais:

São aqueles para os quais não são válidas as soluções já acumuladas em seu repertório de casos. São aquelas situações para as quais não se tem, em princípio, nem sequer uma forma adequada de interpretá-las, de tal maneira que é necessário entender simultaneamente a situação e modificá-la. Essa dupla necessidade os leva a empreender ações sobre a situação que eles possam avaliar. Ou seja, eles examinam a situação. Desse modo, colocam-se em andamento as espirais de avaliação-ação-nova avaliação.

No modelo de profissional reflexivo, rompe-se a dicotomia entre a pesquisa e a prática. A prática deixa de ser entendida como mera aplicação dos produtos da pesquisa. A prática, nesta perspectiva, é uma forma de pesquisar, de experimentar com a situação para elaborar novas compreensões adequadas ao caso, ao mesmo tempo em que se dá a transformação da situação. Estabelece uma relação de negociação com diálogo reflexivo entre o professor e a situação problemática, ou seja, de modo que suas concepções de ensino também se modifiquem em função das respostas que as situações de aprendizagem lhes mostram ao serem transformadas. Assim, na prática reflexiva não existe uma separação entre fazer e pensar, porque a ação não é uma realização de decisões técnicas. O pensar e o fazer vão-se entrelaçando no diálogo gerado entre a ação e suas consequências, as quais levam a uma nova apreciação do caso (CONTRERAS, 2002).

Ao contrário do modelo da racionalidade técnica em que a atividade docente é externa a uma realidade alheia, o profissional reflexivo entende que faz parte da situação, na medida em que é um agente negociador das situações problemáticas que aparecem em sua prática de ensino. A negociação estabelecida entre o professor e as situações problemas da qual faz parte é um enfiamento que nos faz entender que a prática profissional, neste sentido, integra o contexto social.

Assim, de acordo com Contreras (2002), o modelo de professor reflexivo de Schön permite recuperar uma concepção prática da atividade docente, o que a perspectiva da racionalidade técnica não deu muito valor. Esta dimensão reflexiva construída por Schön é racional, mas não é técnica. A reflexão consegue conectar o conhecimento e a ação aos contextos práticos. Discute sobre os fins de determinada prática pedagógica, mas também reelabora o preconcebido que não está dentro da prática. Neste caso, a prática profissional assemelha-se ao do artista, devido à

bagagem adquirida, da meditação da reflexão na prática da intenção que se expressa como qualidades que guiam e se modificam quantas vezes forem necessárias, sem se preocupar com os resultados esperados.

De acordo com Contreras (2002, p.133-134), uma das fraquezas principais do modelo de professores como profissionais reflexivos é a proposta de uma reflexão que atenda a pluralidade dos contextos educacionais, sem pensar nas questões de desigualdade e injustiças sociais. Nesta direção, levanta alguns questionamentos interessantes como: O que faz pensar que a reflexão do ensino conduza por si mesma à busca de uma prática educativa mais igualitária e libertadora e não ao contrário, à realização e ao aperfeiçoamento de exigências institucionais e sociais que poderiam ser injustas e alienantes?

De acordo com o autor, estas deveriam ser as preocupações que orientam a reflexão do professor; no entanto, ele alerta para aqueles modelos que pretendem unir os profissionais reflexivos com a perspectiva dos professores como intelectuais críticos, pois não estão isentos de suas contradições e contrariedades. O risco maior desta nova visão é a possibilidade de entrar em conflito com os princípios de autonomia defendidos pela perspectiva crítica.

Outro problema é o uso indiscriminado do termo reflexivo que, muitas das vezes, é utilizado de forma distorcida na literatura e nas práticas pedagógicas. Zeichner (1993, p.34-43) identificou na literatura pedagógica algumas tradições de práticas reflexivas:

- a) Tradição acadêmica: Prioriza uma reflexão sobre as disciplinas, a representação e tradução do conhecimento disciplinar para o desenvolvimento da compreensão do aluno;
- b) Tradição de eficiência social: Acentua o estudo científico do ensino para o estabelecimento da base da construção curricular da formação de professores. Uma das características desta perspectiva é que os saberes e as capacidades que os professores têm de dominar são preestabelecidos. Há também o controle das competências através do desenvolvimento da gestão instrucional e dos sistemas de avaliação;

- c) Tradição desenvolvimentista: dá prioridade ao ensino sensibilizado em que o pressuposto principal é o desenvolvimento do estudante que determina o que deve ser ensinado, tanto aos alunos, como aos professores que vão ensinar;
- d) Tradição de reconstrução social: Prioriza a reflexão sobre os contextos institucionais, sociais e políticos, bem como a valorização das atuações em sala de aula definindo a escolaridade e a formação de professores como elementos cruciais do movimento para uma sociedade mais justa e humana.
- e) Tradição genérica: Defende a reflexão geral, sem especificar as metas, os propósitos desejados ou ao conteúdo da reflexão.

De acordo com Contreras (2002), o que se observa dentro destas perspectivas reflexivas é uma caracterização de racionalidade técnica, ou seja, o uso do termo perdeu o sentido utilizado por Schön. Em muitas reformas educacionais o termo reflexão é utilizado para camuflar a mentalidade da racionalidade técnica. O fato é que, quando os professores são formados nesta ilusão, ganham a característica de serem reflexivos, mas não conseguem ter uma capacidade maior de decisão e intervenção. Isto é perigoso porque as instituições administrativas educacionais e outras esferas sociais podem culpar os professores pelos problemas estruturais do ensino.

Contreras (2002, p.137), resume a perspectiva reflexiva defendida por Schön e Stenhouse:

- 1) Os professores reflexivos elaboram compreensões específicas dos casos problemáticos no próprio processo de atuação;
- 2) Trata-se de um processo que inclui: a) a deliberação sobre o sentido e valor educativo das situações; b) a meditação sobre as finalidades; c) a realização de ações práticas consistentes com as finalidades e valores educativos; e d) a valorização argumentada de processos e consequências.
- 3) Isto conduz ao desenvolvimento de qualidades profissionais que supõem: a) a construção de um conhecimento profissional específico; e b) a capacidade para desenvolver-se nessas situações de conflito e incertezas que constituem uma parte importante do exercício de sua profissão.
- 4) Em termos aristotélicos, a perspectiva reflexiva, aplicada aos docentes, refere-se à capacidade de deliberação moral sobre o ensino, ou seja, a busca de práticas concretas para cada caso que seja consistente com as pretensões educacionais.

Desta forma, Contreras alerta que a proposta dos autores não é uma mera presença de um pensamento que se opõe ao senso comum, mas, ao contrário, uma ideia mais complexa. O que infelizmente tornou um uso desordenado. Ainda, segundo Smyth (1992, apud Contreras 2002, p. 137), a perspectiva reflexiva por ser bem aceita no meio acadêmico é utilizada para legitimar por meio de uma nova roupagem a ideologia da racionalidade técnica pelas reformas educacionais.

Contreras (2002, p. 139-142) apresenta os limites da teoria reflexiva de Schön, que sintetizamos nos seguintes pontos:

- a) Pressupostos de profissionais que se envolvem individualmente em práticas reflexivas, que têm como objetivo apenas modificar de forma imediata o que está em suas mãos. Este é um enfoque reducionista, que limita o que deveria ser a prática reflexiva.
- b) Schön, na sua teoria reflexiva, não desvaloriza o componente institucional da prática profissional, enfatizando, por exemplo, a reflexão dos professores sobre os entraves burocráticos da escola. Entretanto, para Liston e Zeichner, sua teoria não dá conta de proporcionar uma análise que auxilie a compreender em que perspectivas esta reflexão, que questiona os limites institucionais, podem levar a uma rediscussão das concepções básicas da análise e valorização que os profissionais possuem.
- c) Para Zeichner e Liston, Schön não estava tentando propor um processo para a mudança institucional e social, mas queria apenas centrar-se nas práticas individuais.
- d) Para Zeichner e Liston, a teoria de profissional reflexivo de Schön não dá uma resposta para uma prática educativa que clama por ideais de igualdade e justiça;
- e) Na função de professor mediador frente aos problemas sociais, corre-se o risco dos professores assumirem os valores que a instituição assume e pela forma com que vêm definidas suas tarefas profissionais.

Da mesma forma que a concepção reflexiva de Schön apresenta alguns limites, a concepção de Stenhouse também apresenta:

- a) A ausência de uma compreensão crítica do social no qual desenvolve a ação educativa, pois o papel do professor é de um pesquisador individual que analisa suas próprias pesquisas e tenta resolver os problemas restritos a sua prática, deixando de lado o contexto social do qual a escola faz parte;
- b) A força da liberação e da autonomia dos professores está na pesquisa, pois a partir da tentativa de mudar a sua prática através da pesquisa em sala de aula é que o professor conseguirá se libertar da burocracia de seus superiores e até mesmo construir uma crítica institucional.

De forma geral, o modelo de professor reflexivo é limitado quando o professor tenta entender as limitações da instituição, onde realiza sua prática. Além das razões apontadas anteriormente, temos a orientação dos trabalhos dos professores como: “presentismo”, que é a concentração de metodologias de ensino-aprendizagem, visando obter resultados em curto prazo; o “conservadorismo” que é a resistência em debater sobre suas práticas educativas; e o “individualismo”, que é a rejeição em interagir com os colegas e receios de julgamentos e críticas que possam surgir.

Outros fatores são o valor do serviço público concedido ao ensino e a mentalidade tecnocrática de funcionamento da escola presentes na instituição escolar. O valor do serviço público entende a prática profissional do professor como um servidor do Estado (funcionário), pelo que se espera que realizem seu trabalho de acordo com as metas estabelecidas pela instituição escolar, a partir da regulamentação e controle administrativo. A mentalidade tecnocrática caracteriza-se pela burocracia que estabelece a regulação de ensino, de suas metas e procedimentos, legitimada em modos de racionalização impostas por critérios científicos.

De acordo com Contreras (2002), estes valores originam conflitos internos, pois nem sempre os interesses do Estado coincidem com a comunidade e estudantes de determinada realidade escolar. Por outro lado, as instituições cobram dos professores soluções para problemas sociais graves, isto faz com que aumente nos professores o

sentimento de responsabilização e culpa o que, no fundo, são problemas que vão além da sala de aula. A mentalidade tecnocrática é contraditória, pois, por um lado, se formulam as finalidades educativas como formas de preparação para uma vida adulta com capacidade crítica e plural; por outro lado, a docência e a vida na escola se estruturam negando essas pretensões.

O processo de burocratização leva os professores ao isolamento em classe, no qual se sentem mais seguros dos riscos de, no fundo, reconhecer os problemas de incapacidade, de poder atuar sob o sistema técnico legitimado ou de poder alcançar os padrões que se valorizam publicamente. Inclusive, na sala de aula, encontram a única maneira de poder realizar práticas alternativas. Isto reduz a visão de ensino ao espaço da sala de aula.

A conclusão a que se chega é que a tentativa dos professores em defender uma posição mais vantajosa com o objetivo de resistir às pressões que a responsabilização e o controle exercem sobre eles acabam reduzindo suas preocupações e, portanto, suas perspectivas de análise aos problemas internos da sala de aula. Assim, a mera reflexão sobre o trabalho do professor em classe pode ser insuficiente para elaborar uma compreensão teórica sobre aqueles elementos que condicionam sua prática profissional (CONTRERAS, 2002, p. 154-156).

Uma alternativa a esta problemática é o modelo do professor como intelectual crítico²⁵ (GIROUX, 1997), fundamentado em uma teoria crítica que permite aos professores desenvolverem uma crítica às condições sociais, econômicas e culturais, nas quais estão inseridos com a finalidade de superar a alienação e buscar uma construção da emancipação e da autonomia profissional.

Para que tal projeto se consolide é necessário transcender os limites da reflexão e colocar em questão as estruturas, das quais os professores fazem parte. Isto significa transcender os limites em que seu trabalho está inscrito, superando uma visão meramente técnica previamente fixada pela instituição. Esta perspectiva requer que os professores problematizem as visões sobre a prática de ensino, suas questões de contexto que já se encontram adaptadas, tanto sobre o papel dos professores como

²⁵ Desenvolveremos melhor sobre esta categoria na seção que escrevemos sobre a visão de Giroux de professor, currículo, escola e universidade.

sobre a função que cumpre a educação escolar. Uma proposta desta natureza faria com que cada docente passasse a analisar o sentido político, cultural e econômico que a escola cumpre, percebendo as suas influências na sua prática de ensino. Desvelando os padrões ideológicos sob os quais sustenta tal estrutura educacional, e ainda discutir qual o sentido político que irá reorientar a ação (CONTRERAS, 2002).

De acordo com vários autores (SMYTH, 1987; GIROUX, 1997; CONTRERAS, 2002), o modo de desenvolver uma perspectiva crítica sobre ensino e suas concepções sociais nas quais se sustenta, é começar a perguntar-se sobre o que deveria ser um ensino valioso e por que, e não se limitar apenas às perguntas sobre o como. Isto justifica a nossa principal questão de pesquisa: Por que uma abordagem Histórico-Sociocultural poderá contribuir para articulação das duas culturas no processo formativo de professores? Especificamente, como, a partir do estudo do trabalho de Joule, poderemos ter uma visão mais crítica do processo de formação de professores universitários de Física na articulação das duas culturas?

A natureza de um projeto crítico de formação de professores exige que os mesmos “intelectualizem” seu trabalho; isto é, questionem criticamente suas concepções de sociedade, da escola e do ensino, o que significa não só assumirem a responsabilidade pela construção e utilização do conhecimento teórico, mas também, terem o compromisso de transformação do pensamento e das práticas dominantes. Um dos principais pensadores de uma teoria social crítica nos processos educativos que corrobora com esta visão de Contreras, é Henry Giroux.

4.3.1 Henry Giroux: currículo, escola, universidade como esfera pública e a formação de professores intelectuais críticos transformadores

Giroux é um educador progressista que, antes de se tornar professor universitário, foi professor de História do Ensino Médio. Sua obra fundamenta-se em vários pensadores, dos quais podemos destacar: Antônio Gramsci, Paulo Freire e alguns pensadores da escola de Frankfurt. É um dos principais educadores na vertente crítica social da atualidade. Os três pontos principais de sua teoria de política cultural pedagógica crítica são: Os professores como intelectuais transformadores que atuam

na esfera pública; a escola como local público de contestação e produção de conhecimento social para a emancipação do indivíduo e crítica aos currículos.

Como definimos e assumimos neste trabalho, Giroux (1997), na mesma linha de Paulo Freire, concebe cultura como processo social. Para ambos,

Cultura é a representação de experiências vividas, artefatos materiais e práticas forjadas dentro das relações desiguais e dialéticas que os diferentes grupos estabelecem em uma determinada sociedade em um momento histórico particular. A cultura é uma forma de produção cujos processos estão intimamente ligados com a estruturação de diferentes formações sociais, particularmente aquelas relacionadas com gênero, raça e classe. Também é uma forma de produção que ajuda os agentes humanos, através de seu uso de linguagem e outros recursos materiais, a transformar a sociedade. Nesse caso, a cultura está intimamente ligada à dinâmica de poder e produz assimetrias na capacidade dos indivíduos e grupos de definirem e realizarem suas metas (GIROUX, 1997, p. 153).

Giroux (1997, p.162) propõe a ideia de professor como intelectual transformador como forma de repensar e reestruturar a natureza da atividade docente. O professor intelectual não é no sentido tradicional de um sujeito detentor de saberes científicos isolados, que se mantém ausente da esfera pública, mas um sujeito capaz de se utilizar dos conhecimentos acadêmicos para atuar na esfera pública de forma crítica. Segundo o autor, a categoria intelectual é útil de diversas maneiras; primeiramente, por oferecer uma sustentação teórica para analisar a atividade do professor como forma de trabalho intelectual em contraste com sua definição em termos da racionalidade técnico-instrumental. Segundo, por esclarecer o papel dos docentes na legitimação dos vários interesses políticos, econômicos e sociais por meio da pedagogia por eles aceita e utilizada.

No entanto, o autor enfatiza que é importante não considerar apenas os professores como intelectuais, mas também contextualizar em termos políticos e normativos as funções sociais concretas desempenhadas pelos mesmos. Desta forma, podemos ser mais específicos acerca das diferentes relações que o professor tem tanto com seu trabalho como com a sociedade. Um ponto de partida para questionar a função social dos professores intelectuais é visualizar as escolas como locais econômicos, culturais e sociais que estão inextricavelmente atrelados às questões de controle. Além disso, em uma perspectiva mais ampla é ver-se e ser visto em termos

dos interesses políticos e ideológicos que estruturam a natureza do discurso e a prática de ensino. Assim, o autor conclui que, nesta perspectiva, os professores deveriam se tornar intelectuais transformadores se quiserem educar os estudantes para serem cidadãos ativos e críticos.

Ainda, essencial para o professor transformador “é a necessidade de tornar o pedagógico mais político e o político mais pedagógico.” (Giroux, p. 163). Tornar o pedagógico mais político é inserir a escola diretamente na esfera política com um esforço contínuo de se buscar um significado e uma luta em torno das relações de poder. Nesta perspectiva, a reflexão e ação críticas passam a ser parte fundamental no processo de facilitação do entendimento dos estudantes em acreditar fielmente na superação das injustiças sociais, econômicas, políticas e humanizarem ainda mais, como parte desta luta.

Tornar o político mais pedagógico, significa utilizar as formas pedagógicas que incorporem interesses políticos, econômicos e sociais que tenham objetivo emancipador. Isto é, utilizar as formas de pedagogias que tratem os estudantes como agentes críticos; tornar o conhecimento problemático; utilizar o diálogo crítico e afirmativo e argumentar em prol de um mundo qualitativamente melhor para todas as pessoas. A ideia é dar aos estudantes voz ativa em suas experiências de aprendizagem. O ponto de partida destes intelectuais não é o estudante isolado, e sim indivíduos e grupos em seus diversos ambientes culturais, raciais, históricos, de classe e gênero, juntamente com a particularidade de seus diversos problemas, esperanças e sonhos.

Os intelectuais transformadores precisam desenvolver um discurso que una a linguagem da crítica com a linguagem da possibilidade, no sentido de se manifestarem contra as injustiças sociais, econômicas e políticas dentro e fora da escola. Ao mesmo tempo eles devem procurar criar condições que deem aos estudantes a oportunidade de tornarem-se cidadãos que tenham o conhecimento e coragem para lutar a fim de que o desespero não seja convincente e a esperança seja viável (GIROUX, 1997, p. 163).

Isso explica em parte o porquê de estarmos defendendo aqui uma proposta de diálogo entre as duas culturas. Para um professor de Ciências ser um intelectual

transformador, um caminho alternativo é a articulação da cultura científica com a cultura humanística, pois é necessário o diálogo com outros conhecimentos diferentes daqueles de suas áreas de formação. Por isto acreditamos que, antes de refletirmos em metodologias de ensino que levem em consideração as duas culturas, na perspectiva reflexiva crítica, é necessário, pelo menos inicialmente, refletirmos sobre o que vem a ser um currículo transformador no sentido de superação da dicotomia das duas culturas, para que nos dê base para analisarmos a visão dos professores universitários sobre o processo de elaboração dos currículos dos cursos de licenciatura em Física.

Giroux (1997) não tem interesse em desenvolver uma argumentação de currículo baseada na racionalidade técnica e na concepção de professor reflexivo. A preocupação fundamental do autor é o desenvolvimento de um estudo acadêmico de currículo que sustente a construção de uma política cultural crítica. Para alcançar este propósito Giroux (1997) faz a seguinte questão: Que abordagem programática do ensino acadêmico seria desejável? Tal questionamento é importante para que os educadores considerem o que deve ser levado em conta na formulação das práticas de ensino e organização que poderiam opor-se ao discurso e ideologia dominante. Na visão de Giroux (1997, p. 166), a abordagem programática seria aquela que compreendesse a escolarização:

(1) Como uma entre muitas formas, (2) como local cultural e político que incorpora um projeto de transformação e regulação, e (3) como uma forma produtiva que constrói e define a subjetividade humana através do repertório de ideologias e práticas que incorpora.

Ainda de acordo com Giroux (1997), esta formulação requer uma forma de estudo curricular que enfatize o histórico e o cultural em relação aos materiais e práticas educativas. Ele enumera algumas áreas, que seriam essenciais para este estudo, como: a Linguagem, Culturas Populares e Subordinadas, Teorização da Formação Social, História e Pedagogia²⁶. Tais áreas teriam como foco não uma proposta baseada na racionalidade técnico-instrumental de nomear, instrumentalizar e descrever o mundo, mas também introduzir situações sociais dialéticas entre o particular e o global. Esta

²⁶ Caracterizaremos melhor sobre esta questão em outra seção deste capítulo.

visão social poderá permitir aos educadores compreenderem o porquê das normas e regras acadêmicas estarem instituídas de uma forma e não de outra.

Assim, Giroux (1997) encara a teoria curricular como forma de teoria social. Nesta ótica, o currículo é visto como um discurso teórico que faz do político um ato pedagógico. O currículo representa uma disputa política com concepções convergentes e divergentes, formas de regulação moral com características e versões do passado e futuro que são debatidas nas diversas instâncias de ensino. Assim, um professor intelectual transformador não ignora a prática política do currículo, mas combate uma política curricular oculta ou inconsciente que pode provocar, por exemplo, a alienação dos sujeitos no processo educativo. Equivalentemente importante é a noção relacionada de que o discurso curricular, com todas as suas variações, é caracterizado por uma ideologia que está diretamente relacionada às questões de poder, que estruturam as relações sociais em torno de considerações de gênero, raça e classe.

O valor de uma teoria e prática curriculares tem como meta que os estudantes as entendam como forma de política cultural, isto é, como uma expressão da teoria social radical. Isto não quer dizer que política curricular deva seguir uma doutrina específica como o marxismo, mas uma ligação entre teoria e prática curriculares com os aspectos mais profundos de emancipação, como meta de lutar contra todas as formas de dominação subjetiva e objetiva. A meta dos estudos curriculares é formar os estudantes para oferecerem liderança moral e intelectual. Neste sentido, o discurso curricular assumiria tanto a linguagem da análise crítica quanto a linguagem da possibilidade. O discurso da análise crítica para Giroux (1997, p.170) relacionaria o conhecimento e o poder de três maneiras,

Primeiro, ele questionaria todas as pretensões de conhecimento pelos interesses que estruturam tanto as questões que são levantadas quanto as questões que são excluídas. Segundo, as pretensões de conhecimento em torno de todos os aspectos da escolarização e da sociedade seriam analisadas como parte de processos culturais mais amplos intimamente ligados com a produção e legitimação de formações sociais de classe, raça, gênero e idade enquanto reproduzidas dentro de relações assimétricas de poder. Terceiro, o conhecimento deveria ser visto como parte de um processo de aprendizagem coletivo intimamente relacionado com a dinâmica de luta e contestação, tanto dentro como fora da universidade.

Estas pretensões não são estáticas e fechadas, pois fazem parte de uma luta ampla com formas diferentes de representação, formas conflitantes de experiência cultural e visões diversas do futuro. No que diz respeito ao discurso da possibilidade, para Giroux (1997, p.171) o currículo:

- 1) Seria como uma introdução, preparação e legitimação de formas da vida social;
- 2) Corroboraria para ensinar os estudantes a apropriarem-se criticamente dos códigos e vocabulário de diferentes experiências, de modo a lhes fornecer as habilidades que irão necessitar para definir, e não simplesmente servir o mundo moderno;
- 3) Estaria ligado a formas de autofortalecimento social que envolvesse a luta para desenvolver formas ativas de vida comunitária em torno dos princípios de igualdade e democracia;

De acordo com o autor, esses pontos seriam de um currículo que ajudaria o trabalho pedagógico dentro e fora da escola com um discurso que pode funcionar para trazer esperanças reais, criar alianças democráticas e apontar para novas formas de vida social que pareçam possíveis.

Um exemplo da visão curricular dentro e fora da escola é a relação universidade-escola. Cada uma destas instituições possui particularidades históricas e sociais que lhes dão significado, que caracterizam a maneira de olharem para o currículo. Um ponto importante a considerar é como estas duas instituições podem dialogar dentro de um projeto comum informado pelas linguagens da crítica e possibilidade. Isto exige repensar quem somos enquanto educadores; neste caso, os estudos curriculares estariam diretamente relacionados a considerar os educadores como intelectuais transformadores (GIROUX, 1997).

Uma interpretação semelhante de Giroux desse processo pode ser feita de uma análise a partir de Fleck. Os professores universitários juntamente com os professores da escola básica teriam uma relação colaborativa-crítica, ou seja, os professores universitários não imporiam os seus conhecimentos aos professores da educação básica, mas utilizariam do seu conhecimento teórico-prático da academia para interagir

com os mesmos, tendo como mediação contradições sociais, que se articula com complicações manifestadas em processos educativos. Por sua vez, estes processos precisam ser planejados de modo que essas complicações emerjam e que o seu enfrentamento possa contribuir para a busca de respostas às perguntas originadas da emergência de novos problemas.

A mediação por contradições sociais no enfrentamento de problemas educacionais dos professores da educação básica e os professores universitários abre um leque para as diversas abordagens educacionais com um pluralismo teórico metodológico amplo. No caso da presente tese, optamos pela perspectiva transformadora de educação em que a problematização é foco para que ocorra a transformação da realidade educacional.

