

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro de Ciências Físicas e Matemáticas - CFM
Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica - PPGECT

CONTRIBUIÇÕES DA EPISTEMOLOGIA HISTÓRICA DE BACHELARD NO ESTUDO DA EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS DA ÓPTICA

Dissertação apresentada como exigência parcial para obtenção do título de Mestre em Educação Científica e Tecnológica do curso de mestrado em Educação Científica e Tecnológica da Universidade Federal de Santa Catarina

Ana Carolina Staub de Melo

Orientador: Luiz O. Q. Peduzzi

Florianópolis, março de 2005

À Sônia, minha mãe, minha vida...
A Júlio... com amor...

AGRADECIMENTOS

Em especial ao Professor Dr. Luiz O. Q. Peduzzi pela excelente orientação, pelo incentivo constante, e por acreditar na realização deste trabalho: sem seu apoio e confiança a pesquisa jamais teria se concretizado. Meus sinceros agradecimentos.

Com muito carinho agradeço:

À Sônia, minha mãe, minha vida, mesmo distante, sempre presente... com todo meu amor agradeço e dedico este trabalho... Muito Obrigada.

A Julio por compartilhar angústias, anseios, esperanças, por me fortalecer com seu amor. Obrigada por fazer parte da minha vida.

A Hugo Leonardo.... onde quer que esteja..... pela coragem e por muito me ensinar..... meu eterno amor e minha incansável esperança em reencontrá-lo....

A João Victor por existir: meu carinho e amor.

À Ivone pelas freqüentes broncas em virtude de minha ausência, necessárias nessa jornada, e um carinhoso pedido de desculpa.

À Marialva pelo carinho e constantes acolhidas: tão importantes quando se está longe de casa.

Pelo apoio e amizade agradeço:

Ao Baú de Ciências, Professor Nelson Canzian, Rafaela, Karla, Thiago pela troca de experiências e amizade.

À Thaís, Fábio, Juliana, Emerson, e colegas da sala do mestrado pelos inúmeros cafezinhos no bar da biologia: extremamente importantes... Pelo que juntos aprendemos, momentos difíceis e desafios que enfrentamos nessa caminhada: o fim de uma etapa e o início de outra....

À Carla pela sua sincera amizade, pelas discussões sobre CTS e Paulo Freire. Obrigada.

Aos alunos da disciplina Evolução dos Conceitos da Física (2004/1) pelas contribuições fundamentais à pesquisa.

Aos professores do PPGECT, em especial ao Dr. Arden Zylbersztajn, Dr. Frederico Firmo de Souza Cruz, Dr. Walter Bazzo, Dr. José André Peres Angotti e Dr. Demétrio Delizoicov, pelos valiosos ensinamentos.

À CAPES pelo apoio financeiro.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa. Obrigada.

SUMÁRIO

RESUMO	9
ABSTRACT	10
INTRODUÇÃO	11

CAPÍTULO 1 - O PAPEL DA HISTÓRIA E DA FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

1.1 - Formação inicial de professores e pesquisadores.....	16
1.2 - As visões de ciência e o ensino de ciências: contribuições da história e da filosofia da ciência para uma imagem crítica do conhecimento científico.....	21

CAPÍTULO 2 - A DISCIPLINA EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS DA FÍSICA EM CURSOS DE LICENCIATURA EM FÍSICA

2.1 - Uma sondagem sobre a disciplina Evolução dos Conceitos da Física em alguns cursos de Licenciatura em Física: possível presença no currículo e vinculação ao debate epistemológico.....	26
2.2 - Diálogo entre história e filosofia da ciência em uma disciplina de Evolução dos Conceitos da Física: possíveis contribuições para um debate epistemológico.....	32

CAPÍTULO 3 – A FILOSOFIA HISTÓRICA DE GASTON BACHELARD

3.1 - Aspectos gerais da epistemologia de Bachelard.....	45
3.2 - Bachelard e o ensino de ciências.....	48
3.3 - Rupturas e descontinuidades na evolução do pensamento científico.....	49
3.4 - Recorrência histórica	51
3.5 - O erro no pensamento bachelardiano.....	51
3.6 - Obstáculos epistemológicos.....	52
3.7 - Analogias, metáforas e imagens na perspectiva bachelardiana.....	58
3.8 - A dialética racionalismo-empirismo.....	59