Diante disso, quando ocorrer a tomada de consciência dos problemas educacionais vividos pelos professores da educação básica e o fato de não conseguir encontrar a solução dos mesmos, poderia ocorrer por meio da circulação intercoletiva de ideias e práticas, uma interação com os professores universitários, cuja finalidade seria problematizar por meio de pesquisas, possíveis alternativas que possam colaborar para a solução do problema e a emergência de novos problemas.

Por outro lado, a interação dos professores universitários com os da educação básica poderia permitir aos professores universitários a conscientização dos problemas da educação básica e até mesmo questionarem a sua prática pedagógica enquanto professores formadores. Isto seria a intensa busca do professor universitário: a transformação por meio da atuação na esfera pública, gerando novos conhecimentos e a instauração de novos estilos de pensamento. Assim, Giroux (1997, p. 172) declara:

Os educadores trabalhariam em conjunto com grupos e movimentos sociais específicos em torno de diversas preocupações emancipadoras. Eles ajudariam tais grupos a desenvolverem os instrumentos de liderança moral e intelectual, e, como tal, sua função pedagógica estaria ligada não apenas à produção de ideias, mas também a formas de luta coletiva em torno de preocupações econômicas, sociais e políticas variadas.

Giroux pensa em um projeto de estudo curricular problematizando a separação histórica e fragmentária do currículo das universidades da América do Norte. Esta fragmentação dificulta uma análise crítica cultural combinada, segundo o autor:

O desenvolvimento histórico de disciplinas isoladas alojadas em departamentos segregados produziu uma ideologia legitimadora que, com efeito, suprime o pensamento crítico. Racionalidade como proteção da integridade de disciplinas específicas, a departamentalização da pesquisa tem contribuído para a reprodução da cultura dominante ao isolar seus críticos um dos outros. Sob a bandeira da liberdade acadêmica dos especialistas para dirigirem sua própria atividade, os especialistas ligam-se em deformações discursivas que geralmente circunscrevem a natureza de suas investigações (GIROUX, 1997, p.179).

O interessante é que Giroux (1997) critica a própria falta de comunicação entre as disciplinas das humanidades e sociais como, por exemplo, a Antropologia, Sociologia, História, Estudos Literários que investigam questões culturais. Um exemplo citado é o Estudo Literário tradicional que coloca barreiras entre o estudo de uma sociedade no estudo de um romance, da mesma forma, os sociólogos utilizam da literatura de tal forma que aliena os críticos literários tradicionais. No caso do ensino de Ciências, esta barreira parece mais intransponível ainda, principalmente, pelas dificuldades dos professores das disciplinas específicas (Mecânica, Eletromagnetismo, Genética, Química Orgânica etc.) em estudar as teorias pedagógicas. Um dos obstáculos é a falta de comunicação entre os departamentos e a intensa especialização em uma área, que afasta os intelectuais das outras esferas que possibilitam e fortalecem os mecanismos de reprodução social e cultural.

Quando Giroux fala da falta de comunicação entre as disciplinas humanísticas e as sociais, o foco é na crescente normalização de atributos de cada uma destas disciplinas, ignorando a prática social e a interação de culturas de cientistas sociais e humanistas²⁷. A crítica principal consiste em argumentar que as ciências humanas tentam frequentemente copiar a exclusão que as ciências naturais fazem em seus estudos, em desprezar a base social e histórica de suas teorias; o que nenhuma disciplina teve êxito em desprezar esta “base”.

²⁷ Giroux separa Ciências Sociais das Ciências Humanas. Daqui para frente, consideraremos as Ciências Sociais fazendo parte das Ciências Humanas.

A estrutura disciplinar do estudo da Literatura, História, Sociologia tem por objetivo produzir especialistas. Isto tem como consequência um afastamento destes especialistas da esfera pública, pois as questões propostas pela especialização do conhecimento não dão conta de discutir as controvérsias próprias de cada cultura, por tentar recuperar as questões que estavam sendo perdidas pela disciplinarização de alguns movimentos interdisciplinares que começaram a surgir, como os estudos femininos e americanos. No entanto, encontraram resistência por problemas na sua forma de apresentação, pois, na medida em que eram bem aceitos, deixavam de serem críticos, já que tais movimentos eram contra a disciplinarização e a sua seriedade era questionada, já que seus profissionais eram considerados diletantes e estavam se envolvendo em um verdadeiro modismo (GIROUX, 1997, p.183).

Para Giroux (1997), na perspectiva disciplinar, a visão política e social é pouco importante para o trabalho do professor. Falar e pensar sobre questões políticas e sociais é visto como meramente excêntrico ao estudo disciplinar da cultura. Para Giroux não considerar estes elementos é um fracasso no tipo de pedagogia que as disciplinas tradicionais instituem e instituíram. Esta análise é bem condizente com a prática docente da maioria dos professores universitários, tanto das humanidades como das ciências naturais; principalmente aqueles que não têm uma formação pedagógica. No caso das ciências naturais, que é o objeto de discussão do presente trabalho, entendemos que os elementos sociais e históricos são um possível caminho para articular a cultura humanística e científica no processo formativo de professores universitários de ciências naturais na busca da superação dos problemas apontados por Giroux²⁸.

Outro problema da disciplinarização é que, apesar de as disciplinas humanísticas possibilitarem uma variedade de atividades mais amplas do que as disciplinas das ciências naturais, embora, com uma nova roupagem, acabam replicando a visão hierárquica tradicional de cultura. Um exemplo disto seria o fato de os escritos de Shakespeare serem considerados como o “melhor” da cultura ocidental. As ciências

²⁸ Desenvolveremos esta questão com maiores detalhes em outra seção

humanas, nos seus estudos culturais, acabam propagando a ideia de cultura já formada e não em transformação (GIROUX, p. 184-186)

Segundo Giroux (1997) é exatamente contra esta visão simbólica da cultura que os estudos culturais deveriam lutar. Assim, a proposta é que, ao invés dos estudos culturais estabelecerem hierarquização de culturas, seria necessário entender, investigar e ensinar a noção de cultura num sentido real, como inacabada.

Essa visão tem a possibilidade de investigar a cultura como um conjunto de atividades que é vivido e desenvolvido dentro das relações desiguais de poder que não pode ser imobilizado na imagem de um reservatório. Contribui para estimular um questionamento de práticas educacionais que ampliam as relações de domínio. Ainda, “os estudos culturais podem se recusar a concordar que a literatura e qualquer outro objeto cultural são distintos da política”, e podem assim reconsiderar os acessórios ideológicos e políticos de um texto ou qualquer conjunto de texto” (GIROUX, 1997, p. 185). Apesar das diferenças epistemológicas da Literatura com a Física, podemos considerar a disciplina de Física como um objeto cultural que, infelizmente, na divulgação científica, no ensino básico, na maioria dos processos formativos de professores e no livro didático não levam em consideração os aspectos políticos e sociais dos seus textos. Desta forma, Giroux enfatiza que os estudos culturais deveriam fazer um movimento de distanciamento de uma concepção descontextualizada de práticas disciplinares em favor de uma “concepção de práxis humana”:

Dados os mecanismos disciplinares em funcionamento na estrutura das universidades ocidentais, tal práxis é necessariamente contradisciplinar no sentido de que resiste à noção de que o estudo da cultura é o acúmulo de conhecimento sobre a mesma. Em nossa visão, o estudo correto da cultura está “intrinsecamente ligado com *aquilo que tem que ser feito*” nas sociedades repletas de opressão. A pré-condição para tal ação é a resistência crítica às práticas prevalentes. Contudo, a resistência não será eficaz se for aleatória e isolada; os intelectuais devem desempenhar o papel crucial na mobilização de tal resistência em uma práxis que tenha impacto político (GIROUX, 1997, p.186).

Assim, para Giroux (1997), em um movimento contradisciplinar é essencial a participação dos professores, pois torna-se difícil uma reforma curricular sem uma reflexão e prática pedagógica daqueles que ensinam e elaboram o currículo como os

docentes universitários. No entanto, é necessário que estes educadores restituam seu papel de intelectuais transformadores, deformados pela disciplinarização e separação dos departamentos das universidades. A proposta dos estudos culturais está diretamente atrelada à formação do intelectual transformador.

Fundamentado em Gramsci, no conceito de intelectual orgânico radical, Giroux propõe como meta do estudo cultural a criação do intelectual transformador, que é distinto dos intelectuais orgânicos radicais. A noção de orgânico não pode ser entendida somente como os intelectuais que têm como referência a classe trabalhadora, único agente revolucionário. A ideia é mais ampla; nesta perspectiva, os professores intelectuais transformadores podem fornecer a liderança moral, política e pedagógica frente aos grupos opressivos. Os estudos culturais postulam a necessidade dos intelectuais transformadores em estabelecer novas formas de relações políticas dentro e fora da universidade, por exemplo, engajar em organizações coletivas para o fortalecimento de organizações de oposição.

Nesta direção, as disciplinas humanísticas, como refletimos anteriormente, caracterizadas apenas como práticas disciplinares, acabam por fazer somente pesquisa disciplinar, isto é, acumular e arquivar descrições dos fenômenos culturais, afastada da relação entre cultura e sociedade. Mas, se revermos nossa atividade como produção (em vez de descrição) de práticas sociais, então o que fizermos em nossas salas de aulas poderá ser facilmente estendido às esferas públicas. Os intelectuais críticos transformadores não podem ficar presos a disseminarem seus trabalhos somente aos seus pares, mas escreverem revisões e livros para o público em geral, que exprima uma linguagem da possibilidade com potencial para permitir a transformação social (GIROUX, 1997, p.189).

Giroux defende que somente uma práxis contradisciplinar desenvolvida por intelectuais que resistam à formação disciplinar terá chance de gerar práticas sociais de emancipação. No entanto, vem a pergunta: Onde podemos desenvolver tal práxis?

O fato é que, na atualidade, as universidades estão ligadas a atividades que omitem as preocupações críticas dos intelectuais dispostos a lutar por esferas públicas de oposição. Tais interesses podem ser desfeitos e repensados a favor de práticas mais

radicais somente através de esforços coletivos dos intelectuais transformadores. Um caminho seria o intelectual transformador poder desenvolver uma práxis coletiva contradisciplinar, dentro da universidade, que tenha impacto político fora dela. Giroux (1997) propõe ainda a criação dos institutos culturais que possam constituir uma esfera pública de oposição para combater as esferas públicas hegemônicas, que promovem as relações de desigualdade social.

Os programas de formação de professores praticamente não estimulam os futuros professores a assumirem um papel de intelectual para exercerem uma prática educativa com uma visão de emancipação. Giroux (1997, p. 198) define as instituições de formação de professores no contexto americano como instituições de serviço que são autorizadas pelo estado a seguirem uma formação técnico-instrumental.

Os críticos da educação não conseguiram fazer um projeto político que tentasse relacionar a escolarização, incluindo a formação de professores, a uma luta social. Usaram a linguagem da crítica, autorreflexão e união de teoria e prática, mas o seu discurso é excessivamente pessimista, tendendo permanecer na lógica da reprodução social.

Giroux entende que o termo “resistência” tornou-se um jargão dentro da literatura educacional e, muitas vezes, reflete a ideia de espaço pessoal com o objetivo de subverter o que está imposto, que infelizmente, às vezes, reflete práticas sociais desorganizadas, não políticas e não teóricas. De acordo com Giroux o processo de resistência carece de um projeto político explícito que busque a transformação. Diante disto, Giroux prefere utilizar o termo “contra-hegemonia” a “resistência”, porque especifica melhor o seu projeto político cultural como a criação de esferas públicas alternativas:

A contra-hegemonia, por sua vez, implica uma compreensão mais política, teórica e crítica tanto da natureza da dominação quanto do tipo de oposição ativa que engendra. Ainda mais importante, o conceito não apenas afirma a lógica da crítica como também refere-se à criação de novas relações sociais e espaços públicos que incorporam formas alternativas de luta e experiência. Como domínio reflexivo da ação política, a contra-hegemonia transfere a natureza característica da luta do terreno da crítica para o terreno coletivamente construído da esfera contrapública (GIROUX, 1997, p.199).

Essa distinção para Giroux é importante porque explicita o discurso crítico da “resistência” na formação de professores que, em alguns sentidos, não consegue estabelecer um projeto político crítico coeso de formação docente. Parte deste problema se deve a ausência de uma teoria social que fundamente a natureza política, cultural e ideológica da formação docente. Isto tem consequências graves quando estes docentes vão atuar na educação básica, porque não têm uma estrutura teórica básica para compreenderem criticamente o sentido político e social dos processos de ensino e de aprendizagem.

A teoria social crítica proposta por Giroux não cai em um reducionismo de relacionar o processo de escolarização e de formação de professores somente à esfera econômica, mas também, a categorias como cultura, ideologia e subjetividade, que podem desvendar as complexas relações entre as produções econômicas, culturais e ideológicas. De acordo com Giroux, uma pedagogia crítica radical deve apropriar-se de forma crítica em outras vertentes (teoria do discurso, teoria de recepção, pós-estruturalismo, hermenêutica da desconstrução e diversas outras escolas de pesquisa) que defendem estas novas diretrizes sociais; e, também, exigirem que expliquem suas tendências, muitas vezes apolíticas, não históricas e excessivamente estruturalistas. Giroux alerta que o discurso por si só destas correntes de pensamento não são suficientes para ocasionar mudança social. Tem que ter projeto teórico-prático que aborde as questões de poder e política no processo formativo de professores com o comprometimento da transformação, aliando conhecimento e análise crítica num clamor para transformar a realidade dos interesses do coletivo democrático.

Nesse contexto, é necessária uma formação decente que tenha uma vertente de política cultural, enfatizando a importância do social, cultural, político e econômico, que são as categorias básicas da escolarização contemporânea. Este projeto tem como meta a apropriação da teoria social radical por parte dos professores para que sejam capazes de questionar e desconstruir práticas hegemônicas instrumentais. Isto define um perfil de formação docente de considerar os professores como intelectuais que criem e atuem em espaços públicos para que, através da dialética e do aprendizado de habilidades necessárias, possam atingir a liberdade individual e a justiça social (GIROUX, 1997, p. 204).

Essa forma de conceber a formação docente contribui para uma luta contra a visão da profissão docente como técnica, nos quais os professores são funcionários pedagógicos, incapazes de tomar decisões políticas ou curriculares. Outro ponto importante é a superação do exílio dos intelectuais em suas torres de marfim da esfera pública. Assim, como a forma de política cultural está centrada na crença de que os professores possam atuar como pedagogos. Neste sentido Giroux (1997, p. 204), esclarece:

A busca de uma pedagogia radical para a educação de professores tem como sua principal tarefa a criação de modelos teóricos que forneçam um discurso crítico para analisarem-se as escolas como locais socialmente construídos de contestação, envolvidos de maneira ativa na produção de experiências vividas. Inerente a esta abordagem encontra-se uma problemática caracterizada pela necessidade de definir-se como a prática pedagógica representa uma política particular de experiência, ou, em termos mais exatos, uma área cultural na qual o conhecimento, o discurso e o poder se encontram, de forma a produzir práticas historicamente específicas de regulação social e moral.

Para Giroux (1997), a formação de educadores radicais deve desenvolver papéis alternativos para professores dentro e fora das escolas, pois mostra a necessidade dos professores de ligarem a luta política dentro das escolas a questões sociais mais amplas.

Pelo exposto, o posicionamento de Giroux sobre a formação do professor como intelectual crítico do currículo, da escola, da universidade, como esfera pública, mostra o seu projeto político pedagógico de política cultural. Tal projeto assume um compromisso com a linguagem da crítica e da possibilidade, na intensa busca pela transformação social, ancorado em modelo de uma sociedade mais democrática e justa, guiados pelo princípio de solidariedade e esperança.

Contreras (2002), apesar de apoiar a teoria de Giroux declara que este desenvolvimento teórico também apresenta seus problemas, tais como:

- Giroux mostra qual deveria ser a situação dos professores enquanto intelectuais, mas não como os professores que estão presos aos limites de suas salas de aula poderiam chegar a construir semelhante posição crítica em relação à sua profissão.

- Por Giroux passar uma ideia de que a única fórmula pela qual os professores chegariam a assumir um compromisso intelectual crítico e transformador seria por meio da leitura de sua obra;

- De Giroux parecer assumir que a mera leitura e iluminação de sua teoria, são elementos suficientes para que os docentes passem a se transformar em intelectuais críticos;

- Giroux representa o conteúdo de nova prática profissional para os professores, mas não expressa possíveis articulações com as experiências concretas dos docentes;

- Possui uma orientação para a prática de ensino, mas sem a expressão daqueles elementos que nos permitam intuir a transição para tal orientação.

Concordamos, parcialmente, com Contreras, primeiro porque Giroux está preocupado em responder o “porquê” de termos um professor intelectual crítico transformador e um currículo de escola em uma vertente social transformadora e não o “como”. Entretanto, no desenvolvimento de sua argumentação, ele fornece alguns elementos para se buscar este processo de transformação, como a proposição de um currículo contradisciplinar e ainda um programa de estudo curricular que enfatize o histórico e o cultural em relação aos materiais e práticas educativas. Ele elenca algumas áreas essenciais para este estudo, como a linguagem, culturas populares e subordinadas, teorização da formação social, História e Pedagogia. Como bem afirma Giroux, acreditamos, ao contrário de Contreras, que estes elementos podem expressar possibilidades para uma prática de ensino transformadora.

A afirmação de Contreras²⁹ (2002) de que Giroux assume, que apenas a leitura de sua obra é suficiente para os professores se tornarem intelectuais críticos, é equivocada, pois como vimos, Giroux (1997) alerta que para desenvolver um processo de transformação é necessário “beber” em outros campos teóricos, como as teorias sociais do discurso, o estruturalismo etc., criticar estas linhas teóricas, bem como apropriar-se delas para a transformação do processo educativo.

²⁹ Acreditamos que Contreras tem esta interpretação de Giroux pelo fato de em seu livro citar apenas cinco artigos de Giroux dos anos 80 e início dos anos 90. O livro no qual expusemos a teoria de Giroux (1997) é baseado em 16 artigos de Giroux, com algumas modificações das versões originais.

Por fim, concordamos em parte com Contreras, quando ele afirma que Giroux não declara como no processo educacional os professores podem vir a se tornar intelectuais críticos. No entanto, como argumentamos acima, Giroux ao teorizar o “porquê” do professor intelectual crítico, aponta caminhos para o “como”. No entanto, Contreras (2002, p.162) com suas críticas, acredita que o enfoque da reflexão crítica tem elementos que conseguem suprir a ausência dos elementos que nos permitem intuir a transição para uma orientação do como se chegar a um currículo de formação de professores para uma transformação, de acordo com o viés crítico.

Segundo Kemmis (1987 apud CONTRERAS, 2002, p.163-165), diferentemente do modelo de reflexão, existe também a reflexão crítica, que não fica presa somente na meditação das práticas que possam ser feitas pelos docentes sobre suas incertezas, mas tem como característica “uma forma de crítica” que permitiria ao professor analisar e questionar as estruturas institucionais em que trabalham. Nesta perspectiva, a reflexão conseguiria contribuir para o entendimento dos docentes do papel da influência das instituições sobre sua própria prática.

Para o autor, refletir criticamente significa colocar-se no contexto de uma ação, na história da situação, participar de uma atividade social e ter uma determinada postura diante dos problemas. Significa explorar a natureza social e histórica, tanto de nossa relação como atores nas práticas institucionalizadas da educação, quanto da relação entre nosso pensamento e ação educativos. Esta reflexão crítica é concebida como uma atividade pública.

Ao contrário da reflexão concebida em termos da racionalidade prática que não reconhece os contextos da prática docente, a reflexão crítica pretende problematizar as condições sociais e históricas nas quais formaram os nossos modos de entender e valorizar a prática educativa, questionando o caráter político da prática reflexiva (KEMMIS, 1985, p. 146 apud CONTRERAS, 2002, p. 164). Para isso é necessário reconstruir os processos de formação de construção social que acreditava estar certo e estudar as contradições, as estruturas sociais e institucionais que condicionam a prática educativa.

Essa virtude de procurar entender as relações histórico-socioculturais da prática educativa e os interesses é o que move a intensa busca da emancipação pela reflexão

crítica. Este processo tem como consequência o fato de os docentes procurarem uma maneira de transformação da prática pedagógica, mediante sua própria transformação como intelectuais críticos. Isto requer, primeiramente, a tomada de consciência de valores e significados ideológicos implícitos nas atuações de ensino e nas instituições que sustentam, e, em segundo lugar, uma ação transformadora dirigida a eliminar a irracionalidade e as injustiças existentes em tais instituições. Para isso, é preciso pensar em um modelo de formação de professores que desenvolva a consciência de questionamento e de problematização da prática de ensino e das instituições (CONTRERAS, 2002, p. 164-165). Smyth (1987, apud CONTRERAS, 2002, p. 165) propõe que os professores façam os seguintes questionamentos críticos:

- De onde procedem historicamente as ideias que eu incorporo em minha prática de ensino?
- Como cheguei a apropriar-me delas?
- Por que ainda continuo respaldando o meu trabalho nelas?
- A que interesses servem?
- Que relações de poder estão implicadas?

A reflexão crítica direciona uma crítica da inserção de valores sociais dominantes, como forma de tomar consciência de suas origens e efeitos. O fato é que a perspectiva reflexiva crítica deve defender uma orientação para a reflexão, de problematizá-la, de assumir um compromisso político claro, pois não são suficientes as suas contradições geradas frente às instituições escolares. É necessária uma crítica sócio-histórica dos professores e das escolas. A partir desta crítica, pode-se reconstruir o sentido político daquilo que anteriormente aceitávamos como verdadeiro e, agora torna-se problemático. Talvez esta perspectiva nos permita conceber um futuro mais justo e promissor (CONTRERAS, 2002).

Uma questão intrigante é que a reflexão crítica parece necessitar, por parte dos professores, de interesses comuns e desejos de ação transformadora. Entretanto, a proposta feita por Smyth e Kemmis é que o desejo da reflexão crítica conduza para a necessidade de uma ação transformadora como ponto de partida.

Apontamos a fragilidade do modelo de professor reflexivo pela falta de um conteúdo que pudesse ter um programa para uma prática educativa emancipadora, o

que nos remete ao modelo de formação de professores como intelectuais críticos, com objetivo transformador. No entanto, corremos o risco de que este modelo, embora represente claramente um conteúdo, uma orientação, expresse imagens que não consigam tradução prática ou imponham uma visão de mundo baseada em suposta universalidade.

Uma possível saída para essa situação é considerar que todo conhecimento é problemático e parcial. Parcial, no sentido de que é imperfeito inacabado e limitado. Além disso, é parcial também no sentido em que projeta os interesses de uma parte sobre as outras; e por ser partidário e parcial, deve ser problematizado. É esta problematização que permite a crítica e, ao mesmo tempo, o reconhecimento de que nosso conhecimento não é absoluto e que, possivelmente, possa ser opressivo para outros. É papel de uma teoria crítica que a problematização possa sobrepor à opressão e possibilitar reflexões que busquem impedir barbáries e promover justiça social e a paz mundial.

Dentro dessas questões, de acordo com Contreras (2002), que é corroborado por Giroux (1997) é necessário a presença de uma figura de intelectual crítico, um profissional que busque com esforço desvendar o oculto, esmiuçar a origem histórica e social do que se apresenta como natural, para conseguir captar e mostrar os processos pelos quais a prática de ensino fica presa em pretensões, relações e experiência de duvidoso valor educativo. Além disso, do esforço constante para descobrir as formas de dominação ideológica, as práticas culturais e as formas de organização podem, não só limitar as possibilidades de ação do professor, mas também as próprias perspectivas de análise e compreensão do ensino, de suas finalidades educativas e de sua função social.

O professor intelectual crítico está em constante busca de potencialização de entender aquilo que ainda não conhece, problematizando possibilidades educativas, transformando, reconduzindo características que não possui, sejam elas pessoais, organizacionais ou sociais. Ele é um profissional que faz resistência ao que está imposto, de forma pronta e acabada, pela instituição, seja ela a escola ou outros setores sociais. Nesta perspectiva, a autonomia profissional enquanto emancipação seria um processo contínuo de descobertas e transformações das diferenças entre

nossa prática cotidiana e as aspirações sociais e educativas de um ensino guiado pelos valores de igualdade, justiça e democracia.

Esta questão da problematização é implícita em Giroux, quando ele questiona o “porquê” dos processos educativos e enfatiza o uso da linguagem, da crítica, para aqueles que elaboram o currículo e desejam ser professores intelectuais críticos transformadores. Com isto, como discutimos anteriormente, aponta caminhos para o “como”. A reflexão crítica consegue dar uma resposta em “como” o professor poderia se tornar um intelectual crítico.

Desta forma, este trabalho utiliza-se da reflexão crítica, principalmente na categoria de conscientização do problema fundamentado no pensamento de Giroux, nas categorias que ele propõe para a forma de estudo curricular, que enfatiza o histórico e o cultural como: linguagem, culturas populares e subordinadas, teorização da formação social, História e Pedagogia. Isto almejando sempre um projeto educacional de formação de docentes universitários para uma transformação, que compreenda o papel humanístico da ciência e do seu ensino e aprendizagem com vistas a alcançar a tão sonhada emancipação e autonomia docente.

A forma de Giroux conceber o conhecimento possui algumas semelhanças com a de Fleck. Entre elas podemos destacar: uma visão contra uma postura meramente empirista-indutivista da ciência (Fleck) e em um projeto curricular (Giroux), uma vez que ambos consideram o conhecimento como construção social, cultura como processo social e a interação entre círculos esotéricos e exotéricos que, mediante certas condições, podem buscar a transformação. Esta interação entre os diferentes círculos esotéricos e exotéricos, no sentido de Fleck e Giroux, seria a interação mediante a conscientização de problemas vividos por diferentes coletivos de professores que podem contribuir para a transformação de práticas pedagógicas tanto dos professores da educação básica quanto dos professores universitários. Esta interação é aclamada principalmente quando Giroux declara que se faz necessário os intelectuais críticos (os professores universitários) atuarem na esfera pública.

A categoria circulação intercoletiva de ideias e práticas de Fleck, se fizermos uma leitura a partir de Giroux (1997), sintoniza-se com a linguagem de possibilidades. As possibilidades seriam mediante a conscientização de problemas que os estudantes,

os professores da educação básica e os formadores de professores buscariam resolvê-los, apropriando-se por meio da circulação intercoletiva das várias vertentes teóricas e práticas, ou seja, de estilos de pensamentos diferentes, com os objetivos mais profundos de emancipação.

4.4 A formação do professor universitário

De acordo com García (1999, p. 243) as atribuições do professor Universitário são as de docência, investigação e de atividades decorrentes destes dois patamares, como organização de eventos e gestão administrativa. O autor fala do contexto espanhol; no contexto brasileiro, a situação é semelhante, aumentando mais um componente nas atribuições que é a extensão universitária, ou seja, professor universitário, além de fazer pesquisa e ensino, poderia desenvolver projetos sociais com a comunidade não acadêmica. De acordo com De La Orden (1987, apud GARCÍA 1999, p. 243):

Em primeiro lugar, o professor universitário, enquanto professor, é uma pessoa profissionalmente dedicada ao ensino, é um profissional da educação que necessariamente partilha com os professores de outros níveis algumas funções básicas relativas à aprendizagem de outras pessoas (os estudantes). Em segundo lugar, é um especialista ao mais alto nível numa ciência, o que implica capacidade e hábitos de investigação que lhe permitam aproximar-se das, e ampliar fronteiras da sua área do saber. Estas características assemelham-no ao científico não vinculado ao ensino. Em terceiro lugar é membro de uma comunidade acadêmica, o que supõe aceitação e a conformidade da conduta a um conjunto específico de normas, valores e atitudes que, de algum modo, refletem uma determinada percepção da realidade e caracterizam e dão sentido a um modo de vida.”

Dos três apontamentos listados por De La Orden, o primeiro é polêmico; diz respeito ao professor universitário como sendo uma pessoa dedicada ao ensino, pois, normalmente no contexto brasileiro esta atividade, por várias razões que apontaremos posteriormente, é deixada em segundo plano. Outro ponto relevante que García (1999) levanta é a docência universitária ser mais que uma atividade do docente com o aluno em sala de aula, sendo o docente universitário responsável também pela elaboração do currículo dos cursos de graduação, das ementas das disciplinas, de como e quem vai

“transmitir” determinado conteúdo, suas finalidades e objetivos. De acordo com o autor, conceber a atividade docente nesta perspectiva tem importantes repercussões, tanto para a formação do professor como para a sua avaliação.

Na perspectiva de articulação das duas culturas, que estamos defendendo, este entendimento faz-se necessário, uma vez que o docente universitário dos cursos de licenciatura, formador de professores da educação básica, de certa maneira dissemina um conjunto de hábitos da academia, no sentido do que é ser professor de Ciências, na prioridade das disciplinas do curso, na ementa e até, como deve ser o ensino na Educação Básica.

Outra função do professor universitário é fazer pesquisa, pois por meio dela, os professores universitários aprofundam o conhecimento de sua área específica de estudo e isto deveria repercutir na prática docente do pesquisador em sala de aula, dando chances aos alunos de se familiarizarem com as novas perspectivas da ciência na atualidade. No entanto, em diferentes perspectivas, verifica-se um divórcio entre as pesquisas realizadas pelos docentes e sua prática de ensino, o que representa uma grave perda da qualidade do ensino ministrada aos estudantes universitários (GARCÍA, 1999).

Diante disso, García (1999) defende que uma investigação no ensino universitário, sobre o que pensam os professores e os alunos, pode oferecer vias para uma possível superação desse problema. O autor cita várias pesquisas que mostram a baixa correlação na avaliação que os alunos fazem da prática docente universitária e a produção científica destes professores.

No Brasil, Albuquerque et. al. (2005), com o objetivo de levantar as concepções em relação ao desenvolvimento profissional de professores, realizaram entrevistas com professores de cursos de graduação nas áreas de Agronomia, Arquitetura, Artes Cênicas, Enfermagem, Engenharia Florestal, Medicina Veterinária, Psicologia e Sociologia. Em síntese, tanto na literatura consultada quanto nas entrevistas realizadas, constataram que a relação entre ensinar, aprender, pesquisar, avaliar e o processo pedagógico comporta diferentes facetas e que esta relação está carregada de tensões como:

- Distanciamento crítico do processo pedagógico;

- Caráter rotineiro do processo pedagógico – concepção simplificada da complexa relação entre ensino, aprendizagem, pesquisa e avaliação;
- Formalização restrita da concepção de docência;
- Pouca familiaridade com as teorias de cunho pedagógico.

Ainda na mesma pesquisa, mostraram que os professores universitários, não participam de organizações coletivas, distanciando-se de questões políticas, demonstrando pouco interesse por aspectos estéticos e culturais. Este distanciamento de questões políticas é também responsável pela aceitação da lógica produtivista e aos parâmetros de qualidade propostos pela política neoliberal.

Especificamente com docentes com formação pedagógica e produção na área de ensino de Química, Silva e Schnetzler (2005) encontraram um resultado diferente: os professores universitários com esta formação declararam positivamente a sua relação com outros coletivos como, por exemplo, a participação em movimentos sociais, como os movimentos estudantis e julgam ter contribuído para gerar interesse pelo ensino e mudanças na forma de ver o mundo e a ciência. Tais professores acreditam no potencial das disciplinas em que atuam, propondo novas metodologias de ensino e aprendizagem com uma tendência de articular a relação entre teoria e prática.

Talvez o que possa explicar os diferentes resultados entre essas duas pesquisas é que, apesar de alguns sujeitos pesquisados por Albuquerque terem uma formação no campo das ciências humanas, os sujeitos investigados por Silva e Schnetzler (2005) têm, além de uma formação em Química, uma formação humanística em Pedagogia e outras áreas das ciências humanas. O que nem sempre ocorre, pois, na maioria dos casos, existe a concepção de que basta saber o conteúdo científico para ensinar (MASETTO, 2003). E ainda, uma prioridade da pesquisa, em detrimento das atividades pedagógicas. De acordo com Alves (1999), para os professores deste nível, o ensino parece ser um fardo indesejável, pois “uma vez decretado que o valor mais alto é a publicação de artigos em revistas internacionais, *publish or perish*, os alunos passam a ser trambolhos que atrapalham os cientistas (não mais docentes) na busca de excelência”.

A separação entre ensinar e investigar tem uma leitura sociológica e psicológica; o fato é que o prestígio profissional do professor universitário é exclusivamente da sua atividade de pesquisa, pois, a partir desta, o professor consegue aprovação de verbas públicas e privadas no financiamento de projetos nas agências de fomento, reconhecimento social pelos seus pares, o que acaba compensando uma má prática docente. Do contrário, se o docente que não faz pesquisa é um bom professor, este teria um menor reconhecimento profissional e prestígio social. Isto acaba favorecendo uma preferência para a pesquisa em detrimento da docência; assim, por parte dos professores universitários, o ensino de graduação é entendido como decorrência das demais atividades (FERNÁNDEZ PÉREZ, 1989, apud GARCÍA 1999, p. 244-245; CUNHA, 2006).

Como Cunha (2006) aponta, a docência naturaliza-se em um processo de reprodução cultural, ou seja, o professor ensina a partir da sua experiência como aluno, inspirado em seus antigos professores. Fernández Pérez (1992, apud GARCÍA, 1999, p. 245) enumera cinco pontos negativos que, na época, caracterizavam, e acreditamos que ainda hoje caracterizam o ensino na universidade:

- Ênfase na transmissão e reprodução do saber do que na evolução deste;
- A autopercepção que os professores universitários têm de serem a “cúspide da pirâmide”, de constituírem o escalão máximo do saber científico, do prestígio social e de remuneração econômica;
- A maior disponibilidade de tempo livre, no sentido restrito de obrigações acadêmicas controláveis;
- Certa e excessiva frieza na comunicação inter-humana professores/alunos;
- Um feroz individualismo entre colegas universitários.

Segundo García (1999) há poucas pesquisas sobre o ensino universitário e a maioria das pesquisas, pelo menos até aquela época, realizou-se dentro do paradigma processo-produto, em que se analisava a conduta do professor em quatro dimensões: cognitiva (níveis de pensamento promovidos nos alunos); socioemocional (críticas,

elogios, iniciação, resposta); substantiva (conteúdo das aulas); e comunicativa (linguagem, clareza, fluidez, expressividade). De acordo com o autor, estas dimensões estão sendo estudadas por métodos quantitativos, que revelam as características de conduta dos professores associadas ao rendimento dos alunos; entretanto, estes resultados não conseguem estabelecer um perfil.

De acordo com o autor, o processo de estabelecimento de um perfil profissional do professor universitário tem que considerar as particularidades de cada área do conhecimento, pois cada uma delas tem a sua característica própria, sejam as ciências humanas, sociais, naturais, exatas e tecnológicas. Além das concepções de conhecimento de cada área existem também outras características que podem ajudar a estabelecer um perfil tais como: cognitivas, técnicas, atitudinais, psicossociais, socialização e competências de aprendizagem. Assim, diante destas particularidades e características é necessário que se combinem três variáveis:

- Características do profissional que se deseja formar;
- As condições de formação desse profissional (incluindo o professor e seu ensino)
- O tipo de profissão

A combinação dessas três variáveis poderá levar a investigações que apresentem diferentes perfis de docentes universitários que, conseqüentemente, poderão gerar propostas de formação de professores universitários de acordo com o perfil estabelecido de cada área do conhecimento, nos quais os professores serão formados naqueles conhecimentos, competências consideradas como necessárias (GARCÍA, 1999).

A formação inicial do professor universitário no contexto espanhol se dá pelo doutoramento; no Brasil, isto não ocorre de maneira rigorosa. Apesar dos concursos nas grandes e médias universidades exigirem, em geral, formação mínima em nível de doutorado para comporem os quadros na carreira inicial, a LDB exige apenas que um terço dos professores tenha mestrado e/ou doutorado, ou seja, temos professores apenas com a graduação nas universidades brasileiras.

O fato é que possuir o título de mestre e doutor nem sempre garantirá uma boa qualidade de ensino, pois o sucesso de tal atividade dependerá de uma formação pedagógica sólida e, também, de outros fatores atitudinais e socioemocionais que são dialetizados e consolidados ao longo de um processo formativo. Que, como afirmam Silva e Schnetzler (2005, p.1132), “múltiplos contextos, situações vividas em tais contextos e circunstâncias sempre singulares que se desenham em tais situações são ressignificadas nos modos de ser e estar no exercício da atividade docente”.

A LDB (BRASIL, 1996), dispõe da formação de professores apenas para a atuação na educação básica e o artigo 66 da lei supracitada diz que “a preparação para o magistério superior far-se-á em nível de pós-graduação, prioritariamente em programas de mestrado e doutorado”. O que geralmente ocorre é um estágio de docência de seis meses e um ano em cada nível, por um “professor” que nunca participou ou não teve uma formação ou prática pedagógica fundamentada. Além disso, como no contexto espanhol, no Brasil também não existem, formalmente, cursos de formação continuada ou inicial de docentes universitários; a maioria dos docentes universitários com o título de doutor fez o bacharelado, mestrado e doutorado, sem nunca ter estudado disciplinas de fundamentação pedagógica.

Isto é mais problemático para os professores formadores de professores do ensino básico, porque como vão falar de ensino para os futuros professores sem nunca terem vivenciado teoricamente e/ou na prática, as situações de ensino? E, mais grave ainda, como devem ser suas aulas? Como explicitamos anteriormente, a prioridade maior é a pesquisa, em detrimento da docência. Isto é condizente com que Masetto (2003) declara: “a estrutura organizativa do ensino superior no Brasil, sempre privilegiou o domínio de conhecimentos e experiências profissionais como únicos requisitos para a docência nos cursos superiores”. Isto é consequência da lógica da formação de “mão de obra” especializada que sempre norteou a administração do ensino superior no Brasil.

Na França, existem os Centros de Iniciação ao Ensino Superior, que têm como principal objetivo formar futuros professores da universidade. Os futuros professores universitários realizam tarefas docentes de aulas práticas e orientação de trabalhos de alunos, sendo supervisionados por um professor-tutor pedagógico. Além destas

atividades, os futuros docentes recebem cursos sobre estruturação do conhecimento, elaboração de conteúdos didáticos, estrutura universitária, técnicas audiovisuais e estudo dos sistemas educativos, etc.

Existem outras iniciativas como o programa de formação inicial de professores universitários da Universidade Estadual da Flórida (EUA) e de Surrey (Inglaterra) que consistem basicamente em apresentar a estrutura organizacional da universidade, mostra de vídeos de aulas gravadas, conhecimento do perfil de estudantes etc. Entretanto, de forma geral, não existiu até hoje uma tradição de formação de professores universitários; apenas algumas situações pontuais caracterizadas por cursos de curta duração (GARCÍA, 1999).

Marcelo García entende que o desenvolvimento profissional do docente universitário deve ir além da dimensão do ensino, enquanto prática em sala de aula, mas também inter-relacionar o desenvolvimento do professor com o desenvolvimento institucional. O mesmo autor apresenta alguns princípios de formação de professores no contexto espanhol:

- 1- Desenvolvimento de atitudes de reflexão e crítica relativamente ao seu próprio ensino;
- 2- Dar primazia às iniciativas surgidas dos próprios professores, dado o carácter voluntário da formação;
- 3- Aposta de uma profissão docente coletiva, priorizando grupos de professores de departamento ou interdepartamentais;

Os departamentos são peças chaves no processo de desenvolvimento profissional de professores, pois sua política pode permitir uma maior interação coletiva entre os professores do mesmo departamento ou com departamentos diferentes, desde que haja a necessidade diante da complexidade do problema educativo que se quer resolver.

Os departamentos são fundamentais para a implantação de modelos de desenvolvimento profissional. Claro que não podemos entender que os departamentos são unicamente os responsáveis por tal empreendimento. Há outras instâncias dentro

da Universidade capazes de criar órgãos competentes para fazer a formação inicial e continuada dos docentes universitários. No caso da Espanha, foram feitas propostas, pelo menos até 1999, da criação de Institutos Universitários de Desenvolvimento Profissional e Investigação Educativa, do Centro Estatal para a Coordenação de Iniciativas sobre a Formação dos Professores Universitários. A criação destes órgãos teria como objetivo estimular experiências didáticas, assessorar projetos, publicar relatórios, organizar iniciativas, criar grupos de reflexão didática, elaborar e divulgar trabalhos que visem subsidiar o trabalho docente (GARCÍA, 1999).

Existem alguns modelos de desenvolvimento profissional tais como: modelo de processo de aperfeiçoamento individual, modelo de avaliação para o aperfeiçoamento do ensino, modelo de indagação e modelo organizacional. O modelo de processo de aperfeiçoamento individual é o que permite ter um leque de alternativas que possibilitam o autodesenvolvimento profissional que está entrelaçado a um modelo tríade: profissional, curricular e institucional, que permite analisar as atividades e objetivos a partir do indivíduo.

O segundo modelo referido é o Modelo de Avaliação para a melhoria de ensino; neste caso, a avaliação que se faz do professor universitário é como o início de um processo de formação. A avaliação não é vista como normativa e impositiva; há uma estrutura dialógica no processo de avaliação. Quanto ao modelo de avaliação orientada para o aperfeiçoamento, é contrário a um modelo avaliativo de controle; nesta perspectiva, o coletivo de docentes busca, em comum, o aperfeiçoamento de forma motivacional, que se inicia de forma voluntária.

O quarto modelo, o de indagação, é caracterizado como professor universitário reflete a sua prática por meio da investigação da sua própria prática docente, buscando formação e inovação. Por último, o modelo organizacional, que tem alguns aspectos do professor como intelectual crítico proposto por Giroux, que exporemos mais à frente.

A característica principal deste modelo é que o desenvolvimento profissional do professor vai além da sua prática de ensino na sala de aula, ou de questões individuais, mas que inclua neste processo a instituição que ele atua: a Universidade. É um modelo de desenvolvimento profissional que questiona a organização política da instituição universitária com vistas ao aperfeiçoamento das relações de comunicação, da

democracia nos processos de tomada de decisões frente às problemáticas que são encontradas.

García (1999), afirma que não é possível estabelecer um perfil dos professores universitários baseado em pesquisas realizadas até aquele momento na relação processo-produto. Sua justificativa é que, para estabelecer um perfil, é necessário considerar as especificidades de cada área do conhecimento. Ao contrário de García, acreditamos que há possibilidade de estabelecer um perfil cultural, pois em pesquisas realizadas recentemente (ALBUQUERQUE, et. al. 2005; SILVA E SCHNETZLER, 2005) apresentadas no início desta seção, mostram-se algumas diferenças de concepções de professores universitários entre as diferentes áreas do conhecimento, que independentes de serem da área de ciências naturais, tecnológicas ou humanas, o aspecto pedagógico parece ser um divisor de águas na forma de ver o processo educativo, sinalizando para o estabelecimento de um perfil profissional.

A possibilidade de estabelecer um perfil cultural dos docentes universitários, principalmente, quando entendemos cultura como um conjunto de tradições e práticas de um ou mais grupos e suas relações sociais, no caso da docência universitária, o que podemos perceber até o momento é que há uma preferência pela pesquisa em detrimento da docência, despolitização da atividade docente, uma frieza nas relações interpessoais entre colegas e alunos. Isto é oriundo de um conjunto de práticas e tradições que faz parte do processo educativo do indivíduo. Silva e Schnetzler (2005) compreendem que a formação docente do professor ocorre antes da sua formação acadêmica, durante toda a sua atividade profissional. Corroborando com este posicionamento, Cunha (2006) afirma que a docência é uma ação humana, histórica e cultural. A experiência humana é mediada pela cultura; no caso, a docência não foge a regra, ou seja, o docente reproduz a forma de ensinar a partir de sua experiência como aluno, inspirado em seus antigos professores,

Todos os professores foram alunos de outros professores e viveram as mediações de valores e práticas pedagógicas. Absorveram visões de mundo, concepções epistemológicas, posições políticas e experiências didáticas. Através delas foram se formando e organizando, de forma consciente ou não, seus esquemas cognitivos e afetivos, que acabam dando suporte para sua futura docência (CUNHA, 2006, p.256).

Ainda de acordo com essa autora, intervir neste processo de naturalização profissional exige um grande esforço de reflexão baseado na desconstrução de práticas, que antes não eram equivocadas. Os sujeitos professores só reconstróem sua prática docente quando são capazes de refletir sobre si e sua formação particularmente. No caso dos docentes universitários, que não priorizam o ensinar e aprender na formação inicial e continuada, mais intenso parece ser a reprodução cultural.

Um dos pontos mais críticos é que este tipo de reprodução cultural pode ser alienante, na medida em que estes docentes ficam sujeitos a políticas públicas externas, que impõem padrões de “qualidade” que podem influenciar a identidade do professor e da instituição. A falta de uma reflexão sustentada com uma fundamentação teórica mais crítica deixa os docentes à mercê de políticas externas que norteiam projetos pedagógicos sem um aprofundamento e discussão (CUNHA 2006). Neste sentido apontado pela autora, corrobora ainda mais para buscarmos na literatura dados sobre a visão de currículo e ensino de docentes universitários.

4.5 Análise dos dados empíricos da literatura

A partir do desenvolvimento teórico expresso nas seções anteriores, faremos agora um levantamento da literatura com a finalidade de respondermos à seguinte questão: Os professores Universitários da área de Ciências Naturais possuem uma visão articulada das culturas humanística e científica? Neste levantamento, explicitaremos dados empíricos da literatura de concepções de professores universitários sobre: ensino-aprendizagem, currículo e HFSC. Analisaremos também, as diretrizes curriculares para os cursos de Física, utilizando como metodologia, a análise de conteúdo de Bardin (1977), como descrita no capítulo 1.

Inicialmente, fizemos uma análise de três trabalhos acadêmicos que contém os dados que queremos analisar. Dois foram produzidos no âmbito do Grupo de Pesquisa em Ensino de Ciências (CORTELA, 2004; CHICARINO, 2009) do Programa de Pós-Graduação, em Educação para a Ciência da Universidade Estadual Paulista (UNESP-Bauru). O outro foi uma dissertação de mestrado feito por Rosa (2006) do Programa de

Pós-Graduação em Ensino, Filosofia e História da Ciência da Universidade Federal da Bahia (UFBA).

O trabalho feito por Cortela (2004) foi uma dissertação de mestrado que tinha por objetivo interpretar os discursos de docentes universitários sobre os processos de ensino e aprendizagem e como estes podem influenciar nas decisões sobre a reestruturação curricular que estava sendo proposta para o curso de Física de uma universidade pública. A pesquisadora buscou verificar: 1) o comprometimento dos docentes com o processo de reestruturação; 2) a forma como organizam e desenvolvem sua prática docente; 3) suas principais dificuldades profissionais e 4) suas sugestões para a melhoria do ensino e, conseqüentemente, do curso em questão.

Cortela (2004) entrevistou 10 sujeitos que ministram aula em um curso de licenciatura de uma universidade pública. Todos os docentes entrevistados são professores de disciplinas específicas e para preservar a identidade dos mesmos, a autora nomeou-os como professor A, B, C... De todos os sujeitos entrevistados apenas dois (professor C, H) cursaram licenciatura em Física; os demais são bacharéis em física e todos com mestrado e doutorado em Física.

A tese de doutorado de Chicarino (2009) teve como objetivo fazer uma análise das entrevistas de cientistas brasileiros da pesquisa de base e de entrevistas feitas com pesquisadores da área de ensino de Ciências, que figuram como destaques dentro de seus campos de atuação, com o objetivo de descobrir, fundamentalmente, a partir de seus discursos dirigidos à sociedade, qual é a representação que possuem do ensino de Ciências, da educação científica e da cultura.

Chicarino (2009) analisou seis entrevistas, das quais, quatro são de textos publicados de entrevistas com cientistas brasileiros que se destacaram por seus trabalhos na pesquisa de base. As duas outras que compõem o conjunto foram coletadas pela pesquisadora, através de entrevistas com duas cientistas da área da pesquisa em ensino de Ciências. Os sujeitos foram designados como (1CA, 1CB, 2C, 3C,) como os cientistas de base³⁰ e (4C, 5C), os cientistas da área de ensino de Ciências.

³⁰ Os cientistas de base são aqueles cuja a formação acadêmica é de conteúdo específico sem formação pedagógica.

A dissertação de Rosa (2006) é resultado de um estudo de caso comparativo entre as experiências de abordagem de História e Filosofia da Ciência (HFC) nos cursos de licenciatura em Física da Universidade Federal da Bahia e Universidade Federal do Rio Grande do Sul. O estudo é composto de três etapas de análise. A primeira tratou de estudar as matrizes curriculares destes cursos, através de análise documental; na segunda, foi feito um levantamento da percepção, em uma amostra de docentes de cada Instituto em relação à inserção de HFC na licenciatura em Física, através de entrevistas semiestruturadas. Na terceira etapa foi feita uma descrição de como funcionam as disciplinas obrigatórias do currículo de licenciatura, que discutem explicitamente HFC, valendo-se também das entrevistas semiestruturadas com os respectivos docentes.

Os sujeitos entrevistados por Rosa (2006) foram os docentes do Instituto de Física da Universidade Federal da Bahia e da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. As entrevistas foram efetuadas com 19% do total de docentes dos institutos de Física da UFBA e 13% da UFRGS. Devido à opção por uma pesquisa com predominância quantitativa, isto dificultou explicitarmos uma quantidade maior de discursos dos sujeitos. Os discursos apresentados são dos sujeitos da UFBA, nomeados pela autora como: 2BA (bacharel em Física, com mestrado e doutorado em Física teórica); 4BA (licenciado e bacharel em Física, com doutorado em História da Ciência); 8BA (bacharel e mestre em Física).

O estudo prévio desses trabalhos e o perfil de formação dos docentes universitários investigados contribuíram para definirmos as nossas categorias de análise e ofereceram um bom caminho para respondermos a nossa questão de pesquisa. As categorias de análise são: Visão de Estrutura Curricular, Concepções de Ensino Aprendizagem, Concepções de HFSC. Além dos dados sobre concepção de professores, analisamos também as diretrizes curriculares para os cursos de Física, classificada na categoria de “documentos oficiais”.