CAPÍTULO 4 – NATUREZA METODOLÓGICA DA PESQUISA: SOBRE A ELABORAÇÃO DO TEXTO E INSTRUMENTOS PARA COLETA DE DADOS

4.1 - Metodologia da pesquisa: aspectos gerais.....	62
4.2 - O perfil da disciplina Evolução dos Conceitos da Física: contexto da pesquisa.....	63
4.3 - Sobre a estrutura do texto ' <i>A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz</i> '.....	65
4.4 - Sobre a estrutura da história da óptica apresentada no livro ' <i>Origens e Evolução das Idéias da Física</i> '.....	67
4.5 - Sobre a estrutura do texto ' <i>La Actividade Racionalista de la Física Contemporanea</i> '.....	67
4.6 - Sobre os instrumentos para coleta de dados	
4.6.1 - Observação.....	68
4.6.2 - Questionário.....	71
4.6.3 - Entrevista.....	73
4.7 - Uma sondagem exploratória do texto ' <i>A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz</i> ' junto a um grupo de alunos do curso de Física.....	74
4.8 - Implementação do texto na disciplina Evolução dos Conceitos da Física.....	77

CAPÍTULO 5 – A EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD NO ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA ÓPTICA: UMA APROXIMAÇÃO ATRAVÉS DE UM TEXTO NA DISCIPLINA EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS DA FÍSICA.....80

A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz

5.1 - Introdução.....	81
5.2 - A Epistemologia histórica de Gaston Bachelard.....	85
5.3 - Newton e a natureza corpuscular da luz.....	87
5.4 - Rupturas e descontinuidades na evolução da óptica	
5.4.1 - Do mundo físico grego ao século XVII: sobre os mecanismos da visão e a natureza da luz.....	89
5.4.2 - Um breve percurso ao longo da história da óptica: de Newton a Einstein.....	93

5.5 - A história recorrente de Bachelard e as controvérsias sobre os espelhos ardentes de Arquimedes.....	98
5.6 - Um exemplo de obstáculo epistemológico na estruturação da concepção newtoniana da luz.....	100
5.7 - Analogias e metáforas na evolução da óptica: uma análise a partir da perspectiva bachelardiana.....	102
5.8 - Analogias no ensino de ciências.....	105
5.9 - As novas perspectivas da ciência contemporânea à luz da epistemologia bachelardiana	
5.9.1 - Diálogo entre a razão e a experiência: o papel do instrumental técnico na física contemporânea.....	107
5.9.2 - A natureza distinta da física quântica: sobre moléculas, átomos e elétrons.....	111
5.10 - A experiência da dispersão da luz branca: uma análise crítica à sua abordagem.....	114
5.11 - Considerações finais.....	117
5.12 - Questionário.....	120

CAPÍTULO 6 - IMPLEMENTAÇÃO DO TEXTO NA DISCIPLINA EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS DA FÍSICA E ANÁLISE DOS DADOS.....122

CAPÍTULO 7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS: CAMINHOS E PERSPECTIVAS.....155

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....162

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARES.....170

ANEXO 01.....172

ANEXO 02.....177

ANEXO 03.....182

ANEXO 04.....194

RESUMO

Na presente pesquisa desenvolveu-se o texto '*A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz*', com o objetivo de ilustrar um diálogo entre a história e a filosofia da ciência em uma disciplina de evolução dos conceitos da física. Nesta perspectiva, o texto explorou uma articulação entre conceitos centrais da filosofia histórica de Gaston Bachelard e a história da óptica, centrada, fundamentalmente na obra "*La actividad racionalista de la física contemporánea*" (Bachelard, 1975) e na evolução da óptica apresentada no livro "*Orígenes e evolução das idéias da física*" (Rocha et al., 2002).

Destacou-se nesta trajetória histórica as principais características da epistemologia bachelardiana, dando ênfase aos períodos de rupturas e discontinuidades; a constante retificação do erro, no sentido de que um conhecimento se dá contra outro; a superação dos obstáculos epistemológicos; ao novo conceito de verdade; a noção de recorrência histórica; as analogias no âmbito da ciência e do ensino; e a nova visão da física moderna, evidenciando a dialética racionalismo-empirismo e o valor do instrumental técnico no domínio quântico.

A disciplina Evolução dos Conceitos da Física no curso de Física da UFSC configurou-se um espaço propício para implementar a proposta elaborada, tendo em vista contribuir para uma visão mais crítica da natureza e construção da ciência óptica na formação inicial de professores e de pesquisadores. A fim de investigar a receptividade, influências e contribuições do texto junto aos alunos da disciplina, no primeiro semestre de 2004, o texto foi avaliado sob a forma de um questionário, entrevistas e com base em observações livres realizadas pela pesquisadora em sala de aula.