Essas categorias foram escolhidas e definidas durante a leitura dos trabalhos, em consonância com nossas questões de pesquisa. Além disso, elas estão em sintonia com a perspectiva teórica adotada, uma vez que para Giroux (1997, p.60):

No cerne da abordagem neomarxista está o reconhecimento da relação entre a reprodução econômica e cultural. Inerente a esta perspectiva está a intersecção de teoria, ideologia e prática social. As escolas são vistas como agentes de controle ideológico que reproduzem e mantêm as crenças, valores e normas dominantes. Isso não significa sugerir que as escolas são simplesmente fábricas que processam estudantes e espelham os interesses da sociedade mais ampla; tal perspectiva é evidentemente mecanicista e reducionista. A perspectiva neomarxista salienta que as escolas de maneiras correspondentes estão ligadas aos princípios e processos que governam o local de trabalho. A perspicácia desta perspectiva é sua insistência em conectar as macro-forças da sociedade mais ampla com as microanálises, tais como os estudos em sala de aula.

Das categorias de análise definidas nesta pesquisa, são exemplos de macro-forças, os documentos oficiais e a estruturação curricular. As de microanálises são: concepções de ensino aprendizagem e de HFSC. Uma análise crítica destas macro-forças, microanálises e de suas relações permite empreendermos uma tarefa de identificar as fissuras nas ideologias e cultura dominante, papel primordial de uma educação crítica transformadora.

1) Documentos Oficiais

No Brasil, a formação de professores de Ciências está muito centrada nos conteúdos científicos e quando existem disciplinas de conteúdo humanístico nos currículos são desarticuladas das específicas, reforçando a polaridade das duas culturas, conforme exposto por Snow. No processo de repensar a educação, houve mudanças nas Diretrizes Curriculares Nacionais de formação de professores da educação básica, em nível superior, nos cursos de licenciatura plena, sinalizando para a entrada de disciplinas integradoras, cuja finalidade é integrar as disciplinas de conteúdo específico com as disciplinas humanísticas na matriz curricular dos cursos de formação de professores. Entretanto, no documento não são claras as informações e as condições de como este processo deverá ser feito. A sinalização é dada da seguinte maneira: “Os conteúdos a serem ensinados na escolaridade básica devem ser tratados de modo articulado com suas didáticas específicas” (BRASIL, 2002, p.2).

Como são diretrizes gerais para a formação de professores, não há uma menção feita às “Duas Culturas” explicitamente, mas declara a importância dos conhecimentos: social, econômico e cultural; da interdisciplinaridade; da pedagogia sobre o

desenvolvimento humano e o papel social da escola; além de levar em consideração um processo de formação de professores autônomo.

Essa perspectiva é uma tentativa de direcionar todas as licenciaturas, inclusive as de Ciências Naturais. Porém, parece haver uma contradição, se analisarmos, por exemplo, as Diretrizes Curriculares dos cursos de Física (CNE/CES. 304/2001). Há uma lacuna quanto à proposta de integração das disciplinas humanísticas e as de conteúdo específico. Primeiro, porque este documento propõe perfis específicos em que não há uma diferenciação entre as competências e habilidades das diferentes modalidades de bacharelado em Física (físico pesquisador, físico tecnólogo, físico interdisciplinar) e a licenciatura em Física (o físico educador). O documento delinea competências gerais para estas diferentes modalidades e uma formação com forte tendência nos conteúdos científicos:

1. Dominar princípios gerais e fundamentos da Física, estando familiarizado com suas áreas clássicas e modernas;
2. Descrever e explicar fenômenos naturais, processos e equipamentos tecnológicos em termos de conceitos, teorias e princípios físicos gerais;
3. Diagnosticar, formular e encaminhar a solução de problemas físicos, experimentais ou teóricos, práticos ou abstratos, fazendo uso dos instrumentos laboratoriais ou matemáticos apropriados;
4. Manter atualizada sua cultura científica geral e sua cultura técnica profissional específica;
5. Desenvolver uma ética de atuação profissional e a consequente responsabilidade social, compreendendo a Ciência como conhecimento histórico, desenvolvido em diferentes contextos sócio-políticos, culturais e econômicos (CNE/CES1. 304/2001, p.4)

Além das competências apontadas acima, o documento apresenta também algumas habilidades gerais, independentes de qualquer modalidade, das quais, o futuro formando em Física deveria ter:

1. Utilizar a matemática como uma linguagem para a expressão dos fenômenos naturais;
2. Resolver problemas experimentais, desde seu reconhecimento e a realização de medições, até à análise de resultados;
3. Propor, elaborar e utilizar modelos físicos, reconhecendo seus domínios de validade;
4. Concentrar esforços e persistir na busca de soluções para problemas de solução elaborada e demorada;

5. Utilizar a linguagem científica na expressão de conceitos físicos, na descrição de procedimentos de trabalhos científicos e na divulgação de seus resultados;
6. Utilizar os diversos recursos da informática, dispondo de noções de linguagem computacional;
7. Conhecer e absorver novas técnicas, métodos ou uso de instrumentos, seja em medições, seja em análise de dados (teóricos ou experimentais);
8. Reconhecer as relações do desenvolvimento da Física com outras áreas do saber, tecnologias e instâncias sociais, especialmente contemporâneas;
9. Apresentar resultados científicos em distintas formas de expressão, tais como relatórios, trabalhos para publicação, seminários e palestras (CNE/CES1. 304/2001, p.4).

O documento enfatiza que estas habilidades e competências são independentes da modalidade, da qual o futuro físico ou professor de Física possa atuar. Ainda, os documentos tentam incluir habilidades e competências específicas para a licenciatura:

1. O planejamento e o desenvolvimento de diferentes experiências didáticas em Física, reconhecendo os elementos relevantes às estratégias adequadas;
2. A elaboração ou adaptação de materiais didáticos de diferentes naturezas, identificando seus objetivos formativos, de aprendizagem e educacionais;

Essa adição de competências e habilidades específicas conduz a um reducionismo epistemológico de um curso de licenciatura; talvez uma articulação maior com as diretrizes nacionais de formação de professores e com a literatura da área de ensino de Física, pudesse ter um maior desenvolvimento crítico, o que geraria objetivos, visando a emancipação dos indivíduos, para que busquem uma transformação da sociedade, nesta intensa luta contra as relações de dominação. No entanto, o mais problemático é que o documento dá autonomia às instituições de ensino superior para definir outras competências e habilidades específicas que seguem as diretrizes do mercado:

Em relação às habilidades e competências específicas, estas devem ser elaboradas pelas IES a fim de atender às exigências dos mercados nacionais e locais. Neste sentido, as diretrizes curriculares conferem toda autonomia as IES para defini-las, através dos conteúdos curriculares. Estes podem ser estruturados modularmente de modo a atender os perfis gerais definidos acima, porém com mudanças nos módulos dos últimos quatro semestres do curso que atenderiam ao tipo de especialização necessária para a inserção do formando na atividade almejada (CNE/CES1. 304/2001, p.5).

A elaboração de competências e habilidades para atender as exigências do mercado sem uma visão crítica caracteriza em partes o currículo oculto³¹, transmitido aos estudantes e docentes de determinada instituição. Se fizermos uma leitura, a partir de Giroux (1997, p. 58), compreendemos que esta perspectiva assumida pelas diretrizes nacionais de formação de físicos está de acordo com o segmento teórico dos estruturalistas funcionais. De acordo com esta vertente teórica, a escola fornece um serviço valioso ao treinar os estudantes para sustentarem compromissos e aprenderem as habilidades exigidas pela sociedade. Segundo Giroux (1997), esta abordagem assume valores: (1) as escolas não existem em total isolamento, à parte dos interesses da sociedade mais ampla; (2) ela especifica normas e propriedades do currículo oculto; e (3) levanta questões acerca do caráter especificamente histórico do significado e do controle social nas escolas.

De acordo com Giroux (1997), o modelo estrutural-funcional minimiza as noções de conflito social e interesses socioeconômicos competidores, além disso, representa uma posição apolítica, que não vê como problemáticas as crenças, valores e organização estrutural socioeconômica. Nesta perspectiva, o conhecimento é apreciado por seu valor instrumental no mercado. No modelo estrutural-funcional, os estudantes aceitam a conformidade social e perdem a capacidade de criar significados por si mesmos. Assim, as Diretrizes Curriculares Nacionais ao assumirem esta vertente teórica apolítica, dão margem à formação de currículos nas instituições de ensino superior, que submetem e veem os estudantes, como produtos da socialização mercadológica. Isto compromete a capacidade criativa dos indivíduos e, conseqüentemente, seu desenvolvimento emancipatório.

Ao assumir esta vertente mercadológica, as diretrizes curriculares estabelecem uma estrutura de formação do físico e do educador em Física, fundamentado na racionalidade técnica (um modelo 2+2)³², em que é preconizado conteúdos curriculares, que visem um conhecimento teórico básico, somados a conteúdos específicos de cada

³¹ De acordo com Giroux (1997) o currículo oculto são mensagens e valores que são transmitidos aos estudantes silenciosamente através da seleção de formas específicas em sala de aula e das características definidoras da estrutura organizacional escolar.

³² A estrutura curricular denominada 2+2 quer dizer 50% da grade curricular é composta por disciplinas de conteúdo básico e nos últimos dois anos com disciplinas da modalidade específica.

modalidade de curso de Física. Assim, de acordo com a CNE/CES1.304/2001, p.5-8, os conteúdos curriculares ficariam definidos por um núcleo comum, seguida de módulos sequenciais acompanhados por estágios e atividades complementares.

Núcleo comum:

De acordo com o documento, o núcleo comum é composto de disciplinas ditas básicas e deverá ser cumprido por todas as modalidades em Física, representando, aproximadamente, metade da carga horária necessária para obtenção do diploma. Compreendem disciplinas de Matemática e Física: geral, clássica, moderna e contemporânea e de disciplinas complementares de humanidades:

A - Física Geral

Consiste no conteúdo de Física do ensino médio, revisto em maior profundidade, com conceitos e instrumental matemáticos adequados. Além de uma apresentação teórica dos tópicos fundamentais (mecânica, termodinâmica, eletromagnetismo, física ondulatória), devem ser contempladas práticas de laboratório, ressaltando o caráter da Física como ciência experimental.

B – Matemática

É o conjunto mínimo de conceitos e ferramentas matemáticas necessárias ao tratamento adequado dos fenômenos em Física, composto por cálculo diferencial e integral, geometria analítica, álgebra linear e equações diferenciais, conceitos de probabilidade, estatística e computação.

C - Física Clássica

São os cursos com conceitos estabelecidos (em sua maior parte) anteriormente ao Séc. XX, envolvendo mecânica clássica, eletromagnetismo e termodinâmica.

D - Física Moderna e Contemporânea

É a Física desde o início do Séc. XX, compreendendo conceitos de mecânica quântica, física estatística, relatividade e aplicações. Sugere-se a utilização de laboratório.

E - Disciplinas Complementares

O núcleo comum precisa ainda de um grupo de disciplinas complementares que amplie a educação do formando. Estas disciplinas abrangeriam outras ciências naturais, tais como Química ou Biologia e também as ciências humanas, contemplando questões como Ética, Filosofia e História da Ciência, Gerenciamento e Política Científica, etc. (CNE/CES1.304/2001, p.6-7).

Módulos Sequenciais

Os módulos sequenciais compreendem os módulos definidores de ênfase que são:

Físico-pesquisador - O conteúdo curricular da formação do Físico-Pesquisador (Bacharelado em Física) deve ser complementado por sequenciais em Matemática, Física Teórica e Experimental avançados. Esses sequenciais devem apresentar uma estrutura coesa e desejável integração com a escola de pós-graduação.

Físico-educador - No caso desta modalidade, os sequenciais estarão voltados para o ensino da Física e deverão ser acordados com os profissionais da área de educação quando pertinente. Esses sequenciais poderão ser distintos para, por exemplo, (i) instrumentalização de professores de Ciências do ensino fundamental; (ii) aperfeiçoamento de professores de Física do ensino médio; (iii) produção de material instrucional; (iv) capacitação de professores para as séries iniciais do ensino fundamental. Para a licenciatura em Física serão incluídos no conjunto dos conteúdos profissionais, os conteúdos da Educação Básica, consideradas as Diretrizes Curriculares Nacionais para a Formação de Professores em nível superior, bem como as Diretrizes Nacionais para a Educação Básica e para o Ensino Médio. (CNE/CES1.304/2001, p.7-8).

A organização dos conteúdos curriculares em disciplinas, de núcleo comum e módulos sequenciais, caracteriza um currículo de racionalidade técnica. Isto é perceptível, porque objetiva os indivíduos apropriarem-se de conhecimentos que visem a aplicação em uma área específica, de acordo com as demandas das diversas instituições.

Outro fato que caracteriza a racionalidade técnica do conteúdo curricular, é que o núcleo comum das disciplinas, apesar de apontar para a importância dos conhecimentos humanísticos, estes são deixados como complementares. Em uma leitura, a partir de Giroux (1997), uma organização de conteúdo curricular organizado assim é caracterizada como uma forma de hierarquização de disciplinas, pois o que fica claro, nas intenções de seus elaboradores, é que as disciplinas de conteúdo humanístico são menos importantes que as de conteúdo específico; principalmente, quando não é mostrada uma integração entre as disciplinas de conteúdo específico com as pedagógicas, o que fortalece ainda mais a disciplinaridade. Para Giroux (1997, p.181):

O que é característico nas tecnologias disciplinares é sua capacidade de simultaneamente normalizar e hierarquizar, homogeneizar e diferenciar. Este

paradoxo é explicado pelo controle que a disciplina exerce sobre a diferença. Como as normas são cuidadosamente estabelecidas e mantidas, os desvios podem ser medidos em escala. A meta do profissional em uma disciplina é subir nesta escala diferenciando-se apenas de maneira apropriada.

A homogeneização nas diretrizes curriculares ocorre com as disciplinas do núcleo comum, pois deve ser cumprida em todas as modalidades do curso de Física; a diferenciação ocorre no sentido de ter disciplinas específicas para cada modalidade de Física com a finalidade de atender várias demandas, entre elas a de mercado. Giroux (1997) referencia Foucault para sustentar uma crítica às limitações da disciplinarização, que é reforçada pelas instituições, através de várias recompensas e punições, sendo que a maior parte delas pertence à classificação hierárquica. Isto é bem explícito, nas diretrizes curriculares, quando as disciplinas de Ética, Filosofia e História da Ciência, Política Científica são deixadas como complementares. De acordo com Giroux, as instituições punem os profissionais, que não expressam mais dentro do discurso da disciplina, ou seja, os profissionais fora desta ótica são marginalizados. De acordo com Giroux (1997, p.183):

[...] Como a visão política de um intelectual é postulada como irrelevante para o trabalho das disciplinas propriamente ditas, falar e pensar sobre questões políticas e sociais é visto como meramente excêntrico ao estudo disciplinar da cultura. Este fracasso em incluir os contextos históricos e as particularidades sociais pode ser visto mais claramente no tipo de pedagogia que as disciplinas tradicionais instituem.

No que diz respeito às diretrizes da Física exposta até o momento, elas expressam uma ideologia por meio de um discurso dos elaboradores e a maioria dos segmentos das instituições de ensino superior aliadas com as sociedades de classe que os representam. Aqueles que pararem de expressar, dentro do discurso da comunidade de físicos, são marginalizados; exemplo disso é a dicotomia entre os cursos de licenciatura e bacharelado: os estudantes que optam em fazer bacharelado são considerados bons estudantes e competentes, enquanto os que resolvem ir par ao caminho da licenciatura são considerados “fracos”.

É comum aos estudantes dos cursos de Física que discutem sobre pedagogia, ou política social e outros assuntos humanísticos serem motivos de chacota de outros

colegas ou professores que justificam tal comportamento por acharem que estas questões não são preocupações suas, pois só devem dar ênfase em suas pesquisas experimentais e teóricas relacionadas aos fenômenos naturais. Esta visão de certa forma está expressa de forma oculta na proposta das diretrizes curriculares, pois apesar de considerarem o conhecimento humanístico, este hierarquicamente está abaixo em relação aos conteúdos específicos da disciplina de Física.

Quando Giroux (1997), afirma que embora as ciências humanas não se proponham como ciência normal³³, sua estrutura disciplinar tem por objetivo produzir especialistas. A denúncia do autor é que a estrutura disciplinar do estudo da Literatura, História, Sociologia e outras divisões tende a proibir estes especialistas de relacionarem seu conhecimento com a esfera pública. Uma das críticas de Giroux desta especialização é que estas disciplinas tentam copiar a exclusão das ciências naturais sobre qualquer referência à base social e histórica de suas teorias. Esta mesma análise de Giroux pode ser feita na proposta das diretrizes curriculares da Física: as disciplinas de conteúdo específico são desarticuladas das de natureza histórico-social. Isto contribui para a formulação de matrizes curriculares que orientam uma formação de professores de Física, à margem dos problemas sociais, que circundam as suas práticas educacionais e científicas.

Uma análise crítica das disciplinas humanísticas, mais especificamente da Literatura, estabelece uma hierarquização do conhecimento cultural, como por exemplo: os escritos de Shakespeare serem tidos como o melhor da cultura ocidental; como a República de Platão, que segundo o autor representa o padrão de regulação de certa cultura corrente, através do qual as ciências humanas e suas produções são medidas, o que chama de cânone. A leitura destas obras permitiria aos estudantes terem acesso a uma riqueza que é “humanizadora” que, no fundo, serve a interesses ideológicos que podem fortalecer as relações de dominação (GIROUX, 1997).

A visão humanista do cânone baseia-se em uma hierarquização, construída sobre suposições acerca do que é mais importante e valioso que os estudantes conheçam ou tenham mais familiaridade. É contra esta visão de cultura, que os estudos

³³ A ciência normal mencionada por Giroux (1997) são as ciências maduras referidas por Kuhn no livro a estrutura das Revoluções Científicas.

culturais deveriam combater, ou seja, a visão de cultura como um reservatório, um conjunto de conhecimentos acumulados, ao longo do tempo, sem mostrar as suas faces políticas e ideológicas (GIROUX, 1997).

Esta análise feita por Giroux pode também ser feita para o conhecimento de Física, exposto nas diretrizes curriculares. Neste documento, o conhecimento físico parece ser visto como um reservatório, uma vez que uma discussão sobre a natureza da Física e seus limites, não estão explícitos na proposta. É agregado um valor cultural a conhecimentos ditos estabelecidos, como a Física Clássica, esquecendo-se de explicitar as várias correntes de pensamento que a disciplina possui, pois, o que, em geral, é ensinado na graduação, é uma Física Clássica reducionista, baseada na Mecânica Newtoniana e nas descrições da Hamiltoniana e Lagrangeana. Não é enfatizado, por exemplo, outras mecânicas que fizeram rivalidade, como a mecânica de Descartes. Esta falta de discussão contribui para aumentar ainda mais a ocultação das controvérsias científicas dos estudantes:

[...] O que estou dizendo é que a argumentação e a contra argumentação constituem uma grande parte do empreendimento científico e que as teorias e os modos de procedimento ("estruturas de área de conhecimentos" caso se prefira) atuam como normas ou compromissos psicológicos que conduzem a controvérsia intensa entre grupos de cientistas. Esta controvérsia é fundamental ao progresso da ciência, e é este conflito constante que é ocultado aos estudantes (APPLE, 1982, p. 137).

Ainda, devido à hierarquização, o conhecimento histórico-social, diretamente relacionado a estas produções da Física Clássica, não está amalgamado. De acordo com Giroux (1997), uma maneira de buscar a superação da hierarquização cultural é os estudos culturais abandonarem a meta de dar aos estudantes, o acesso àquilo que representa a cultura. Em vez disso, de acordo com Giroux, os estudos culturais têm possibilidade de investigar a cultura como um conjunto de atividades que é vivido dentro das relações assimétricas de poder, que não podem ser consideradas como um conjunto de conhecimentos acumulados, em forma de um reservatório. Ainda, segundo Giroux (1997, p.185):

Os estudos culturais, considerando novos objetos (isto é necessariamente não canônicos) e os inserindo em uma visão relacional e não hierárquica, estimulam

um questionamento das premissas das práticas educacionais e políticas dominantes. Ainda mais importante, os estudos culturais podem se recusar a concordar que “a literatura e qualquer outro objeto cultural são distintos da política” e podem assim reconsiderar os acessórios ideológicos e políticos de um texto ou qualquer conjunto de textos.

A estruturação das diretrizes curriculares nacionais da Física não permite um processo formativo do conteúdo que entenda a sua construção político-cultural de forma integrada ao conteúdo específico de Física, o que dificulta o desenvolvimento de currículos que abrajam o aspecto histórico-social integrados aos conteúdos específicos.

Para Giroux, a necessidade de uma práxis contradisciplinar é uma alternativa contra a visão de cultura, como um reservatório de conhecimento acumulado. Tal prática teria mais eficácia, caso os intelectuais resolvessem desempenhar um papel de resistência em uma práxis que tenha um papel político. Agora nos resta a pergunta: Qual o perfil de professor que poderá contribuir para uma práxis contradisciplinar?

Certamente não é o modelo de formação de professores estabelecido nas diretrizes curriculares para a formação do físico e do professor de Física, pois como estudamos até o momento, o documento estabelece um modelo de formação de professores tecnicista; em termos críticos, estaria bem próximo do que Giroux chama de intelectual orgânico conservador. Por ditar uma formação mercadológica, as premissas das diretrizes querem formar professores intelectuais conservadores, que agem como agentes do *status quo*, propagando as ideologias da classe dominante, seguindo uma diretriz de formação para atender às necessidades desta sociedade nas relações para deixar como está, e não com a missão revolucionária de formar professores para a transformação social, com a intenção de lutar contra as relações de dominação nas diversas esferas da sociedade.

O que estamos propondo neste estudo, não é uma radicalização contradisciplinar, mas acreditamos que a integração entre as disciplinas de conteúdo específico com as de conteúdo pedagógico poderia amenizar os problemas decorrentes da visão de Ciência e de ensino aprendizagem de professores de Ciências. Utilizaremos as reflexões teóricas de Giroux para procurarmos estabelecer esta integração; no sentido cultural proposto por Giroux, busca-se preservar a integridade teórica e política, bem como uma análise crítica do próprio conhecimento. Apesar de

não assumirmos radicalmente uma postura contradisciplinar, acreditamos que, ao assumirmos uma reflexão teórica de integração, já estamos fazendo o papel contra-hegemônico da fragmentação das disciplinas fundamental para o programa cultural de Giroux.

Como são diretrizes curriculares para a Física, não seria lógico pensarmos numa valorização igual das disciplinas, tanto de conteúdo específico de Física, quanto às de humanidades. O que deve ficar claro, é que a maneira como as diretrizes curriculares nacionais foi estruturada fica evidente, a desarticulação entre estas disciplinas. O que pode ajudar a superar este problema é uma articulação das disciplinas de conteúdo específico com as de conteúdo histórico-social, pois contribuiria para a estruturação de currículos, que visem uma formação para a transformação, ou seja, uma Física e um ensino de Física para a transformação das relações de poder na sociedade.

Além da licenciatura e do bacharelado em Física, a forma de estruturação das diretrizes curriculares abre possibilidades de criação de cursos de graduação de Física, associado a outras áreas, como alguns que já existem no Brasil como Física Biológica, Física Médica, Engenharia Física; todos na modalidade bacharelado. O problema é que a maioria dos profissionais que faz bacharelado poderá continuar a carreira acadêmica e se tornar professores universitários, que participarão da formação dos licenciandos, que atuarão na Educação Básica. Estes cursos não oferecem nenhuma formação pedagógica para estes formadores atuarem na Educação Superior, o que sugere uma prática de ensino de senso comum, que os licenciandos poderão reproduzir no Ensino Médio. Mesmo aqueles que não vão seguir a carreira de docência, poderão ir para a Indústria, por exemplo. Como serão suas relações humanas? Como o conhecimento físico desarticulado do humanístico poderá subsidiar a atuação destes profissionais, frente às relações entre ciência, tecnologia, sociedade, meio ambiente, que encontrarão em suas relações de trabalho?

Nos módulos seqüenciais, nos cursos de licenciatura, é dado um direcionamento maior para a formação pedagógica, principalmente em metodologias de ensino aprendizagem. O que para Giroux (2003) é sintomático, pois a pedagogia, vista apenas como meio teórico para dar subsídio a metodologias de ensino e aprendizagem, a torna

despolitizada. Giroux (1997, 2003) defende a pedagogia como forma de política cultural capaz de fornecer fundamentação para um processo formativo, que permite entender as relações de política, ideologia, cultura e poder, não somente nas metodologias de ensino e aprendizagem na sala de aula, mas também, e principalmente, uma criticidade sobre as instituições fora dela.

As diretrizes curriculares nacionais, ao assumirem uma visão de formação para o mundo do trabalho na versão 'aplicacionista', contribuem para o fortalecimento de uma cultura tecnicista que tem por objetivo fazer os jovens adaptarem-se à sociedade, e não com o intuito de desenvolver nos jovens a vontade de superar as relações de opressão para a transformação social. Isto corrobora, cada vez mais, com a dicotomia entre a cultura científica e humanística.

Se os documentos oficiais contribuem para esta desarticulação, a pergunta que nos cabe fazer é: Os professores universitários brasileiros da área de ciências da natureza possuem uma visão desarticulada da cultura científica e humanística? Quais são suas visões de currículo, ensino-aprendizagem e de HFSC? Uma vez que os elaboradores das Diretrizes Curriculares Nacionais são professores universitários, podemos arriscar uma resposta, com quase certeza de que esta visão é desarticulada, com intensa priorização ao conteúdo científico, em detrimento dos conteúdos pedagógicos.

2) Estruturação Curricular

Esta categoria reflete concepções de professores universitários sobre: Que saberes são importantes para os licenciandos que vão atuar no Ensino Médio? Que possíveis mudanças poderiam ocorrer na matriz curricular do curso de graduação em Física? Que conhecimentos os professores universitários têm dos documentos oficiais, que direcionam a implementação de propostas curriculares para o Ensino Médio e Superior?

Cortela (2004), ao entrevistar os docentes para conhecer se o curso de licenciatura em Física era satisfatório para formar um professor do Ensino Médio, constatou que, dentre 10 docentes entrevistados, a maioria concorda que a licenciatura, da forma como está estruturada (sistema 3+1), não forma professores para o nível Médio de maneira satisfatória. Quase a metade deles está disposta a tentar fazer

mudanças; outros, querem implementá-las, mas não sabem como ou porque fazê-las.

Podemos destacar algumas falas dos sujeitos:

Professor D: *Olhe, eu acho que a gente não está formando bem não! Eu acho que... uma coisa a gente deveria proporcionar a eles e eles não têm, com certeza, eles deveriam sair daqui seguros...sobre o conteúdo que têm que ensinar, né.; [...] então, pelo menos o conteúdo ele deveria saber com segurança, aliado a isso, técnicas de transmissão, né... de ensino.; [...] eu percebo que eles têm falhas assim é... graves. E, mais que as falhas, é...a insegurança, tá!; [...] como o cara não consegue estudar nada, ele tem a ilusão de que vai fazer um curso de Física, por exemplo, sem ter que estudar no final de semana. Doidera completa...; Aqui não é lugar pra esse tipo de coisa, o cara tem que estudar.*

Professor H: *Não, eu acho que não está.; Crítico.[...] eu acho que nossa licenciatura não tem um perfil bem fundamentado. [...] quando eu falo a gente, é o departamento todo, nós todos professores. A gente não tem bem claro se a gente quer formar o pesquisador, o físico ou se a gente quer formar o professor, que vai lá para o ensino médio.[...] então, cada um leva pro lado que mais lhe atrai.; Aquela visão, né, esquecendo que o nosso curso é de licenciatura, que a gente tá formando professor.[...] Eu acho que falta esta visão para o departamento.; A minha tendência é formar o professor, o licenciando. Esse é o curso que eu dou aula.*

Um aspecto notado, é que boa parte dos profissionais não tem muita consciência e preocupação de ter uma visão mais global do currículo relacionado a sua prática de ensino, o que é perigoso, porque acabam tendo uma visão despolitizada da sua prática docente. Como podemos observar:

Professor I: *Eu não tenho ingredientes prá te falar, por que eu dou uma disciplina, não tenho uma visão global do curso de licenciatura [...]; [...] se você perguntar prá mim se eu tenho uma visão da formação, como um todo, eu não tenho.*

Sobre o processo de reestruturação curricular do curso, foi feita para os docentes a seguinte pergunta: Hoje há uma discussão na universidade para a reestruturação do curso de licenciatura em Física. O que o senhor acha que deveria ser mudado? Muitos docentes disseram que as cargas horárias em educação, deveriam ser aumentadas e trabalhadas de forma mais distribuída no curso.

Professor H: *É... as disciplinas didáticas, as disciplinas de práticas de ensino, eu aumentaria estas disciplinas. Colocaria uma carga horária maior [...]. Mas que fosse bem aplicada mesmo: saísse da sala de aula e fosse lá prá escolas de ensino médio. E o conteúdo de Física Básica, eu daria uma boa reformulada: pegava um livro texto básico, que fosse o próprio Halliday (I, II, III, IV e V), dava estes livros em quatro anos, muito bem dados, explorava muito bem e o aluno estaria preparado prá ir pro ensino médio. Mas, principalmente, tiraria o aluno da sala de aula e mostrando pra ele, inserindo já o aluno na escola pública. Não adianta ele ficar aqui na sala de aula, sair e é um profissional que não sabe nem por onde começar. Não tem o menor perfil de professor.*

O fragmento abaixo mostra que o discurso do entrevistado assemelha-se ao da comissão de físicos, encarregada de elaborar as diretrizes curriculares nacionais da

Física. Esta comissão foi constituída, basicamente, por bacharéis, com doutorado em Física, para quem o conhecimento pedagógico não é prioritário para ser um professor de Física. Neste caso, poderia haver mudança do modelo anterior (3+1) para o modelo (2+2), mas a abordagem dos conteúdos continuaria tradicional. Percebe-se na sua fala, que seus colegas de departamento, por ser a maioria bacharéis, parecem ter uma tendência a seguir o modelo (2+2).

Professor B: Eu te digo da Física, tá! A da Física teve só bacharel, aquele cara que, sem dúvida nenhuma, 90% da comissão é aquela que fala (batendo o punho na mesa, sem alterar o tom de voz, nem afisionomia e nem o bom humor): _ Licenciatura? Você não precisa fazer licenciatura pra dar aula, que é isso! Imagina, você não precisa saber nada... Estrutura pedagógica é perfumaria!; Bom, houve uma rebelação do pessoal mais voltado para o ensino e tão fazendo uma proposta alternativa. Então, hoje, nós temos duas propostas correndo aí e ninguém sabe qual usar: a primeira delas, licenciatura e bacharelado dois anos em comum, a partir do 2º ano, separa.; segunda, coisas andando separadas, com prática de ensino desde o início, você com uma grande interação com a rede oficial de ensino, alguma coisa assim.; [...] o meu "feeling" deste departamento diz o seguinte: vai ser dois mais dois... Tomara que eu esteja enganado. Eu sou um dos poucos que acha que deve ser separado.

Quanto à leitura dos PCNs e das diretrizes curriculares nacionais para a formação de professores, e especificamente a da Física, a maioria dos sujeitos pesquisados pela autora não leram ou fizeram interpretações equivocadas sobre estes documentos. Algumas falas significativas desta visão:

Professor E: Porque, até hoje, a gente não conseguiu, pelo menos as pessoas que estão envolvidas não... uma coisa tá contraditória com a outra, até agora...; As normas do MEC, as normas superiores dizem uma coisa e o que a XXXX está propondo pros... pros cursos de licenciatura e bacharelado, um núcleo comum, não tá de acordo com ... com a lei.; 2- [...] tanto um bacharel quanto um licenciando, eles deveriam ter o mesmo conhecimento;

Professor I: Eu já ouvi falar dessas mudanças mas eu não conheço, não sei do que se trata.; Não que eu tenha participado, não. E nem... até me arrisco a dizer que não fui convidado, por que eu costume... eu atenderia; Eu tenho interesse, mas não estou sabendo não.

Outra questão relevante detectada pela autora é que a maioria dos professores universitários, quando questionados sobre o que o professor do Ensino Médio precisaria saber para ser um bom professor, respondeu que o bom profissional é aquele que domina o conteúdo científico específico que vai ensinar:

Professor D: A profissão dele vai ser ensinar, então, pelo menos, o conteúdo ele deveria saber com segurança, aliado às técnicas de transmissão... de ensino.; Então, quando a gente tiver dom melhor, se não tiver, o meio tem que prover e expor ele a um... uma reflexão sobre essas ideias.; [...] eu acho que o cara tem que se dispor.; Então o professor, ele tem que chegar na sala de aula e ...e trazer os alunos pra disciplina dele.

Professor E: *Isso é uma discussão que a gente vêm tendo na reformulação aí do curso e tentando fazer o curso de licenciatura e bacharelado separados; 2- [...] eu acho que um professor que vá dar aula no segundo grau, ele precisa ter conteúdo também, primeira coisa, se ele não... se ficar num curso que só tenha um blá,blá,blá, e uma visão muito superficial dos conceitos [...]; 3- ele vai... ele vai... ele vai conseguir transmitir melhor pros alunos [...]; 4- eu acho que entraria as outras disciplinas da parte de educação também, prática de ensino [...].*

Resultados semelhantes foram encontrados por Chicarino (2009). De acordo com a autora, os argumentos de cientistas sugerem que os professores têm deficiências de conhecimento de conteúdos específicos em sua formação; daí justificarem a importância de materiais didáticos para o ensino de Ciências, como microscópios, elementos comuns de laboratório diretamente relacionados a sua prática científica.

1CA: *Quando era estudante secundário (ele se formou em 1934), aprendi gramática histórica, a origem do Português, história das ciências, latim. O ensino era muito bom, mas depois sofreu uma degringolada. Quando fui para França (no exílio de 67 a 85), houve modificações para simplificar o ensino, o que não é bom.*

1CA: *Além disso, os colégios não têm equipamento. Hoje a ideia é dar computador, mas isso não é tudo. Microscópios e outros equipamentos fundamentais não são dados.*

Os dados apresentados da pesquisa feita por Cortela (2004) revelam um descontentamento por parte dos docentes que atuam no curso de licenciatura. Os sujeitos querem mudanças, no entanto os mesmos não sabem como fazê-las. Quando opinam sobre possíveis mudanças, seus discursos estão baseados na visão tradicional de currículo, nos quais os futuros professores deveriam aprender “métodos de transmissão de ensino”, em que o conhecimento do conteúdo específico é prioridade em relação ao pedagógico. Em algumas situações, os sujeitos apresentam preocupação em relação à reforma curricular contemplar disciplinas de conteúdo pedagógico, simultaneamente ao conteúdo específico, mas de forma desarticulada de suas próprias práticas de ensino.

Uma análise da visão destes docentes pode ser feita a partir da reflexão de Giroux (1997) sobre as preocupações tradicionais dos educadores que são questões familiares: Que matérias serão ensinadas? Que formas de instrução serão usadas? Que tipos de objetivos serão desenvolvidos? Como podemos combinar os objetivos com formas correspondentes de avaliação? De acordo com Giroux por mais que sejam

importantes estas questões, elas são superficiais, por não oferecem subsídios para explicitar a natureza e a função do currículo oculto.

Um professor intelectual crítico para Giroux, além de dominar o conteúdo específico de sua disciplina, tem que conhecer a estrutura política e ideológica, que caracteriza a sua prática docente. Isto quer dizer, entre outras questões, conhecer a ideologia e política da legislação educacional, pois isto, na maioria das vezes, é direcionador da sua prática de ensino. Pois é devido ao tipo de política e ideologia que norteiam a legislação, é que se caracteriza o currículo oculto.

Os sujeitos pesquisados por Cortela (2004) mostram-se desinformados, pois a maioria não conhece os documentos oficiais responsáveis pelo direcionamento do currículo que, por meio de uma ideologia e política, guarda a sua intencionalidade. Agora fica a seguinte questão: Como estes sujeitos desinformados sobre estas temáticas, vão conseguir desvelar os interesses, que guiam o currículo e sua prática docente? Enquanto intelectuais, não seria papel deles, desvelar o oculto que está na legislação que regulamenta o currículo que elaboraram e que está em atuação?

Além das definições de professor intelectual, crítico e transformador, propostas na seção 4.3.1, esta categoria também é útil para:

[...] Primeiro, ela significa uma forma de trabalho na qual o pensamento e atuação estão inextricavelmente relacionados, e, como tal, oferece uma contra-ideologia para as pedagogias instrumentais e administrativas que separam concepção de execução e ignoram a especificidade das experiências e formas subjetivas que moldam o comportamento dos estudantes e professores. Segundo, o conceito de intelectual transformador faz entrarem em ação os interesses políticos e normativos que subjazem às funções sociais que estruturam e são expressas no trabalho de professores e estudantes. Em outras palavras, ele serve como referencial crítico para que os professores problematizem os interesses que estão inscritos nas formas institucionais e práticas cotidianas experimentadas e reproduzidas nas escolas. Finalmente, encarar os estudantes e professores como intelectuais representa uma demanda adicional por um discurso crítico que analise como as formas culturais acercam-se das escolas e como tais formas são experimentadas subjetivamente. Isto significa que os educadores críticos precisam compreender como as formas materiais vividas de cultura estão sujeitas à organização política, isto é, como são produzidas e reguladas (GIROUX, 1997, p. 136-137).

O papel do professor como intelectual transformador, como exposto acima, nos induz à seguinte pergunta: Os sujeitos entrevistados pelas autoras dos trabalhos são intelectuais transformadores? Certamente diríamos que não, pois não demonstram

interesse político pelas instituições que elaboram as diretrizes, que estabelecem o currículo que pode influenciar diretamente em sua prática pedagógica. O mais grave ainda, a despolitização afasta estes intelectuais da esfera pública, talvez por darem maior valor à pesquisa científica, em detrimento da prática pedagógica. Este afastamento da esfera pública é corroborado por Cortela (2004), que constatou na sua pesquisa que poucos docentes sabem alguma coisa do funcionamento da escola pública, onde supostamente seus alunos irão atuar. Diante disso, estes profissionais estão sintonizados com a perspectiva do modelo de professor especialista técnico; o professor tradicional e, a partir da investigação de suas concepções de ensino-aprendizagem, podemos tentar corroborar a nossa interpretação.

3) Concepção de Ensino-Aprendizagem/Metodologia de Ensino

Nesta categoria, analisaremos as concepções de ensino e de aprendizagem de professores universitários, bem como as metodologias de ensino utilizadas em suas aulas.

Chicarino (2009), em sua pesquisa apresenta a concepção de senso comum de ensino aprendizagem do cientista por meio de sua fala, “o professor passa o conhecimento para o aluno”, ou seja, uma visão de professor como um transmissor do conhecimento. Ainda, uma visão acrítica das questões sociais de formação de professores dos fatores, que permeiam o ensino-aprendizagem, quando o cientista afirma que não há nenhum motivo para que não se ensine bem Ciência.

1CA: Os professores de ciência em geral não sabem como ensinar. O Brasil forma mal os seus professores e aí eles passam mal os seus conhecimentos para os alunos. Com isso eles não aprendem a gostar de física e química.

1CA: Hoje os meninos não gostam de matemática, porque é mal dada. Não há nenhum motivo para que não se ensine bem a Ciência.

1CA: Claro, e também fazer com que os estudantes pensem no que estão aprendendo. Além de receber as aulas, eles têm de caminhar por si mesmos e avançar.

Cortela (2004), quando questionou os professores sobre como preparam suas aulas, verifica que a maioria busca utilizar materiais e recursos didáticos diferentes do quadro e giz e elaborar textos baseados em literatura recente. No entanto, ao ministrarem suas aulas, o fazem de forma tradicional, como podemos interpretar nas seguintes falas:

Professor C: *A gente ainda tem, né, aquele costuma de trabalhar com giz e lousa.; [...] é o mais tradicional, porque você tá numa turma de engenharia, são... sessenta numa sala, é... eu ainda não consegui, assim, sabe, pensar num outro recurso, né...; Mas aí, você vai acostumando naquilo que você já tá e continua fazendo a mesma coisa, né.; Então, eu tô tentando aplicar [...] uma proposta da Intel, de utilização de um laboratório de informática.; Então, aí eu tô pegando o conteúdo lá do... que a gente vê no laboratório de ensino, né e estamos tentando trabalhar esse conteúdo usando o micro.*

Professor H: *Bem, as aulas de Física, pelo menos as que eu tenho visto aqui, elas são bem clássicas, aquele negócio de lousa e giz. Você explica, explica; se os alunos têm dúvida, você explica de novo, né. Faz exercícios numéricos daquele assunto; dá lista de exercícios; discute com os alunos, pede que eles tragam material adicional prá discutir aquele assunto. É dessa forma que eu acho que eles estão aprendendo.; [...] são muito parecidas: como eu aprendi é como eu ensino.*

No entanto, a autora afirma que, apesar dos sujeitos ensinarem de forma tradicional, eles entendem que os estudantes não aprendem só de forma tradicional:

Professor C: *Então, eu acho que a forma como se aprende, ela é uma coisa meio... eu não consegui ainda identificar os mecanismos, né! Porque você pode morrer de ensinar uma coisa, mas se o indivíduo num... é uma coisa dentro do próprio indivíduo que... sei lá, é um clique, um negócio assim que dá e que, de repente, ele começa a aprender.; Eu só sei que cada um parece que é de um jeito, né!; [...] se a gente consegue transmitir, sei lá, numa classe normal..., eu acho que, 10 ou 20% conseguem aprender da forma que a gente faz a exposição de conteúdos e com resolução de exercícios [...]; E eu não sei se isso é aprender o conteúdo, porque esses 10 ou 15% são aqueles indivíduos que têm a facilidade de... de tá conectado com o que eu falo, né!; Mas eu num sei, assim, as teorias de aprendizagem, como é que é esse negócio aí; Que o jeito que a gente ensina, eu acho que deve ser o 4º ou o 5º colocado, deve ter um bem melhor pra isso. Agora, já no laboratório, eu acho que é um pouco diferente. Mas, mesmo assim, a gente não consegue atingir mais do que, eu acho, que 25% dos alunos.*

Todos os sujeitos entrevistados afirmaram que não fazem um trabalho interdisciplinar com as disciplinas de conteúdo específico entre si e também com as pedagógicas. A maioria afirmou ter conhecimentos pedagógicos insuficientes para ministrarem suas aulas:

Professor D: *Bom é... teriam duas,... a de Física computacional... que faz ponte com o Cálculo Numérico; Não há uma conexão maior com outras disciplinas, mesmo porque não há espaço nas outras disciplinas pra solicitarem trabalhos numéricos ou coisas desse tipo, não é?; Já a outra disciplina, ela tem conexões bastante... ou era pra ter (grifo da autora), pelo menos, conexões enormes com Instrumentação para o Ensino da Física, né?; Era pra ter (grifoda autora), né, uma interação maior entre as disciplinas como Didática e a própria Prática de Ensino da Física, né. Mas, como nós estamos vivendo essa situação distante ao longo dos anos e essa questão da integração entre as disciplinas é... ta virando consenso...nos últimos tempos; Então, o quê que tá faltando? Ah, ta faltando disciplinas, conversar com os professores, esse tipo de coisa? Realmente, tá faltando...; Mas na realidade, o que existe hoje é o seguinte: por exemplo, não se troca ideias livremente entre os colegas porque existe... é suposto que eu saiba, como é que eu vou contar que não sei?*

Professor B: *Eu vou ser muito sincero com você: eu nunca vi praticamente ninguém fazer isso, também não faço.; [...] às vezes, eu até pergunto: _Olha, você foi até onde?; Mas não, assim, uma coisa que a gente sente pra elaborar uma proposta... não, de jeito nenhum.; Havia uma proposta de fazer isso... Eu peguei o curso de Instrumentação I e estava com intenção de continuar com o curso II. Já tinha até conversado, com outro professor que dá Prática de Ensino, procurando fazer um link [...]; [...] só que,*

infelizmente, o departamento achou que era melhor passar a II para outro professor e eu fiquei... sem poder fazer nada.

A falta de conhecimento pedagógico está expressa, principalmente, quando a pesquisadora questiona sobre as dificuldades que os professores universitários sentem na sua prática de ensino:

Professor I: Dificuldades?... Às vezes, eu sinto que... eu imagino que houvesse, que... que... que eu pudesse colocar os conceitos... como é que eu ...(silêncio, suspiros) Talvez eu pudesse... é... deve ter...gostaria de ter mais... recursos pra... colocar o conteúdo, pra poder trabalhar! Imagino, eu, que tenha técnicas, métodos mais eficientes pra você... atingir, chegar até o aluno, passar...essa informa... sei lá. Eu sei que hoje em dia, não tem mais essa ideia de passar informação, eu até entendo que não deve ser bem por aí que deve funcionar, eu sinto que não é bem assim que funciona. Mas, digo, é justamente não ter que fazer desta forma...

Talvez, tais dificuldades pudessem ser amenizadas, caso os docentes começassem a interagir com outros departamentos da Universidade como, por exemplo, o de educação, com pesquisadores que trabalham na área de ensino de Ciências. Chicarino (2009), além de examinar as concepções de educação de cientistas de base, analisou também visões de cientistas da área de ensino de Ciências, que apresentavam uma visão mais abrangente do processo de ensino-aprendizagem. De acordo com Chicarino, a cientista da área de educação em Ciências considera que não basta os cientistas da pesquisa de base lerem os artigos produzidos pela pesquisa em educação, entendendo ser necessário que eles revejam, à luz desses conhecimentos, suas próprias posições e se questionem sobre elas.

4C: Mas eu acho que tem primeiro que repensar as posições que ele tem sobre educação; quer dizer, todos os dados indicam, por exemplo, que o pessoal dos institutos é muito mais voltado para os conteúdos nos institutos de ciência de base. Estão muito preocupados com o conteúdo; por exemplo, o pessoal de escola, daí falando do ensino superior, o pessoal de escola profissional do tipo Poli, Medicina, eles estão preocupados também com aplicação prática, provocaram um distanciamento. As pessoas, eles não ofertam porque querem dar o melhor etc, mas eles não pensam no âmbito da questão, a questão é muito mais conteúdo do que cultura.

A senhora faz alguma associação entre cultura e educação científica?

4C: Bom, eu acho que Educação científica quer dizer, aprender falar, discutir ciência; é parte da cultura. Quer dizer, eu acho que ainda tem muita separação entre as duas culturas; eu acho que está tendo uma tendência de rever essa separação. Há algum tempo atrás, Vargas Llosa, para citar aquela introdução, ele acha que tem uma outra cultura, que é a cultura da mídia. Outras pessoas propõem que tem uma cultura tecnológica; mas, enfim, eu acho que essa separação persiste, tem tido episódios agudos como teve aquela World Science, aquela do Sokal, aquela briga entre físicos, e acho que eu estou, de acordo com o Snow, ainda que exista uma arrogância dos cientistas em relação ao pessoal que faz ciências humanas. [4C]

E a senhora acha que isso tem implicação?

4C: *Claro; é claro. Também, a forma de postura, a relação com o aluno que é essencialmente a questão da educação, certo (...) Eu acho que...quer dizer, tem havido um crescimento dos museus, centros, etc.; isso eu acho importante. Tem havido uma série de exposições e a mídia escrita e falada, eu acho que não progrediu muito, não. Quer dizer, embora já haja uma série de programas de televisão, têm colunas nos jornais, eu acho que não chega a alcançar a população toda.*

As falas dos docentes entrevistados por Cortela (2004) e as análises de entrevistas feitas por Chicarino (2009) com docentes universitários mostram a falta de conhecimento pedagógico dos mesmos e uma prática de ensino tradicional. As falas dos sujeitos sugerem um ensino por transmissão, quando declaram que utilizam praticamente o quadro-giz; uma prática de ensino voltada para o conteúdo específico baseada na resolução de problemas, sem uma crítica do que é ciência e de suas relações histórico-sociais.

Uma leitura desse quadro, a partir de Giroux (1997, p.37-38), pode caracterizar essa visão da escola e os processos de ensino e aprendizagem como tradicional. Para o autor, uma visão pedagógica tradicional é carregada de uma racionalidade escolar, na qual a aprendizagem do conhecimento é tratada como algo a ser consumido; as escolas, como locais meramente instrucionais, destinadas a “passar”, da melhor forma possível, para os estudantes, uma “cultura” e conjunto de habilidades comuns que os capacitem a operar com eficiência na sociedade mais ampla. Quando os sujeitos entrevistados por Cortela (2004) opinam que ensinam o conteúdo tradicional e utilizam a resolução de problemas como estratégia, podemos perceber que neste caso, o conhecimento científico da Física é visto como um reservatório. De acordo com Giroux (1997, p.37) a lógica da racionalidade e o processo de escolarização tradicional,

concentra-se em questões referentes à maneira mais completa ou eficiente de se aprender tipos específicos de conhecimento, criar consenso moral, e oferecer modos de escolarização que reproduzam a sociedade existente. Por exemplo, os educadores tradicionais podem indagar como a escola deveria esforçar-se para atingir determinada meta predefinida, mas raramente indagam por que tal meta seria benéfica para alguns grupos socioeconômicos e não para outros ou por que as escolas, como atualmente organizadas, tendem a bloquear a possibilidade de que classes específicas consigam uma medida de autonomia política e econômica.

Na fala dos sujeitos é nítida a preocupação em aprender o “como” ensinar um determinado conteúdo e não o “porquê”. O professor intelectual crítico, antes de

perguntar o “como” deveria se preocupar em perguntar o “porquê” de ensinar determinado conteúdo, pois disto, poderia emergir questões de natureza da ciência e, em uma visão mais abrangente, do entendimento político da formação curricular do curso de graduação em que ele trabalha. Cortela (2004) explicitou algumas dificuldades dos sujeitos no como ensinar, ou seja, transformar o conteúdo específico em conteúdo pedagógico : Como levantar as concepções prévias, que os alunos têm a respeito do assunto? Como preparar as aulas, buscando oferecer situações, que contrariem as concepções que estejam incoerentes ou incompletas? Como utilizar analogias, metáforas e outros recursos para representar as informações, que são necessárias aos alunos? De que forma suprir as lacunas de conhecimentos detectadas? O fato é que para Giroux (1997, p. 40) estas questões de metodologia de ensino não são prioritárias, pois

[...] Os professores são treinados para usarem quarenta e sete modelos diferentes de ensino, administração ou avaliação. Contudo, eles não são ensinados a serem críticos destes modelos. Em resumo, ensina-se a eles uma forma de analfabetismo conceptual e político. Os indivíduos que reduzem o ensino à implementação de métodos deveriam ser dissuadidos de entrar na profissão docente. As escolas precisam de professores com visão de futuro que sejam tanto teóricos como praticantes, que possam combinar teoria, imaginação e técnicas. Além disso, os sistemas escolares públicos deveriam cortar suas relações com instituições de treinamento de professores que simplesmente formam técnicos, estudantes que funcionam menos como estudiosos e mais como funcionários. Esta medida pode parecer drástica, mas é apenas um pequeno antídoto quando comparada com o analfabetismo e incompetência crítica que estes professores com frequência reproduzem em nossas escolas.