Os alunos mostraram-se bastante receptivos frente à proposta de um diálogo entre a filosofia bachelardiana e a história da óptica. A avaliação geral do texto sinalizou fortes indicativos da importância de uma abordagem epistemológica no estudo da evolução das idéias da física em geral, e da ciência óptica em particular. Observações críticas quanto à clareza dos conteúdos abordados, estruturação e encadeamento de idéias também se configuram parte do amplo espectro de contribuições dos alunos na perspectiva de implementar melhorias no texto, tendo em vista aprofundar e conferir maior clareza aos conteúdos abordados.

ABSTRACT

During the development of this research, I have written the text *“Bachelard’s Historic Epistemology in Optics Evolution: controversies about the nature of light”* with the aim of producing a dialogue between History and Philosophy of Science within a subject which deals with evolution of Physics concepts. Following this perspective, I have explored an articulation among central concepts from Gaston Bachelard’s Historic Philosophy presented in the work *“La actividad racionalista de la física contemporánea”* (Bachelard, 1975) and in Optics’ evolution as introduced by the book *“Origens e evolução das idéias da física”* (Rocha et al., 2002).

The text highlighted the main features of Bachelardian epistemology, focusing on the disruption and discontinuity periods; on the constant error adjustment and reviews, in the sense that specific knowledge comes in the opposition to another knowledge; on the overcoming of epistemologic obstacles; on the new truth concept; on the historic recurrence notion; in the use of analogies by Science and Education; and on the new Modern Physics perspective, in which it is evident the dialectics rationalist-empiricism and the technical instrumental value.

The discipline Evolution of Physics’s Concepts, part of Physics course at UFSC, constituted an adequate opportunity to develop the elaborated proposal, that aims to contribute to a more critical view of nature and of construction of Optics Science in the initial education of teachers and researchers. In order to investigate the receptiveness, influences and contributions of the text among the mentioned subject pupils, in 2004 first semester the text was subdued by researcher, evaluated by means of a questionnaire and of interviews, as well as on free observation along the semester.

The pupils appeared to be very receptive to the proposal of a dialogue between the Bachelardian Philosophy and the Optics History. The general evaluation of the text has shown powerful evidences of the importance of an epistemologic approach in the gradual development of generic Physics ideas and of particular Optics Science ideas. Criticism related to the intelligibility of the contents broached, construction and connection of ideas also constitute part of the large amount of contributions of pupils in the sense of improving the text, with the objective of deepening and granting more clearness to the contents broached.

INTRODUÇÃO

O curso de Física da Universidade Federal de Santa Catarina contempla a disciplina Evolução dos Conceitos da Física, que aborda a história da física resgatando as raízes de conceitos, idéias e teorias desde a Antiguidade Clássica, ilustrando as concepções de mundo dos gregos, até as concepções do presente. A evolução da cosmologia e da mecânica; a evolução das idéias sobre luz, eletricidade e magnetismo; e a evolução das idéias sobre calor e constituição da matéria configuram o programa da disciplina. Contudo, deixa em aberto o referencial epistemológico, talvez, e com boas razões, propositadamente.

As discussões sobre como o conhecimento científico se desenvolve desencadeiam inúmeras interpretações. Gaston Bachelard (1884-1962), epistemólogo e educador, critica aquelas que adotam uma única posição filosófica, seja na ênfase ao empirismo, ao racionalismo, ou outras doutrinas, para toda a evolução do pensamento científico. Ele admite a existência de uma característica filosófica dialética e plural conferida às etapas históricas da ciência, dando relevância à complementaridade e dinâmica de doutrinas filosóficas no avançar científico.

Nesta perspectiva, quando se estuda a evolução histórica do conhecimento científico é necessário explorar criticamente os principais aspectos que delineiam cada pensamento na ciência, com o intuito de proporcionar ao aluno uma visão não apenas cronológica, mas também filosófica da pesquisa científica de cada época.

Conhecido por "*filósofo da desilusão*" (Lopes, 1993; 1996), Bachelard viveu em um período atípico, de grande singularidade na física, quando a Mecânica Newtoniana e o Eletromagnetismo tiveram seus alicerces estremecidos pela Teoria da Relatividade e pela Mecânica Quântica.