Em outras palavras, para Giroux, em vez dos professores e administradores aperfeiçoarem metodologias, precisam, antes, abordar tópicos relativos às funções mais amplas de escolarização. Temas como, por exemplo, filosofia, teoria social e política, com finalidade de emancipação e transformação social.

Outro ponto importante encontrado por Cortela (2004), é que todos os sujeitos entrevistados afirmaram não partilhar de um trabalho interdisciplinar, nem com as disciplinas de conteúdo específico entre si, nem com as pedagógicas. Isto pode ser fruto da forma de organização político-administrativa da universidade em departamentos. O que é corroborado com Giroux (1997, p.179), para quem o desenvolvimento histórico de disciplinas isoladas, alojadas em departamentos

segregados, produziu uma ideologia legitimadora, que dificulta uma análise cultural combinada, suprimindo o pensamento crítico.

Ainda, em uma análise a partir de Giroux (1997), essa dificuldade dos sujeitos interagirem entre si, é culpa, em parte, dos departamentos por oferecerem várias recompensas e punições. Aqueles sujeitos que não seguem a classificação hierárquica das disciplinas, ou seja, aquele sujeito que para de se expressar dentro da disciplina, é excluído. Isto é sintomático na maioria dos cursos de graduação no país; quando os professores de Física procuram conhecimento na área pedagógica, a partir de leituras e até mesmo pesquisa, é excluído pelos outros colegas.

Para Giroux (1997), a estrutura disciplinar das ciências humanas com o estudo da Literatura com o objetivo de formar especialistas, tende a afastá-los da esfera pública. Esta crítica de Giroux também é válida para as Ciências Naturais, como os cientistas, que se especializaram em uma determinada área e apenas compartilham suas pesquisas entre os pares, não atingindo a esfera pública. Um exemplo deste afastamento da esfera pública foi detectado por Cortela (2004), quando os docentes universitários entrevistados declararam não saber como funciona a escola pública, na qual os futuros professores que estavam formando iriam atuar. Ainda boa parte destes cientistas forma professores e acaba disseminando concepções tradicionais sobre o ensino e a aprendizagem para os futuros professores que, muitas das vezes, as reproduzem em suas práticas de ensino no Ensino Médio. Camargo (2003) detectou uma maior influência dos docentes de disciplinas específicas, na forma como os licenciandos da instituição pesquisada ministram suas aulas, durante o estágio supervisionado, do que naquelas deixadas pelos docentes das disciplinas pedagógicas.

O que acontece é que os professores universitários são especialistas em uma determinada área do conhecimento e sua função é interdisciplinar, porque ensinam uma determinada ciência, mas, no entanto, realizam esta prática de forma tradicional. A questão é que a interdisciplinaridade não pode ser encarada apenas como modismo, como bem afirma Giroux (1997, p.183):

[...] O problema é que nenhuma alternativa sólida à estrutura disciplinar foi desenvolvida dentro da academia, e, como resultado, movimentos tais como os estudos americanos devem paradoxalmente esforçar-se para tornarem-se disciplinas. Assim, embora estes movimentos muitas vezes comecem com uma

perspectiva crítica, eles abandonam a análise crítica quando obtém maior sucesso. À medida que tais movimentos resistem à disciplina, sua seriedade é questionada. Seus profissionais são considerados diletantes em vez de verdadeiros estudiosos e seus empreendimentos são descartados como mero modismo. Nos estudos americanos a ideia de interdisciplinaridade tornou-se uma maneira dos profissionais questionarem uma hierarquia particular, mas não ofereceu uma alternativa para a ordem hierárquica. E à medida que os estudos americanos se estabeleceram com mais firmeza, a interdisciplinaridade recuou em importância na retórica do movimento.

A ideia de Giroux (1997) de que a interdisciplinaridade não ofereceu uma alternativa para a ordem hierárquica é bem condizente com a crítica que Kawamura (1997) faz, quando afirma que o ensino de disciplinas como a biofísica, uma área considerada interdisciplinar, ainda que tenha passado a produzir novos campos do saber, não resolveu o problema da fragmentação. Quando a interdisciplinaridade comporta um recorte educacional em propostas que procuram tratar de um tema, desenvolve diferentes aspectos deste tema, mas, na maioria das vezes, apenas elege um objeto de estudo comum, sem resolver o problema de como estudar este objeto, permanecendo a questão de como compor um novo saber.

De acordo com a autora, uma maneira de resolver a problemática é um novo reconhecimento da disciplinaridade, ou seja, demarcar o espaço da Física e explicitar seu campo de legislação. Assim, de acordo com Kawamura, (1997, p.5):

Não só ensinar física, mas, além disso, mostrar o que é a física. Mostrar qual sua maneira de olhar, o que ela não é capaz de olhar, onde é preciso olhar de outra maneira e onde ela pode se compor com outros olhares. Quer dizer, não só o conteúdo da física, mas qual seu ponto de vista e seus limites. A ideia de disciplinaridade é importante para demarcar e para poder compor. Somente é possível compor um todo juntando as partes. A disciplinaridade é o ato de conhecer essas partes. Um todo é muito mais do que a soma das partes, mas é preciso que você tenha as partes.

Um outro aspecto que parece igualmente fundamental para ir além da física, construindo uma ideia de ciência mais abrangente, é a recomposição entre o saber e o poder (que está lá desde a crítica à fragmentação). Recompôr o “aprender” e o “aprender para quê”. E essa recomposição envolve a explicitação da relação entre ciência e contexto social. A disciplinaridade, entendida da forma como colocada acima, permite justamente separar os limites entre o saber disciplinar e as esferas de ação decisiva. Permite explicitar o espaço de escolhas possíveis, para além das certezas da ciência. Permite deixar claro que estas escolhas podem e devem ocorrer, embora em outro nível, no qual o conhecimento é indispensável, composto por vários conhecimentos, mas ao qual devem ser acrescentadas ações e intervenções, com perspectivas de transformação.

Essa visão apresentada por Kawamura nos remete ao entendimento do que vem a ser a interdisciplinaridade. De acordo com a exposição da autora, a interdisciplinaridade não pode ser vista apenas como interação ou junção de duas disciplinas, com a finalidade de constituir um novo conhecimento. Ela pode surgir da conscientização dos sujeitos de um ou vários problemas que a sua disciplina não consegue resolver e se faz necessário procurar outros conhecimentos diferentes, para buscar uma possível solução e até mesmo levantar outros questionamentos. Desta forma, a visão de interdisciplinaridade defendida neste trabalho, não é de simplesmente um docente isolado integrar disciplinas e formar um novo conhecimento, mas de um conjunto de docentes de diferentes disciplinas profissionais, que interajam entre si, com a finalidade de uma educação transformadora.

Esse caminho adotado não é tão radical quanto a proposta de Giroux sobre a contradisciplinarização, mas contribui para este processo, porque permite uma maior interação entre os diferentes departamentos e oferece uma posição contra-hegemônica da forte disciplinarização, que contaminou a universidade brasileira. Esta resistência é papel do professor transformador ou do professor que almeja tornar-se transformador. A visão contra-hegemônica da disciplinarização de Giroux vai além da universidade; ela concebe uma atuação dos profissionais da universidade das diversas áreas que formem alianças entre si para, por exemplo, combater o racismo entre outras questões sociais. A pesquisadora da área de ensino de Ciências, entrevistada por Chicarino (2009) apresenta, no seu discurso, uma perspectiva transformadora, no sentido de ter uma visão crítica e apontar para a importância de articulação do conhecimento humanístico com o conteúdo científico e a valorização da divulgação científica, o que mostra uma preocupação com a esfera pública.

Ainda fica a seguinte pergunta: Como os professores universitários de Física³⁴ poderiam formar alianças, para resolverem problemas de cunho educacional com outros professores de Matemática, Química, Sociologia, Filosofia, Pedagogia e o Ensino de Ciências, para minimizar os problemas do ensino de Física ou Ciências do Ensino Superior e Básico? É esta interdisciplinaridade que defendemos, sobretudo, a interação

³⁴ Neste caso estamos nos referindo aos professores universitários que são cientistas de base e a maioria não possui formação pedagógica e ministram aula nos cursos de graduação.

dos físicos com os historiadores, sociólogos, filósofos que são disciplinas das ciências humanísticas, que podem contribuir para uma formação docente universitária, com a finalidade de corroborarmos com uma pedagogia de política cultural, no sentido proposto por Giroux.

4) Concepções de História, Filosofia e Sociologia da Ciência

Nesta categoria, explicitaremos e analisaremos as concepções de professores universitários sobre História e Filosofia da Ciência (HFC) no ensino de Física. Os dados empíricos expostos, nesta seção, são da dissertação de mestrado de Rosa (2006). Os aspectos analisados são: o papel da HFC no Ensino Médio e nos cursos de licenciatura e bacharelado de Física; o que deveria ser essencial, que o licenciando discutisse no curso de graduação; e sobre a interação do grupo, que trabalha com HFC, no Instituto de Física com o departamento de História, Filosofia ou Sociologia da universidade.

Quanto à opinião sobre a presença da HFC no Ensino Médio, os docentes em geral são favoráveis, no entanto, não se sentiram a vontade pra opinar por que e como deveria ser, por estarem distante deste nível de ensino. Quanto ao Ensino Superior, nenhum docente manifestou-se contrário à discussão do tema da HFC na licenciatura, apesar de existir uma forte opinião de que ela entraria como disciplina complementar e haveria uma ênfase nos conteúdos específicos, como a resolução de problemas:

***Professor 2BA:** Isso aí já tem, já tem algumas disciplinas que estudam um pouco de história da física e também alguma coisa vinculada a parte de filosofia, acho que tem uma série de coisas, eu não to lembrando direito, mas acho que tem disciplinas optativas lá, ou eletivas que o aluno pode fazer. Eu acho interessante. Só é claro que não como, eu diria, ela é complementar, é importante, mas ela é sempre complementar, mas eu acho interessante sempre essas disciplinas serem dadas, mesmo quando o aluno está estudando a disciplina usual [...]*

Outros defendem uma HFC com o mesmo grau de importância das outras disciplinas do curso, e ainda a possibilidade do professor de Física estabelecer um diálogo com professores das outras áreas do conhecimento (História, Literatura, Geografia etc.):

***Professor 4BA:** [...] eu acho, assim, o crime da mala preta, você formar professores de física que não têm habilidade para, não desenvolveram habilidade, competências, por exemplo, não falo nem pra ensinar história da física no segundo grau, mas não têm habilidade pra conversar com seus colegas de escola, com um colega de história, com um colega de literatura, com um colega de geografia, com um colega de química, conexões entre a disciplina que ele ensina e essas outras disciplinas. [...] e em geral, nós temos formado licenciados desse modo [...] ou seja, você tem um professor de física que ele atua*

numa escola, o professor de história atua na mesma escola, eles se encontram, eles são capazes de falar sobre a escola, o salário, [...] mas o professor está falando, por exemplo, de Renascimento e surgimento da Idade Moderna [...] e esse professor de física não é capaz de fazer nenhuma conexão entre a disciplina que ele ensina e aquilo que o professor de história, por exemplo, está ensinando. Além disso, justifica que a história da disciplina é tão essencial quanto o próprio conteúdo, quanto à matemática, a dimensão teórica e experimental, sendo papel da formação inicial habilitá-lo também nesse sentido.

Sobre o papel da HFC na formação dos licenciandos, os docentes deram-lhe várias funções, mas a mais marcante foi o uso da HFC para compreender os conceitos de Física em 30% dos docentes entrevistados; existiram, também, argumentos da função da HFC como “crescimento cultural e pessoal”, “metodologia de pesquisa”, contribuição para a sala de aula (ROSA, 2006).

Quanto ao que deveria ser essencial no ensino da HFC, os docentes (70%) responderam questões relacionadas aos diferentes episódios científicos das várias áreas da Física (eletricidade, magnetismo, mecânica, termodinâmica). Este resultado é condizente, uma vez que a experiência profissional com físicos dá oportunidade de mais contato com a História da Ciência do que com a Filosofia da ciência.

Um fator relevante destacado pela pesquisadora na matriz curricular é a integração da HFC com disciplinas específicas de Física, formando as disciplinas de Física Básica. Neste caso, é nítida a tentativa de integrar as duas culturas, citado pelo docente 4BA, que fez uma abordagem contextual e realiza estudo de casos históricos na disciplina de Física Básica A:

Professor 4 BA: *[...] se você pegar o Projeto Harvard, volume I e II e até o nosso programa; aquele programa a gente sempre cumpre. Nas últimas vezes, eu acrescentei um pouco de física medieval, que justamente o Harvard tinha pouco, e muitas vezes a gente consegue ir um pouquinho além da síntese newtoniana, chegar a entrar no conceito de energia e no conceito de quantidade e movimento, que no Harvard corresponderia à unidade três. Às vezes eu consigo chegar, às vezes não consigo chegar e também não considero essencial chegar, porque pra mim, o curso, ele forma uma unidade fechada se a gente chega até gravitação newtoniana.*

Um fato interessante destacado na entrevista feita por Rosa (2006) é a dificuldade do professor 4BA de dar continuidade ao projeto da disciplina, devido aos empecilhos impostos pelos departamentos:

Professor 4BA: *a despeito de uma experiência em conjunto com o professor de Física Básica IV, por dois semestres: Porque aqui, nós temos um problema que eu acho que todo mundo tem, mas aqui é terrível, que é o problema de que cada disciplina cai na mão de um departamento. Pra mim seria um belo desafio ministrar as quatro em série, por exemplo, mas isso aqui é impossível, porque aí, a II está no outro departamento, aí o departamento não cede.*

Quanto às dificuldades de implantação de disciplinas articuladas são apontados diversos problemas, dentre eles: a falta de professores capacitados para ministrarem disciplinas de conteúdos específicos e de HFC e a resistência na aceitação dos professores:

Professor 8BA: *Como não se acha pessoas, digamos assim, entusiasmadas em ensinar essa disciplina, então, eu noto que o maior obstáculo à introdução de disciplinas desse tipo nas universidades é a falta do professor, porque ele tem que se dedicar um pouco a algo que ele não tem informação, porque a formação em geral é em física tradicional; essa disciplina tem algo de novo que nos cursos tradicionais não, são coisas que não são enfatizadas, que não são cobradas e, portanto, as pessoas não se dedicam a estudar.[...] Não tem uma permanência de pessoas que simultaneamente se interessem por história da ciência, por física elementar, por física teórica, para numa única aula, ele juntar as três coisas, ou em um único curso. Esse é o problema da disciplina.*

[...] há o problema da falta de discussão do funcionamento das disciplinas, que resulta em professores que acabam não fazendo a suposta contextualização, “isso ainda não foi, digamos assim, incorporado à cultura do instituto, eu acho”. Por outro lado admite que a situação está melhor do que há cinco anos.

Percebemos que há um choque cultural da visão do bacharelado com uma formação focada em Física, em detrimento de uma formação específica; assim, temos a opinião do professor 8BA, quanto à problemática do uso da HFC nos cursos de licenciatura e de Bacharelado, mas ele ainda acredita em uma HFC articulada com o conteúdo específico:

Professor 8 BA: *Afirma que a discussão de HFC é essencial para os licenciados, e que não faria mal algum aos bacharéis, mas que teria uma barreira cultural a transpor: o problema é que eu já conheço qual é a cultura da gente na área de formação em física, bacharelado em física e sei que, como a maioria dos professores com formação em física pura, física matemática, não é, essa maioria não é adepta dessa busca da contextualização, até porque não tem formação nessa área e também o tempo é curto, não dá pra se estender em todas as coisas; há uma tendência a uma otimização, redução ao máximo do tempo que vai se dedicar a tanta coisa, e esse conhecimento de história da ciência, ele entra, em geral, como uma disciplina chamada “Evolução da física”, “História da física”, etc. [...] Com relação ao bacharel, como estava falando, eu acho que haveria um choque de culturas, haveria um choque de culturas, são culturas diferentes.*

[...] contextualizando a Física e não ter só aula de História da Ciência de Filosofia da Ciência, e de Física, “se fosse separado, [...] eu acho que não acrescentaria muito no aprendizado do aluno, não seria benéfico”: Agora, se você me perguntar se eu sou a favor de história da ciência e de filosofia da ciência no terceiro grau, eu diria: como disciplina eu acho muito pobre, eu acho que fica muito pobre um curso onde ele pega uma disciplina pra fazer isso. Claro que, como eu estava lhe falando, pode ser feito isso e já tem sido feito, mas deixando pro aluno a responsabilidade das interligações.

Para os entrevistados, a interação dos professores do Instituto de Física (IF) com a faculdade de Filosofia é praticamente inexistente. O diálogo entre os dois departamentos é maior na pós-graduação, devido à existência do mestrado e doutorado em Ensino, Filosofia e História da Ciência. No entanto, há uma preocupação em ter uma maior comunicação entre os dois departamentos:

Professor 4BA: *Você pega o departamento de filosofia da USP, [...] você vai encontrar um Pablo Mariconda trabalhando sobre Galileu; então, em princípio, as interações são mais fáceis [...] ou seja, nós não temos na graduação, ensinando na filosofia, professores que possam fazer uma ponte mais fácil aqui, com a graduação científica. O professor que nós temos é exatamente 'Docente Y' que faz a ponte porque ele é professor dos dois departamentos.*

Assim, os dados empíricos apresentados de concepções de universitários sobre HFC exprimem visões: a HFC sendo utilizada apenas como complemento; o uso da HFC para compreender melhor os conceitos físicos; uma tendência para discutir a História da Ciência de episódios científicos (mecânica, eletromagnetismo, termodinâmica) em detrimento de discussões de Filosofia da Ciência e Sociologia da Ciência e uma articulação das disciplinas específicas com a HFC.

O fato da maioria dos docentes opinarem sobre a utilização da HFC, como complemento e como forma de compreender melhor os conceitos científicos, expressa uma visão hierárquica, em que o conhecimento específico veste a roupagem da História da Ciência. Apesar de possibilitar uma visão mais humanística do conhecimento científico, acaba replicando uma visão hierárquica tradicional de cultura, pois a não abordagem dos aspectos políticos, econômicos do conhecimento contribui para uma visão de cultura já formada, sem mostrar os aspectos de transformação social. Analogicamente à consideração de Giroux, de que somente uma história da escolarização do país é insuficiente, mas que é necessário a comparação com outras, da mesma forma é a história de conceitos científicos que não é suficiente para buscar uma visão cultural do conhecimento científico como transformação³⁵, na perspectiva de se considerar os elementos sociais e culturais imbricados.

Dessa forma, uma História da Ciência somente preocupada em abordar a história dos conceitos científicos não consegue estabelecer uma pedagogia do ensino de Física para tornar o político mais pedagógico, já que não incorpora os interesses políticos, econômicos e sociais que tenham objetivo emancipador. Esta emancipação diz respeito a uma contra-hegemonia de práticas disciplinares que segundo Giroux (1997, p.185):

³⁵A História de conceitos científicos contribui para vários fatores como apontamos no capítulo 1, no entanto, ela se limita a mostrar apenas as transformações internas do conhecimento científico, quando muito e dependendo da perspectiva externalista mostra as relações sociais entre os cientistas, o que pra nós é insuficiente para se pensar as outras instituições diretamente imbricadas no processo de construção da ciência e do ensino de ciências.

Evidentemente, o que está em jogo aqui é a possibilidade de que os estudos culturais possam promover nos estudantes, não o empenho por um acesso complacente predeterminado ou definitivo a um certo conjunto de valores culturais, mas sim uma análise continuada de suas próprias condições de existência. Tal práxis, fundamentada na derrocada das pressuposições das abordagens disciplinares tradicionais é um pré-requisito para uma resistência autoconsciente e efetiva às estruturas dominantes.

Esse sentido emancipador diz respeito à intensa luta de contradisciplinarização, em que os estudos de HFSC podem contribuir, interagindo com outras disciplinas do conhecimento humano com a finalidade de tornar o político mais pedagógico e contribuir para a emancipação.

Nos dados empíricos apresentados pela autora, o instituto de Física da referida universidade, construiu um projeto pedagógico, no qual a História da Ciência é abordada nas disciplinas específicas e a junção das duas, criou-se a disciplina denominada de Física Básica. Entendemos que isto é um passo para a articulação da cultura humanística e científica, no entanto, como os discursos mostram, não apresenta uma proposta de formar professores na perspectiva transformadora. Um dos docentes (4BA) apresenta uma concepção mais diferenciada, declarando a importância de se formar um professor de Física, que consiga se comunicar com as outras áreas das Ciências Humanas.

Outro ponto de destaque é a falta de comunicação entre os Institutos de Física com os departamentos de Filosofia, História e Sociologia, dificultando o desenvolvimento de projetos, que possam contribuir para relacionar o conteúdo específico com a perspectiva da HFSC. Para Giroux (1997, p.179), o desenvolvimento histórico de disciplinas isoladas e departamentos segregados legitima as relações de poder, que suprime o pensamento crítico. Um exemplo explícito disto, nos dados empíricos, é a pouca valorização da Filosofia da Ciência nas abordagens históricas e, nem sequer a menção à Sociologia e à História. Assim, esta falta de comunicação dos departamentos e a intensa especialização são as razões do afastamento dos intelectuais da esfera pública, favorecendo os mecanismos de reprodução social e cultural. Este distanciamento dos intelectuais da esfera pública é comprovado quando os docentes declaram ser importante a HFC no Ensino Médio, mas não se sentiram a vontade para opinar sobre esta questão, por estarem distanciados deste nível.

4.6 Algumas Considerações

Voltando a nossa questão de pesquisa proposta no capítulo 1: Os professores universitários da área de Ciências Naturais possuem uma visão articulada das culturas humanística e científica? A análise dos dados de Cortela (2004) e parte dos dados de Chicarino (2009) revelam uma visão de estrutura curricular e de ensino-aprendizagem tradicional nos discursos de professores universitários de Física, bem como nas diretrizes curriculares nacionais de formação do físico. Os dados de Rosa (2006) revelam uma tendência para uma concepção, que reveste o conteúdo científico de História da Ciência, em detrimento de uma abordagem histórico-social.

Alguns dados empíricos da pesquisa feita por Chicarino (2009) e Rosa (2006) apresentam discursos dos docentes com uma visão mais articulada da cultura humanística e científica, com uma leve tendência a uma visão transformadora, talvez isto se explique por eles terem uma formação inicial em ciências (física, química, biologia) e uma formação humanística (geralmente em nível de pós-graduação) na área de ensino de ciências e matemática, ou na área de história da ciência. Entretanto, a maioria dos discursos dos docentes universitários revela uma forte tendência para o ensino e aprendizagem do conteúdo específico, em detrimento dos conteúdos humanísticos, ou seja, uma visão desarticulada das culturas humanística e científica.

O conjunto de crenças explícitas e implícitas nas diretrizes curriculares de formação dos físicos, a maioria dos discursos dos docentes universitários sobre o que são os processos de ensino e de aprendizagem e o que deve ser importante em um currículo nos diferentes contextos, como mostramos na seção anterior, assumem o modelo de formação de professores, como especialista técnico. Em uma leitura, na perspectiva fleckiana e de Giroux, denominaremos este conjunto de crenças, como uma tendência³⁶ a estabelecer um *estilo de pensamento (EP) tradicional*.

O *EP tradicional* propicia a compreensão do conhecimento científico e da prática pedagógica, como um legado cultural, estático, apenas um reservatório de conhecimento. Considerar o conhecimento específico como o mais importante, em

³⁶ Estamos falando em tendência porque, neste caso precisaríamos de uma ampliação e sistematização melhor dos dados empíricos, como o foco principal da tese não é este deixaremos esta ideia para outro trabalho.

detrimento de outros conhecimentos, conduz a uma hierarquização das disciplinas e, conseqüentemente, caracteriza uma visão hierárquica de cultura. Esta perspectiva propicia uma concepção acrítica dos intelectuais sobre a natureza do conhecimento científico e das influências políticas, econômicas e culturais que permeiam a ciência e sua prática pedagógica. Esta visão acrítica afasta os intelectuais da esfera pública, submetendo-os aos interesses da sociedade, o que pode fortalecer as relações de dominação.

Diante dessa realidade o que fazer? Este trabalho ao assumir como referenciais teóricos, Ludwik Fleck e Henry Giroux, corrobora com a perspectiva epistemológica do realismo crítico. Esta epistemologia utiliza-se da linguagem da crítica, como possibilidade para desvelar a realidade de um estado de conhecimento e propor meios de transformá-lo. Esta linguagem pode oferecer uma crítica ao que está instituído, ou seja, tem o propósito de identificar as fissuras da estrutura, que administra e elabora as políticas curriculares e as visões dos intelectuais, que legitimam as práticas curriculares; desvela os interesses diversos, analisando se estes oferecem meios para aceitar o que está imposto ou para transformar. No nosso caso, pesquisado os documentos oficiais, verifica-se que estes assumem uma perspectiva estruturalista funcionalista, que visa atender ao mercado, ou seja, aquilo que está imposto pela sociedade.

Quanto às visões dos docentes universitários das disciplinas específicas, apesar de existir o desejo de muitos em fazer a mudança, a maioria não sabe como fazer e quando opinam a respeito de possíveis mudanças, acabam assumindo uma prática pedagógica tradicional. Outro ponto de destaque da visão dos formadores de professores é a despolitização quanto à universidade, a escola básica, o currículo e as práticas pedagógicas; isto tem como consequência um exílio destes intelectuais da esfera pública. Apesar dos problemas mapeados, não podemos cair em uma crítica reducionista fatalista, por isto utilizaremos também a linguagem da possibilidade, com a finalidade de oferecer uma possível resposta ou uma situação pedagógica que vá problematizar e dar uma perspectiva de transformação desta realidade.

Nessa perspectiva, ancoramo-nos em Giroux (1997), que nos ajuda a entender que uma forma de procurar superar o *EP tradicional* de hierarquização cultural são os estudos culturais abandonarem a meta de dar aos estudantes o acesso àquilo que

representa a cultura. Em vez disso, os estudos culturais têm possibilidade de investigar a cultura, como um conjunto de atividades que é vivido dentro das relações assimétricas de poder, que não podem ser consideradas como um conjunto de conhecimentos acumulados, em forma de reservatório. Além disso, reconsiderar os aspectos ideológicos e políticos de um texto científico, em uma práxis contradisciplinar, que pode contribuir para a superação da hierarquização cultural e a instauração da cultura como processo social e, conseqüentemente, uma visão pedagógica, que almeja a formação de professores, como intelectuais críticos transformadores.

Diante desses argumentos apresentados por Giroux como a presente pesquisa pode contribuir para a superação e transformação deste EP tradicional? Na perspectiva crítico-social adotada neste trabalho, antes de perguntarmos o “como”, devemos perguntar o “porquê”. Assim, voltemos a nossa principal questão de pesquisa: Por que uma abordagem histórico-sociocultural poderá contribuir para a articulação das duas culturas no processo formativo de professores? Especificamente, como a partir do estudo do trabalho de Joule, poderemos ter uma visão mais crítica do processo de formação de professores universitários de Física, na articulação das culturas científica e humanística?

CAPÍTULO 5: CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

No capítulo 1, uma de nossas constatações foi a tendência das pesquisas em História, Filosofia e Sociologia da Ciência (HFSC) em proporcionar reflexões sobre a natureza da ciência acadêmica, uma vez que os aspectos sociais do conhecimento não são enfatizados. Apontamos a necessidade de incentivar pesquisas que valorizem além das questões internalistas lógico-formais, questões externalistas culturais, religiosas, políticas e sociais. Entendemos que pesquisas envolvendo a natureza da ciência, com foco na Sociologia da Ciência, na Antropologia e nas discussões da natureza da tecnologia, podem possibilitar que o ensino de Ciências contribua para uma formação de cidadãos mais bem preparados para a tomada de decisões.

Outro ponto relevante é a necessidade de pesquisas que promovam reflexões epistemológicas sobre a aproximação da HFSC no ensino de Ciências e na formação docente, associando referenciais teóricos da Filosofia da Ciência com referenciais ligados a Filosofia e Sociologia da Educação.

No bojo destas demandas explicitadas, é que formulamos a principal questão de pesquisa: Por que uma abordagem histórico-sociocultural poderá contribuir para articulação das duas culturas no processo formativo de professores? Especificamente, como a partir do estudo do trabalho de Joule, poderemos ter uma visão mais crítica do processo de formação de professores universitários de Física na articulação das culturas científica e humanística?

Sob o olhar da epistemologia Fleckiana, entendemos que nossa análise dos trabalhos de James Prescott Joule pode contribuir neste sentido, porque: a) a abordagem internalista do conhecimento científico explora os aspectos experimentais e lógicos da produção do conhecimento científico, contribuindo para desvelar a natureza da produção científica de Joule, de acordo com a epistemologia contemporânea; b) a abordagem externalista, também mostra os aspectos não lógicos e o estado de conhecimento do qual Joule viveu na Revolução industrial, bem como a formação histórico-social de Manchester.

A análise fleckiana destes aspectos, internalistas e externalistas, define a perspectiva sociocultural assumida na presente tese. Esta análise é condizente com a

proposta de política cultural de estrutura acadêmica curricular que Giroux (1997) defende para um processo formativo de professores transformadores. Para Giroux (1997), tal empreitada requer um estudo curricular que enfatize o histórico e o cultural em relação aos materiais e práticas educativas. Para tanto, elenca vários temas e áreas de análise que seriam essenciais para tal empreendimento: a linguagem, as culturas populares e subordinadas, teorização da formação cultural, História e Pedagogia, que poderão nos auxiliar na articulação das culturas científica e humanística.

A presente tese não contempla todos esses aspectos apontados por Giroux; no entanto, alguns elementos emergem do estudo histórico-sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule, que apresentamos no capítulo 3. Desta forma enunciamos a nossa tese:

A articulação da cultura científica e humanística se dá por meio de áreas como Linguagem, Teorização da Formação Social, História e Pedagogia que emergem do estudo histórico-sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule.

Nesse sentido, este trabalho poderá contribuir para mostrar a necessidade de uma visão cultural como processo social; não somente apontando um tipo de história, mas também outras histórias, o que é contemplado em nossa proposta, quando relatamos a formação industrial de Manchester e também, considerando a Filosofia e a História da Ciência, quando expusemos os elementos experimentais e lógicos do trabalho de Joule. Destas duas histórias podem emergir os elementos de linguagem e teorização da formação social.

Talvez a limitação deste trabalho seja a não exploração com detalhes do processo da história da escolarização, na época da formação de Manchester. No entanto, há uma possibilidade de trabalhar este tema na formação dos conteúdos e ementas das disciplinas no currículo dos cursos de Física da universidade, o que faz emergir a pedagogia. Passemos agora a detalhar melhor estas áreas com relação a nossa análise histórico-sociocultural dos trabalhos de Joule.

A história dos trabalhos de James Prescott Joule, com uma análise filosófica, possibilita explorarmos a linguagem, já que para Giroux (1997), em uma postura de educação transformadora, é essencial a aquisição de uma linguagem (seja inglês, matemática, física, teatro ou qualquer outra) vista em uma perspectiva de

aprendizagem, que não apenas instrumentalize os estudantes para nomear o mundo, mas os introduza em relações sociais particulares. Em nosso caso, a HFSC podem fornecer, além da linguagem da física em termos internalistas (os elementos lógicos e experimentais do trabalho de Joule), por meio da História social do momento vivido em Manchester da Revolução Industrial, elementos para se discutir a História e a Sociologia dentro da situação particular do contexto vivido por Joule, possibilitando uma crítica social das condições de produção do saber. Isto corrobora com Giroux quando afirma:

Em outras palavras, o que é historicamente construído como estimado, aprovado, adequado e de valor instrumental é aprendido no “sentido” de uma versão discursiva particular de algum aspecto de nosso ambiente e de nós mesmos (GIROUX, 1997, p.167).

A História e Filosofia da Ciência contribuem para estabelecer uma linguagem que dialoga com o cientista, já que consegue atingir o mundo do pesquisador e aborda o conhecimento específico de uma determinada ciência. Concordamos com Kuhn, no sentido de que uma história externalista poderia ser uma abordagem reducionista do conhecimento científico. Kuhn afirma que a História da Ciência é um remédio improvável para a separação das duas culturas e que a abordagem externalista também seria um equívoco. Se for para privilegiarmos apenas uma abordagem, concordamos com Kuhn, mas entendemos que um equilíbrio das duas abordagens poderia facilitar a articulação das duas culturas.

Acreditamos que uma abordagem internalista seria uma maneira de aproximarmos o cientista das questões humanísticas da natureza do conhecimento científico e, a partir daí, buscarmos em conjunto problematizar o conhecimento científico e chegar à abordagem externalista.

Esta é uma maneira de aproximarmos a HFSC do ensino de Ciências no Ensino Superior, pois como os próprios dados de pesquisa (CORTELA, 2011) mostram que uma abordagem pura das teorias pedagógicas na formação docente universitária de professores de Física não tem muita eficácia, uma vez que os mesmos não veem muito sentido nestes conhecimentos, pois não estão relacionados com sua área específica.

Ainda na pesquisa desta autora, os docentes demandam a discussão de metodologias de ensino e de aprendizagem que estejam articuladas ao conhecimento, no caso, o físico. Por isto defendemos, por meio de uma visão de cultura como processo social, que o estudo histórico-sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule pode ser importante para a articulação entre o conhecimento pedagógico e o científico, ao contemplar uma visão que vai além do estudo de metodologias de ensino e de aprendizagem. Assim, esta perspectiva busca dialetizar o conhecimento, evidenciando situações de problematização.

O trabalho de Joule, na perspectiva que apresentamos, ajudaria professores universitários a compreender que a produção do conhecimento se dá pela identificação e formulação de problemas colocados por coletivos de pesquisadores, e que sua construção ocorre de forma não linear e depende da relação dialética entre indivíduo e coletivo. No caso dos estudos de Joule, entendemos que estes dependeram dos vários coletivos de pensamento, que corroboraram para o seu trabalho e forneceram subsídios para o aperfeiçoamento dos seus experimentos. Mesmo os coletivos que foram contra a sua produção técnico-científica favoreceram o aperfeiçoamento de suas experiências, como o estudo de cientistas como William Thomson, importantes na legitimação dos trabalhos de Joule. Como Apple (1982), acreditamos que a apresentação dos consensos e conflitos do conhecimento científico possibilita desvelar a natureza do conhecimento científico, propiciando uma visão mais crítica do processo de construção da ciência e o desvelamento do currículo oculto.

Outro aspecto é a natureza do processo de experimentação de Joule; podemos enfatizar que, antes de Joule realizar os seus experimentos, ele já possuía concepções teóricas, o que contribuiu para uma visão epistemológica diferente do empirismo-indutivismo, que as pesquisas mostram estar presente, mesmo entre professores universitários. Entendemos que uma análise epistemológica do processo de experimentação presente nos trabalhos de Joule contribui para os docentes universitários compreenderem o papel da experimentação em suas práticas de ensino.

O outro ponto que emerge do estudo histórico sociocultural de Joule é a história. Para Giroux (1997, p. 168),

Não estamos aqui interessados na cronologia e sim em uma compreensão de como práticas educacionais específicas podem ser compreendidas enquanto construções históricas relacionadas com os eventos econômicos, sociais e políticos em um espaço e tempo particular. Isto é absolutamente essencial a fim de podermos pensar sobre como casos específicos de escolarização e teoria curricular podem representar uma entre as muitas formas possíveis. Esta posição não apenas destaca a natureza especificamente social e construída da escolarização, mas também fornece as bases para o pensamento e ação críticos e de oposição. Em resumo, ela fornece as bases para pensar-se em termos que possam antever um mundo e futuro diferentes. O conteúdo aqui teria que ser não apenas a história da escolarização do país, mas também sua comparação com outras.

A visão de Giroux sinaliza que somente uma abordagem histórica não é possível, ou seja, só a abordagem histórica internalista do conhecimento científico. Entendemos que esse estudo histórico-sociocultural dos trabalhos de Joule contribui para uma prática educacional, a qual proporciona uma crítica social, uma vez que explora os fatores externos que influenciaram em seus trabalhos, como os eventos econômicos, sociais e políticos do país e as instituições científicas e educacionais da época.

Isso pode ser explicado por meio da epistemologia Fleckiana, ao propor a relação triádica do conhecimento: a relação sujeito-objeto e o estado de conhecimento, que podemos identificar nos trabalhos de Joule. Mostramos a relação sujeito-objeto nos diversos momentos históricos caracterizados por um estado de conhecimento ou EP. Nosso problema é: Como apresentar a história social que permeia a produção de um trabalho científico como o de Joule para docentes universitários da área específica? Uma vez que os docentes que atuam no Ensino Superior nesta área, como os físicos, muitas vezes são indiferentes ao conhecimento humanístico, ou seja, para eles, os conhecimentos da Física que dominam, já bastam para ensinar. Neste caso, uma abordagem que articule este conhecimento que possuem com disciplinas do conhecimento humanístico, como a Filosofia, a Sociologia, a Literatura, dentre outras, pode fazer a diferença.

Assim, o que se propõe neste trabalho é, a partir da problematização do conhecimento do conteúdo científico, avançar no sentido de uma abordagem humanística. Esta problematização pode ser feita por meio da Filosofia e História da Ciência, ao mostrar os conflitos presentes na produção do conhecimento científico. No caso dos trabalhos de Joule, podemos aproveitar o potencial do conhecimento

científico, para problematizarmos o contexto social de sua produção científica, articulando-o com um conhecimento humanístico: a história social. Desta forma, são importantes as questões problematizadoras como: Por que Joule resolveu estudar os motores? Quem era a família de Joule? Qual era a estrutura socioeconômica do lugar, do país em que Joule nasceu e viveu? Quem financiou as pesquisas de Joule? Que religião professava Joule?

As respostas para esses questionamentos estão contidas no capítulo 3. Estas questões direcionam a história social como um dos elementos articuladores das culturas científica e humanística. O primeiro ponto que abordamos é a história da Revolução Industrial da Inglaterra devido às políticas dos governos serem voltadas para o desenvolvimento econômico, o que provocou o surgimento das inovações industriais como máquinas, eletrificação industrial, transportes e inovações químicas que contribuíram para o crescimento econômico da Inglaterra.

As consequências desse movimento com a migração da população rural para as cidades ocasionaram mudanças, como o aumento da população urbana, as condições de trabalho dos operários que atuaram na indústria, a exploração do trabalho de crianças e mulheres pelo sistema, o desemprego, as revoltas sociais como o movimento de quebra das máquinas pelos trabalhadores da indústria.

A riqueza produzida pela Revolução Industrial inglesa proporcionou a criação de laboratórios particulares como o de Henry Cavendish, o que contribuiu também para o avanço da ciência em outros países como a Noruega, com os matemáticos Henrik Abel, Jonas Bolyai da Hungria e Nicolai Lobachevsky da cidade de Kozan. Esta expansão permitiu que os cientistas permanecessem em seus países, saindo apenas para se aperfeiçoar ou ministrar palestras. Neste período da Revolução Industrial houve um grande desenvolvimento, tanto das ciências naturais e tecnológicas, como das ciências humanas.

Manchester, onde Joule nasceu e cresceu, tinha condições geográficas que favoreceram o crescimento da indústria têxtil de algodão, desencadeando a construção de estradas e hidrovias. A revolução têxtil, que se iniciou com a primeira patente de Richard Arkwright da máquina de tear, foi seguida pelo aparecimento da máquina a vapor, levando ao desenvolvimento de uma série de indústrias associadas à indústria

de máquinas e a indústria química. Ao mesmo tempo, como consequência da Revolução Industrial, houve um profundo impacto social, que estimulou o crescimento de cidades industriais e novas organizações econômicas.

Infelizmente, Manchester não estava equipada para lidar com o enorme aumento da população. As condições de habitação e saúde eram precárias, o que ocasionou o surgimento de cortiços ou favelas e o desemprego, para aqueles que não tinham qualificação. As condições de trabalho para aqueles que trabalhavam na indústria eram péssimas; provocando momentos de tensão ao gerar manifestações dos trabalhadores, fortemente reprimidas pelos militares. A atuação dos militares provocou um dos massacres mais conhecidos de Manchester, o massacre de Peterloo, que foi um grande marco na história social e política da Inglaterra (CARDWELL, 1989).

Mesmo com estes problemas sociais decorrentes do crescimento industrial, muitos comerciantes e industriais eram atraídos para se instalar em Manchester, como ocorreu com a família de Joule, que instalou uma cervejaria na cidade. Assim, Manchester é considerada uma das principais cidades da Inglaterra, deixando marcas no pensamento social, político e científico da Inglaterra e no mundo.

O segundo ponto relevante que podemos considerar são as influências externalistas no trabalho de Joule. Cardwell (1976, 1989) afirma que Joule teve interesses econômicos em suas pesquisas, principalmente, quando alguns governantes investiram em pesquisas de inventores que conseguissem substituir o motor a vapor por outro mais eficiente. Um dos primeiros trabalhos de Joule foi o aperfeiçoamento de motores para utilizar no funcionamento de bombas.

Um elemento importante a destacar foi a intensa busca de Joule por precisão e exatidão experimental que, na verdade, é um elemento tanto internalista do conhecimento científico, quanto externalista. Internalista, porque foi uma preocupação de vários experimentadores e cientistas em suas práticas técnico-científicas como Faraday e Dalton. Do ponto de vista externalista, a precisão e a exatidão foram também uma exigência dos governos que investiram em laboratórios para pesquisar e fabricar instrumentos que pudessem medir com maior precisão, cuja finalidade era obter maiores impostos.

Hessen (1993)³⁷ também mostra as influências de fatores econômicos no desempenho de cientistas, ao analisar os trabalhos de Newton, mostrando se contrário à uma visão de cientista como um ser avesso à sociedade, isolado, tentando “descobrir” as leis da natureza. Entretanto, Hessen (1993, p.53) adverte que seria uma grande simplificação deduzir diretamente da economia e da técnica os problemas e tarefas estudadas pelos físicos. Tanto é que Marx e Engels criticaram Barth por apresentar um materialismo histórico reduzido somente a questões econômicas.

O autor defende também que fatores econômicos não são os únicos determinantes de teorias e trabalho individual de um cientista que são, também, afetados por questões políticas, jurídicas, filosóficas, crenças religiosas, entre outros. No caso de Joule, além da influência econômica em sua obra, propiciada por vários coletivos de pensamento tecnicista e pelo ambiente tecnológico de Manchester, como descrevemos no capítulo 3, esta também foi influenciada por questões religiosas, tanto na forma de escrever, como nos seus pensamentos. Joule acreditava que as forças da natureza eram indestrutíveis, pois tinham um criador inicial: “Deus”, capaz de regular a natureza e que seus vários agentes como calor, eletricidade, força mecânica e afinidade química, nunca poderiam ser criados ou destruídos; apenas seriam convertidos através de vários processos naturais, mas nunca perdidos, ou seja, sempre mudariam de forma. Isto foi base para sua declaração do princípio de conservação da energia.

³⁷ O trabalho apresentado por Hessen intitulado: As raízes socioeconômicas do Principia de Newton faz um estudo do período em que Newton viveu e desenvolveu o seu trabalho científico. Ele enumera os problemas impostos pelo processo de expansão marítima do século XVII as necessidades de transportes, os problemas de orientação pelo mar e em terra, a retirada dos minérios das minas, a construção de armas utilizadas para a dominação de outros povos, a questão energética entre outros problemas que preocupavam a ciência e a burguesia da época. Hessen também explora os interesses técnicos de Newton na época. Ele relata uma carta de Newton escrita em 1669 em que aconselha o seu amigo Francis Aston em sua viagem por vários países da Europa a estudar cuidadosamente os mecanismos de condução dos navios de navegação, examinar atentamente todas as fortalezas que encontrasse seu método de construção. Estudar os métodos de obtenção de metais a partir de minérios e conhecer os métodos de purificação e extração. Averiguar os locais onde haviam rios que tinham ouro, certificar se também se o método de obter ouro de rios auríferos mediante amálgama com mercúrio permanecia em segredo, ou se já se tornara um conhecimento geral. Newton também apresenta preocupação nos processos de transformação dos metais, como por exemplo, a transformação de ferro em cobre etc. na época existia muitas pesquisas no campo da alquimia e era um assunto de grande interesse para Newton que ocupou quase toda a carta (HESSEN, 1993).

Outra categoria que emerge do estudo histórico-sociocultural de Joule é a Teorização da Formação Social. De acordo com Giroux (1997, p.168),

A fim de decidirem o que fazer, os educadores devem compreender por que as coisas são como são, como ficaram assim, e que condições as sustentam. Além disso, os educadores devem ser capazes de avaliar os potenciais de ação que estão embutidos nos relacionamentos e práticas reais. Isto exige que se pense sobre a educação através de sua inter-relação com a formação social circundante. Esta forma de análise requer certa familiaridade com as questões propostas pela teoria social e algum entendimento do estado como a agência através da qual a escolarização tem sido organizada nos últimos 150 anos. O mais importante, porém, é que isso significa aprender a analisar situações concretas de uma maneira que mostre como (e com que limitações) qualquer relacionamento social ou forma institucional pode ser transformada através da ação intencional. O modo como tais análises são formuladas depende, evidentemente, das visões específicas do modo como o mundo social é construído. Sem dúvida, este é um argumento em prol da intersecção essencial da teorização social e curricular. Também é um apelo por uma nova forma de discurso e linguagem curricular.

Acreditamos que o estudo histórico-sociocultural dos trabalhos de Joule atinge uma teorização da formação social em dois sentidos que estão ligados entre si. Primeiro, pelo estudo histórico-social desvelar o desenvolvimento das instituições científicas e de educação na época da Revolução Industrial na Inglaterra e em Manchester; segundo, pelo desenvolvimento de seu trabalho, ao mostrar o valor da interdisciplinaridade que surge, na medida em que Joule se depara com problemas que não consegue resolver e na busca de solução interage com as diferentes áreas do conhecimento como a física, química e engenharias. Das subdivisões da Física em si, várias áreas temáticas como a mecânica, a termodinâmica e o eletromagnetismo estão integradas em suas pesquisas. Esta integração das diferentes áreas da ciência e das temáticas específicas da Física, bem como as questões histórico-sociais das pesquisas presentes nos trabalhos de Joule, nos faz questionar, por exemplo: Por que a organização dos conteúdos de mecânica, termodinâmica, eletromagnetismo estão desarticuladas nos livros didáticos de Física? Por que estão organizados na sequência que estão e não em outra? Por que praticamente não existe uma abordagem histórico-social nos livros didáticos?

Acreditamos que o estudo histórico-sociocultural de Joule consegue dar um olhar mais integrador, no sentido interno do conhecimento físico da termodinâmica, da

mecânica e do eletromagnetismo com a finalidade de rever sequências didáticas colocadas nos livros didáticos de Física, e ainda a utilização da história social para discutir fatores externalistas, que praticamente não existem nos livros didáticos.

Por fim, utilizamos a linguagem da crítica para problematizarmos a desarticulação das duas culturas nos documentos oficiais e na visão dos docentes universitários, que caracterizamos como um EP *tradicional*. Para não cairmos em um pessimismo ou fatalismo dos reprodutivistas críticos, usamos a linguagem da possibilidade para propormos uma maneira de articular as duas culturas e buscar problematizá-las, visando a superação e a transformação do EP tradicional. Assim, a articulação das duas culturas se dá pela emergência de áreas como *Linguagem, Teorização da Formação Social, História e Pedagogia* que pode ser destacada no estudo histórico sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule. Assim em consonância com Giroux³⁸, acreditamos que estas áreas são primordiais para se pensar um processo formativo transformador.

Perspectivas futuras

A defesa deste trabalho não busca metodologias de ensino-aprendizagem e sim, faz uma reflexão epistemológica para tentar responder o *porquê* e não o *como*; vimos, porém que, em Giroux, o *porquê*, sinaliza para se pensar o *como*. Desta forma, a reflexão epistemológica aqui feita conduz a pensarmos em uma metodologia de ensino, cuja estratégia didática utilizada seja na perspectiva sociocultural da articulação das duas culturas, que pode ser usada no ensino básico, na formação inicial de professores, bem como na formação permanente de professores, principalmente os universitários. Como a análise sociocultural dos trabalhos de James Prescott Joule poderá contribuir para uma estratégia de ensino crítica social? Um caminho é dado por meio da própria epistemologia fleckiana, ou seja, a construção de uma estratégia didática, na perspectiva apresentada no presente trabalho, deve apontar para a efetividade da circulação intercoletiva e intracoletiva, que está associada à “tomada de

³⁸A limitação do trabalho foi não ter abordado uma das áreas que Giroux (1997) cita que são as culturas populares e subordinadas.

consciência” das complicações da construção do conhecimento científico de Joule por um grupo de professores. Neste sentido, Gonçalves et. al (2007) citam o exemplo de professores universitários de Química:

Para que essa “tomada de consciência” aconteça, entendemos que os formadores de professores de química precisam estar envolvidos em um processo formativo que promova a localização, formulação e explicitação de um problema (ou mais de um) que esses profissionais sozinhos não conseguem identificar ou responder com o estilo de pensamento deles. Esse problema precisa gerar a necessidade de apropriação de um novo conhecimento ou, na linguagem fleckiana, de um estilo de pensamento sem o qual é pouco provável a “solução” do problema. Além disso, compreendemos que esse processo formativo tem que apreender os conhecimentos (pedagógicos, epistemológicos, etc.) dos formadores com o escopo de localizar possíveis contradições e limitações desses conhecimentos que, por sua vez, necessitariam ser discutidos e questionados. Isso contribui para dar significado ao problema formulado aos formadores, bem como ao conhecimento desenvolvido para “solucionar” o problema; conhecimento que para eles é inédito.