Segundo Bachelard (1999), o pensamento científico está organizado em três grandes etapas históricas*:

- O período pré-científico, que abrange toda Antiguidade Clássica, os séculos XVI, XVII e início do século XVIII;
- O período científico, que compreende o século XVIII, todo século XIX, e início do século XX.
- A era do novo espírito científico, que inicia em 1905, com a Teoria da Relatividade de Einstein, marcando um momento de ruptura com paradigmas intocáveis e inabaláveis. Compreende a pesquisa científica contemporânea*.

* Esses resultados foram obtidos por Bachelard com base em análises na literatura desta época, apresentados em seu livro '*A Formação do Espírito Científico*' (Bachelard,1999).

Conforme ilustra Bachelard, durante o período pré-científico, o objeto era determinante, condicionava a teoria, e o valor da linguagem matemática, quando começou a ocorrer, era fundamentalmente descritivo, o de proporcionar uma comunicação universal do que havia sido descoberto no experimento. O pensamento científico a partir do século XVI até o início do século XVIII valorizava o utilitarismo, o conceito pragmático dos conhecimentos, sem dar a devida relevância às características microscópicas dos objetos, balizando a prática dos cientistas durante esta etapa histórica.

Em contrapartida, esta visão é antagônica a que constitui a era do novo espírito científico, a era da ciência contemporânea. O conhecimento científico não se forma por justaposição ao conhecimento comum. A formação do novo espírito científico (Bachelard,1979) acontece contra a valorização ou impressão imediata de um objeto, contra o romantismo provocado pelo pitoresco e as generalizações apressadas. A pesquisa científica moderna cria situações que a natureza não dispõe. Não apenas a experiência, mas também as funções matemáticas são responsáveis pelas condições de limite ou extrapolação de um fenômeno.

Com efeito, Bachelard refuta os pressupostos básicos de uma doutrina filosófica unitária, seja ela qual for, como característica do pensamento e pesquisa científica. O novo espírito científico adquire base filosófica dialética e plural, ou seja, com linguagem racionalista e empirista, e conforme seu ecletismo, uma completa a outra.

Desta forma a atividade científica não fica restrita a uma única visão filosófica; ela contempla e necessita de um empirismo, mas não aquele que apenas desempenha a função descritiva e valorizada do pitoresco. Mas sim aquele que passa a ser um empirismo técnico, vê o que a experiência é capaz de criar, desrealizar, recomeçar dentro de um laboratório. Como também abarca o racionalismo que, a priori, estabelece hipóteses que não necessariamente foram experimentadas, mas que nem por isso são de imediato refutadas. A geometrização e a matematização do racionalismo são responsáveis por definir a extensão de um fenômeno, e a posteriori, criam-se situações experimentais destas hipóteses, que extrapolam os limites da natureza.

As investigações no campo da física de partículas (Weinberg, 1996), como apresenta Zylbersztajn (2003), exprimem a nova visão do objeto científico na pesquisa atual, propiciado por uma técnica, neste caso o acelerador linear que torna possível a detecção de inúmeras partículas.

Como enfatiza Bachelard (1979), com o novo espírito científico:

“...percebe-se que o realismo e o racionalismo permutam sem fim seus pareceres. Nem um nem outro isoladamente é suficiente para constituir a prova científica; no reino das ciências físicas, não há lugar para uma intuição do fenômeno que revelasse de uma só vez os fundamentos do real; tampouco há lugar para uma convicção racional – absoluta e definitiva – que impusesse categorias

fundamentais aos nossos métodos de pesquisas experimentais. Existe aí uma razão de novidade metodológica que teremos de trazer à luz; as relações entre a teoria e a experiência são de tal modo estreitas que nenhum método, seja experimental seja racional, está seguro de manter seu valor. Pode-se mesmo ir mais longe: um método excelente termina por perder sua fecundidade se não se renova seu objeto.”

Esta é a concepção bachelardiana da Física Moderna e Contemporânea, enfim, da nova pesquisa científica que vem se estruturando desde a Mecânica Relativística.

Integrado nestas mudanças do pensamento científico deve estar o aluno da disciplina Evolução dos Conceitos da Física, do Curso de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, devendo ser capaz de analisar criticamente este desenvolvimento histórico.

Com base nisso, a presente pesquisa tem como objetivos desenvolver, aplicar e avaliar um texto voltado para o aluno da disciplina Evolução dos Conceitos da Física, que contemple uma análise da evolução das teorias físicas sobre a natureza da luz vinculada a noções específicas da epistemologia de Bachelard, centrada fundamentalmente na obra *“La Actividad Racionalista de la Física Contemporanea”* (Bachelard, 1975) e na história da óptica apresentada no livro *“Origens e evolução das idéias da física”* (Rocha et al., 2002).