Este estudo sociocultural sobre Joule pode promover um processo formativo que localiza, formula e explicita os vários problemas no processo de construção de seu conhecimento técnico-científico. Como exemplo, podemos citar as complicações encontradas por Joule na substituição do motor elétrico e o surgimento do fato científico, chamado de *efeito Joule*, as complicações no estudo do equivalente mecânico do calor e até as contribuições de Joule para o estabelecimento do princípio da conservação da energia.

Os fatores históricos sociais e culturais que permearam todo este processo de construção do conhecimento científico de Joule são também elementos problematizadores, que podem facilitar o entendimento das contradições e forças que influenciaram diretamente o trabalho e que contribuem para dar significado ao problema formulado aos docentes universitários, bem como ao conhecimento desenvolvido para “solucioná-lo”. Exemplo disso foi a intensa busca pela exatidão e precisão das medidas feitas por Joule que, além de ser um problema de natureza internalista do conhecimento técnico-científico, interpretamos também como um problema que tinha um teor socioeconômico, já que os governos investiram em pesquisas na construção de melhores instrumentos de medida, com a finalidade de melhorar a arrecadação de impostos.

Quanto às pesquisas que estão sendo realizadas na linha de HFSC no ensino de Ciências, este trabalho aponta para uma orientação nos trabalhos realizados, de tal forma a explorar a História de episódios científicos numa perspectiva crítico-social, associando a História da Ciência com outras disciplinas como História, Sociologia e Literatura. Neste sentido, ao pesquisarmos sobre a temática *energia*, entendemos que outros episódios diferentes da vida acadêmica de Joule podem, muito bem, ser objetos de estudo nesta perspectiva. Por nosso levantamento bibliográfico apontar poucos trabalhos na área de História da termodinâmica, faz-se necessários outros trabalhos que busquem o equilíbrio entre as perspectivas internalista e externalista, já que esta área oferece um leque de possibilidades para esta visão.

Como exemplo de estudos futuros que podem ser feitos na mesma perspectiva desta pesquisa temos o trabalho de James Watt, cientista que teve a contribuição de empresários no aperfeiçoamento da máquina a vapor e de outros técnicos e cientistas que estavam no contexto do século XIX; o estudo da sociedade Lunar de Birmingham, da qual James Watt participava juntamente com outros cientistas como Erasmus Darwin (avô de Charles Darwin), Matthew Boulton (empresário), Joseph Black, John Roebuck; indivíduos que formam coletivos diferentes como de químicos, biólogos, engenheiros e empresários.

Outra perspectiva é propormos espaço para promover a localização, a formulação e explicitação de problemas que envolvem as duas culturas. Uma alternativa é a criação de eventos na área de Educação em Ciências, ou Educação em Ciências Humanas, que contemplem a interação de físicos com historiadores, literatos, sociólogos, filósofos e estudiosos de outras áreas, para que, através da circulação intercoletivas de ideias e práticas, possam contribuir para a busca de solução dos problemas daqueles que já adquiriram a consciência e, talvez despertá-la naqueles que ainda não entenderam, ou não buscaram se conscientizar dos problemas advindos da separação das duas culturas.

REFERÊNCIAS

ABD-EL-KHALICK, F.; LEDERMAN, N. G. Improving science teachers' conceptions of nature of science: a critical review of the literature. **International Journal of Science Education**, London, v. 22, n. 7, p. 665 -701, 2000.

ABRANTES, P. C. C. Problemas metodológicos em historiografia da ciência. In: Waldomiro, J (ed.). **Epistemologia e ensino de ciências**. Salvador: Arcádia/UCSAL, 2002, p. 51-91.

ACEVEDO, et al. Mitos da didática das ciências acerca dos motivos para Incluir a natureza da ciência no ensino das ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 11, n.1, p. 1-15, 2005.

ALBUQUERQUE, A. M.; BORGES, L. F. F.; PINHEIRO, M. E.; RESENDE, L. M. G.; SOBRINHO, A. F.; SOUSA, J. V.; VEIGA, I. P. A. Docentes universitários: quem são, o que sabem e o que fazem? In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 5, 2005, Bauru. **Atas...** Bauru: ABRAPEC, 2005. Cadernos de Resumos.

ALLCHIN, D. Scientific myth-conceptions. **Science & Education**, Dordrecht, v.87, p.329–351, 2003.

ALTERS, B. J. Whose nature of science? **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 34, n. 1, p. 39-55, 1997.

ALVES, R. Professor não vale nada. [http://www.icb.ufmg.br/lpf/rubem alves,1999.html](http://www.icb.ufmg.br/lpf/rubem%20alves,1999.html). 1999. Acesso em: 10 nov. de 2011.

ANGOTTI, J. A. P. **Fragmentos e totalidades no conhecimento científico e no ensino de ciências**. 1991. 206f. Tese (Doutorado em educação) - Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

APPLE, M. W. **Ideologia e currículo**. São Paulo: Brasiliense, 1982.

ASSIS, J. P. Kuhn e as Ciências Sociais. **Revista Estudos Avançados**. São Paulo, n.19, p.133-164, 1993.

BACKES, V. M. S. **Estilos de pensamento e práxis na enfermagem: a contribuição do estágio pré-profissional**. Ijuí: Ed. UNIJUÍ, 2000.

BARDIN, L. **Análise de Conteúdo**. Lisboa: Edições 70, 1977.

BASSALO, J. M. F. A importância do estudo da história da ciência. **Revista da Sociedade Brasileira de História da Ciência**, Rio de Janeiro, n. 8, p. 57- 66,1992.

BASTOS, F. **História da Ciência e Ensino de Biologia**: a pesquisa médica sobre a febre amarela (1881-1903). 1998. 212f. Tese (Doutorado em Educação) -Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

BATISTA, I. L. Reconstruções histórico-filosóficas e a pesquisa em educação científica e matemática. In: Nardi, R (org.). **A pesquisa em ensino de ciências no Brasil**: alguns recortes. São Paulo: Escrituras, 2007. p. 257-272

BERNAL, J. D. **Ciencia y industria en el siglo XIX**. Barcelona: Ediciones Martínez Roca, S.A, 1973.

BOGDAN & BIKLEN. **Investigação qualitativa em educação**: uma introdução à teoria e aos métodos. Coleção Ciências da Educação. Portugal: Porto Editora, 1994.

BRASIL. **Lei nº 9.394**, de 20 de dezembro de 1996. Estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Nacional. Diário Oficial da União, de 23 de dezembro de 1996.

_____. Conselho Nacional de Educação. **Parecer CNE/CES nº 1304**: Diretrizes Nacionais Curriculares para os Cursos de Física. Aprovado em 6 de Nov. 2001, homologada em 04 dez. 2001. Publicado no DOU em 07 dez. 2001.

_____. Conselho Nacional de Educação. **Resolução CNE/CP1/2002**, de 18 de fevereiro de 2002. Diretrizes Curriculares Nacionais para a formação de professores de Educação Básica, em nível superior, curso de licenciatura, de graduação plena. Diário oficial da União, Brasília, 9 de abril de 2002. Seção 1, p.31.

_____. **PCN+ Ensino Médio**: orientações educacionais complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais. Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. Secretaria de Educação Média e Tecnológica - Brasília: Ministério da Educação, 2002.

CAMARGO, S.; NARDI, R. Estudando o processo de reestruturação curricular de um curso de licenciatura em física. In: BASTOS, F.; NARDI, R. (Org.) **Formação de Professores e Práticas Pedagógicas no Ensino de Ciências**: contribuições da pesquisa na área. São Paulo: Escrituras, 2008, p. 53-80.

CARDWELL, D. S. L. **James Joule: a biography.** Manchester: Manchester University Press, 1989

CARMO, L. A.; MEDEIROS, A.; MEDEIROS, C. L. Distorções conceituais em imagens de livros textos: o caso do experimento de Joule com o calorímetro de pás In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 7, 2000, Florianópolis. **Anais...** São Paulo: SBF, 2000. CD-ROM.

CASTILHO, N.; CARNEIRO M. H. S.; DELIZOICOV, D. O movimento do sangue no corpo humano: do contexto da produção do conhecimento para o do seu ensino. **Ciência & Educação**, Bauru, v. 10, n. 3, p. 443-460, 2004.

CHICARINO, A. G. G. P. **Cultura científica: um estudo da relação entre cientistas.** 2009. 166f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência) - Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2009.

CLOUGH, M. P. Learners' responses to the demands of conceptual change: considerations for effective nature of science instruction. **Science & Education**, Dordrecht, v. 15, p. 463–494, 2006.

CONDÉ, M. L. L. paradigma versus estilo de pensamento na história da ciência. In: FIGUEIREDO, B. G.; CONDE, M. L. L. (Org.) **Ciência, História e Teoria.** Belo Horizonte: Argumentum, 2005. p. 123-146.

CONTRERAS, J. **A autonomia dos professores.** São Paulo: Cortez editora, 2002.

CORTELA, B. S.C. **Formadores de professores de Física: uma análise de seus discursos e como podem influenciar na implantação de novos currículos.** 2004. 268f. Dissertação (Mestrado em Educação para a Ciência)-Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2004.

CORTELA, B. S.C. **Formação inicial de professores de Física: fatores limitantes e possibilidades de avanços.** 2011. 289f. Tese (Doutorado em Educação para a Ciência)-Faculdade de Ciências, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2011.

CUCHE, D. **O conceito de cultura nas ciências sociais.** 2 ed., Bauru: Edusc, 2002.

CUNHA, M. I. Docência na universidade, cultura e avaliação institucional: saberes silenciados em questão. **Revista Brasileira de Educação**, Campinas, v. 11, n.32, p. 258-271, 2006.

CUNHA, M. B.; GIORDAN, M. A. Imagem da ciência no cinema. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 31, n. 1, p. 9-17, 2009.

CUTOLO, L. R. A; DELIZOICOV, D. O currículo do curso de graduação em medicina da UFSC: análise a partir das categorias fleckianas. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA E EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2., 1999, Valinhos. **Atas...** Valinhos: ABRAPEC, 1999. 1 CD-ROM.

CUTOLO, L. R. A. **Estilo de pensamento em educação médica – um estudo do currículo do curso de graduação em medicina da UFSC**. 2001. 227f. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

DA ROS, M. A.; DELIZOICOV, D. Estilos de pensamento em saúde pública. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA E EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 2., 1999, Valinhos. **Atas...** Valinhos: ABRAPEC, 1999. 1 CD-ROM.

DA ROS, M. A. **Estilos de pensamento em Saúde Pública – um estudo da produção da FSPUSP e ENSP-FIOCRUZ, entre 1948 e 1994, a partir da epistemologia de Ludwik Fleck**. 2000. 207p. Tese (Doutorado em Educação), Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

DAGHER, Z. R.; FORD, D. J. How are scientists portrayed in children's science biographies? **Science & Education**, Dordrecht, vol. 14, p. 377-393, 2005.

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

_____. et al. Sociogênese do conhecimento e pesquisa em ensino: contribuições a partir do referencial fleckiano. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. Especial, p. 51-67, 2002.

_____. A potencialidade das reflexões epistemológicas. In: BORGES, M.R.R. (Org.). **Filosofia e História da Ciência no contexto da Educação em Ciências: vivências e teorias**. Porto Alegre: Edipucrs, 2007, v. 1, p. 70-96.

DIAS, P. M. C. “A (Im) pertinência da história ao aprendizado da física (um estudo de caso)”, **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 23, n.2, p. 226-235, 2001.

DUARTE, M. C. A história da ciência na prática de professores portugueses: implicações para a formação de professores de ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, v.10, n. 3, p. 317-331, 2004.

EFLIN, J. T.; GLENNAN, S.; REISCH, G. The nature of science: a perspective from the philosophy of science. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 36, n. 1, p. 107-116, 1999.

FLECK, L. **La Génesis y el desarrollo de un hecho científico**. Madrid: Alianza Editorial, 1986.

FLECK, L. **Gênese e desenvolvimento de um fato científico**. Belo Horizonte: Fabrefactum editora, 2010.

FLÔR, C. C. A história da síntese de elementos transurânicos e extensão da tabela periódica numa perspectiva fleckiana. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v.31, n.4, p. 246-250, 2009.

GATTI, S. R. T.; NARDI, R.; SILVA, D. A história da ciência na formação do professor de física: subsídios para um curso sobre o tema atração gravitacional visando às mudanças de postura na ação docente. **Ciência & Educação**, Bauru, v.10, n. 3, p. 491-500, 2004.

GATTI, S. R. T.; NARDI, R.; SILVA, D. História da ciência no ensino de física: um estudo sobre o ensino de atração gravitacional desenvolvido com futuros professores. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p.7-59, 2010.

GIL, A. G. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. Ed., São Paulo: Atlas, 2002.

GIL-PÉREZ D.; et al. Para uma imagem não deformada do trabalho científico. **Ciência & Educação**, Bauru, v.7, n.2, p. 125-153, 2001.

GIROUX, H. A. **Os professores como intelectuais**: rumo a uma pedagogia crítica da aprendizagem. Porto Alegre: Artmed, 1997.

GIROUX, H. A. **Atos impuros**: a prática política dos estudos culturais. Porto alegre: Artmed, 2003.

GLASSON, G. E.; BENTELEY, M. L. Epistemological undercurrents in scientists' reporting of research to teachers. **Science Education**, New York, v. 84, n.4, p. 469-485, 2000.

GOLDFARB, A. M. A. **O que é história da ciência**. São Paulo: Brasiliense, 1994.

GONÇALVES, F. P.; MARQUES, C. A.; DELIZOICOV, D. O desenvolvimento profissional dos formadores de professores de química: contribuições epistemológicas. **Revista da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v.7, n.3, 2007.

GURGEL, C. M. A.; MARIANO, G. E. Concepção de neutralidade e objetividade da ciência e tecnologia na formação de professores de ciências: argumentos para a inserção da história e sociologia da ciência na construção do conhecimento científico. **Revista Brasileira de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Ponta Grossa, v. 1, n.1, p. 59-72, 2008.

HARRES, J. B. S. **Concepções de professores sobre a Natureza da Ciência**. 1999. 243f. Tese (Doutorado em Educação) – Faculdade de Educação, Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1999.

HENRY, J. **A revolução científica e as origens da ciência moderna**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar, 1998.

HESSEN, B. As raízes sócio-econômicas dos Principia de Newton. In: Gama, R. (Org.) **Ciência e técnica. Antologia de textos Históricos**. São Paulo: T. A. Queirós, 1993, p.30-89.

HOBBSAWM, E. J. **A era das revoluções**. 22. ed., Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1977.

_____. **A era dos extremos: o breve século XX**. 2. Ed., São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

IRWING, A. R. Historical case studies: Teaching the nature of science in context. **Science Education**, New York, v.84, n.1, p. 5-26, 2000.

JAPIASSU, H.; MARCONDES, D. **Dicionário básico de filosofia**. 3. ed., Rio de Janeiro Jorge Zahar, 2001

JOULE, J. P. On the mechanical equivalent of heat. **Philosophical transactions of the Royal Society of London**, v. 140, p. 61-82, 1850

_____. **The scientific papers of James Prescott Joule**, Vols I, II Dawson's, London, 1963

KAWAMURA, M. R. D. Disciplinaridade sim! **Ciência e Ensino**, Campinas, n.2, 1997.

KOHNLEIN, K. J. F; PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a concepção empirista – indutivista no ensino de ciências. .In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 8, 2002, Águas De Lindóia. **Atas...** São Paulo: SBF, 2002. (CD – ROM).

KOYRÉ, A. **Galileu e Platão**. Lisboa: Gradiva, [s.d].

KRAG, H. **Introdução à historiografia da ciência**. Porto: Porto Editora, 2001.

KUHN, T. S. **A tensão essencial**. Lisboa: Edições 70, 1977.

_____. **A estrutura das revoluções científicas**. 9. ed., São Paulo: Perspectiva, 2006.

_____. **O caminho desde a estrutura**. São Paulo: Editora da Unesp, 2006b

LAMBACH, M; MARQUES, C. A. Ensino de química na educação de jovens e adultos: relação entre estilos de pensamento e formação docente. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v. 14, n.2, p. 219-235, 2009.

LEDERMAN, N.G. Students' and teachers' conceptions of the nature of science: a review of the research. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 29, n. 4, p. 331–359, 1992.

_____. et. al. Views of nature of science questionnaire (VNOS): toward valid and meaningful assessment of learner's conceptions of nature of science. **Journal of Research in Science Teaching**, New York, v. 39, n.6, p. 497-521, 2002.

LEITE, R. C. M.; FERRARI, N.; DELIZOICOV, D. A história das leis de mendel na perspectiva fleckiana. **Revista da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v.1, n.2, p. 97-108, 2001.

LORENZETTI, L.; DELIZOICOV, D. Educação ambiental: um olhar sobre Dissertações e Teses. **Revista da Associação Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 6, n.2, 2006.

MARCELO GARCÍA, C. **Formação de professores:** para uma mudança educativa. Porto: Porto Editora, 1999.

MARTINS, R. A. Mayer e a Conservação da Energia. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v.6, p. 63-95, 1984.

_____. Que tipo da história da ciência esperamos ter nas próximas décadas? **Episteme**, Porto Alegre, n. 10, p. 39-56, 2000.

MASETTO, M. T. **Competência pedagógica do professor universitário.** São Paulo: Summus Editorial, 2003.

MASSONI, N. T.; MOREIRA, M. A. O cotidiano da sala de aula de uma disciplina de História e Epistemologia da Física para futuro professores. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.12, n. 1, p. 7-54, 2007.

_____. **Estudo de caso etnográfico sobre a contribuição de diferentes visões epistemológicas contemporâneas na formação de professores de física.** 2005. 275f. Dissertação (Mestrado em Física). Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

MASTERMAN, M. A Natureza de um paradigma. In: Lakatos, I e Musgrave A (orgs.) **A crítica e o desenvolvimento do conhecimento.** São Paulo, Cultrix, 1965. p. 72-108

MATTHEWS M. R. História e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 12, p. 164-214, n. 3, 1995.

_____. **Science teaching: the role of history and philosophy of science.** New York: Routledge, 1994.

MCCOMAS, W. F.; ALMAZROA, H.; CLOUGH, M. P. The nature of science in science education: an introduction. **Science & Education**, Dordrecht, v. 7, n. 6, p. 511-532, 1998.

MEDEIROS, A.; MONTEIRO, F. N. A reconstrução de experimentos históricos como uma ferramenta heurística no ensino de física. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA EM EDUCAÇÃO EM CIÊNCIAS, 3, 2001, Atibaia. **Atas...** Atibaia: ABRAPEC, 2001. 1CD-ROM.

MEDINA, M.; BRAGA, M. O Teatro como Ferramenta de Aprendizagem da Física e de Problematização da natureza da ciência. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 27, n.2, p. 313-333, 2010.

MENDONÇA, A. L. O.; VIDEIRA, A. A. P. Progresso científico e incomensurabilidade em Thomas Kuhn. **Scientiae Studia**, São Paulo, v. 5, n.2, p. 169-183, 2007.

MORENTIN, M.; GUIASOLA, J. Comprenden la naturaleza de la ciencia los futuros maestros y maestras de Educación Primaria? **Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias**, Vigo, v. 6, n. 2, p. 246-262, 2007.

NASCIMENTO, T, G. Contribuições da análise do discurso e da epistemologia de fleck para a compreensão da divulgação científica e sua introdução em aulas de ciências. **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v.7, n.2, p.1-18, 2005.

OLIVEIRA, B. J. Cinema e imaginário científico. **História, Ciências, Saúde – Manguinhos**, v. 13, (suplemento), p. 133-50, 2006.

PACCA, J.; DION, S. **The use of original texts in the classroom**. Disponível em: <http://opus. Cilea.it/ cgi-bin/fisicacasite>.

PALMA, C. Arte e ciência no palco. Entrevista concedida a Luisa Massarani e Carla Almeida. **História Ciências, Saúde - Manguinhos**, v. 13, suplemento, p.233-246, 2006.

PENNA, F. L. A.; FILHO, A. R. O uso didático da história da ciência em sala de aula após a implantação dos parâmetros curriculares nacionais para o ensino médio (PCNEM): um estudo a partir de relatos de experiências pedagógicas publicados em periódicos nacionais especializados em ensino de física (2000-2006). **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 26, n.1, p. 48-65, 2009.

PFUETZENREITER, M. R. A epistemologia de Ludwik Fleck como referencial para a pesquisa no ensino na área da saúde. **Ciência & Educação**, Bauru, v.8, n.2, p. 147-159, 2002.

POLANYI, M. **The tacit dimension**. London: Routledge & Kegan Paul, 1966

PORLÁN, A. et al. Conocimiento profesional y epistemologia de los profesores, II: estudos empíricos y conclusiones. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 16 n. 2, p.271–288, 1998.

PRETTO, N, L. **A ciência nos livros didáticos**. Campinas: Unicamp; Salvador: EDUFBA, 1995.

ROLLER, D. H. D. **Iniciação à história da ciência**. São Paulo: Cultrix, 1966.

ROSA, K. D. **A inserção de história e filosofia da ciência na formação de professores de física**: as experiências da UFBA e da UFRGS. 2006. 198f. Dissertação (Mestrado em Ensino, Filosofia e História das Ciências)-Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2006.

ROSENFELD, L. Joule's Scientific Outlook. **Bulletin of the British Society for the History of Science**, v. 1, n. 7, p. 169-176, 1952.

SANTOS, J. L. **O que é cultura**. 16. ed., São Paulo: Brasiliense, 1996.

SCHEID, N. M. J.; FERRARI, N.; DELIZOICOV, D. A construção coletiva do conhecimento científico sobre a estrutura do DNA. **Ciência & Educação**, Bauru, v.11, n.2, p. 223-233, 2005.

SCHEID, N. M. J.; FERRARI, N.; DELIZOICOV, D. Concepções sobre a natureza da ciência num curso de ciências biológicas: imagens que dificultam a educação científica. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto alegre, v. 12, n. 2, 2007. <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>. Acesso em: 03 Fev. 2008.

SCHON, D. A. **The reflective practioner**. How professionals think in action. Londres: Temple Smith, 1983

SCHON, D. **La formación de profesionales reflexivos**. Hacia um nuevo diseño de La enseñanza y El aprendizaje en las profesiones. Barcelona, Paidós/MEC 1992

SHAFER, L.; SCHNELLE, T. Los Fundamentos de La Vision Sociologica de Ludwik Fleck de La Teoria de la Ciencia. In: Fleck. **La génesis y el desarrollo de un hecho científico**. Madrid: Alianza Editorial, 1986.

SHINN, T; RAGOUET. **Controvérsias sobre a ciência**: por uma sociologia transversalista da atividade científica. São Paulo: Editora 34, 2008.

SIBUM, H. O.; MOREL, G. Les gestes de la mesure: Joule, les pratiques de la brasserie et la science. **Annales Histoire, Sciences Sociale**, Ano 53, n. 4/5, p. 745-774, 1998.

SILVA, C. C; MOURA, B. A. A natureza da ciência por meio do estudo de episódios históricos: o caso da popularização da óptica newtoniana. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 30, n. 1, p.1602-1610, 2008.

SILVA, R. M. G. & SCHNETZLER, R. P. Constituição de professores universitários de disciplinas sobre ensino de química. **Química Nova**, São Paulo v. 28, n.6, p.1123-1133, 2005.

SILVEIRA, F. L. A Filosofia da Ciência e o Ensino de Ciências. **Em Aberto**, Brasília, ano 11, nº55, 1992. Disponível em: <http://www.rbep.inep.gov.br/index.php/ema-ber-to/article/viewFile/816/734>. Acesso em: 28 nov. 2008.

SLONGO, I. I. P. Um panorama da produção acadêmica em ensino de biologia desenvolvida em programas nacionais de pós-graduação. **Investigações em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.11, n.3, 2006. Disponível em: <http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>. Acesso em: 10 abr. 10

SMITH, C. W. Faraday as referee of Joule's royal society paper "on the mechanical equivalent of heat". **Isis**, v. 67, n. 238, p. 444-449, 1976.

SMYTH, J. **A rationale for teachers critical pedagogy: a handbook**. Victoria: Deakin University Press, 1987.

SNOW, C. P. **As duas culturas e uma segunda leitura**. São Paulo: Edusp, 1995.

STEFFENS, J. H. **James Prescott Joule and the concept of energy**. New York: Dawson Science History Publications, 1979

THOMSOM, W. **Mathematical and Physical Papers**, London: Cambridge: 1882, 1884, 1890, 1910, 1911), 5 vols.

VÁSQUEZ, A. A.; et. al. Consensos sobre a natureza da ciência: a ciência e a tecnologia na sociedade. **Química Nova na Escola**, n. 27, p. 34-50, 2008

WILLIAMS, R. **Palavras-chave: um vocabulário de cultura e sociedade**. São Paulo: Boitempo, 2007.

ZANETIC, J. Física e arte: uma ponte entre as duas culturas. **Pro-Posições**, Campinas, v. 17, n. 1, p. 39-57, 2006a.

ZANETIC, J. Física e literatura: construindo uma ponte entre as duas culturas. **História, Ciências, Saúde - Manguinhos**, v. 13, suplemento, p.55-70, 2006b.

ZEICHNER, K. M. **A formação reflexiva de professores: idéias e práticas**. Lisboa: Educa, 1993.