Serão destacadas e ancoradas a este segmento histórico as principais características da filosofia bachelardiana, dando ênfase aos períodos de rupturas e descontinuidades; a constante retificação do erro, no sentido de que um conhecimento se dá contra outro; a superação dos obstáculos epistemológicos; ao novo conceito de verdade; a noção de recorrência histórica; ao uso das analogias no âmbito da ciência e do ensino; e a nova visão da Física Moderna e Contemporânea, evidenciando a dialética racionalismo-empirismo.

Construído com o intuito de agrupar elementos que poderão ajudar o aluno a organizar e analisar epistemologicamente o conhecimento histórico adquirido, o texto objetiva auxiliar a (re) pensar como se constroem e mudam os conhecimentos científicos. Neste sentido, pretende-se investigar a pertinência, influências e contribuições do material instrucional junto aos alunos de Evolução dos Conceitos da Física.

Como o curso de Física da Universidade Federal de Santa Catarina não possui nenhuma disciplina de Epistemologia da Ciência, cabe a disciplina Evolução dos Conceitos da Física suprir, ao menos em parte, esta lacuna.

A Filosofia Histórica de Bachelard proporcionaria, em princípio, um amplo conjunto de características relevantes dessa evolução, a serem consideradas neste perfil de análise. Isto não impede mostrar ao estudante e/ou indicar leituras de outras concepções existentes sobre a natureza e

construção do conhecimento científico, bem como das dissonâncias entre elas (Feyerabend, 1977; Kuhn, 1987).

OBJETIVOS:

Objetivo Geral

- Contribuir para uma reflexão crítica no estudo da evolução das idéias, conceitos e teorias da óptica à luz da filosofia bachelardiana.

Objetivos Específicos

- Desenvolver um texto voltado para o aluno da disciplina Evolução dos Conceitos da Física destacando as principais características da filosofia bachelardiana na história da óptica;
- Delinear estratégias de ensino para esta disciplina, que ensejem a articulação entre a história da óptica e noções específicas da epistemologia de Bachelard (módulo da óptica);
- Aplicar o material instrucional na disciplina Evolução dos Conceitos da Física no curso de Física da Universidade Federal de Santa Catarina;
- Identificar as possíveis influências e contribuições do material instrucional na disciplina Evolução dos Conceitos da Física;

O material desenvolvido destina-se, basicamente, a um aluno em fase final de formação, mas poderá, eventualmente, ser utilizado em cursos de atualização e formação de professores.

A seguir apresenta-se a **estrutura da dissertação** por capítulo, discorrendo brevemente sobre o que se propõe discutir, detalhar e investigar ao longo desta pesquisa:

O **capítulo 1** examina discussões apresentadas na literatura especializada no ensino de ciências sobre a imagem equivocada da natureza e construção do conhecimento científico entre professores, bastante preocupante, uma vez que elas intervêm em suas práticas docentes interferindo decisivamente na compreensão dos alunos em relação à ciência. Aborda-se também a relevância da história e da filosofia da ciência no ensino em geral, aspecto priorizado por várias pesquisas, que, além de ressaltarem sua pertinência, indicam possibilidades de seu tratamento efetivo em sala de aula.

O **capítulo 2** investiga como se apresenta a disciplina Evolução dos Conceitos da Física, ou similar, nos currículos de Licenciatura em Física de uma amostra de Instituições de Ensino Superior. Exploram-se, também, exemplos que aproximam a história da física a reflexões sobre a natureza e a

construção do conhecimento científico, com a intenção de ilustrar que o diálogo entre história e filosofia da ciência, nesta disciplina, pode contribuir para uma formação mais crítica e reflexiva do aluno.

O **capítulo 3** analisa características essenciais da filosofia bachelardiana, ressaltando a idéia de rupturas e descontinuidades; a constante retificação do erro; a superação dos obstáculos epistemológicos; o novo conceito de verdade; a noção de recorrência histórica; o papel das analogias, metáforas e imagens na ciência; a nova visão da Física Moderna e Contemporânea, evidenciando a dialética racionalismo-empirismo.

O **capítulo 4** detalha a natureza metodológica da pesquisa, apresentando a estrutura do texto desenvolvido e os instrumentos para coleta de dados, que compreendem: um questionário, no qual os alunos devem se posicionar, essencialmente quanto à pertinência (contribuições e influências do texto), grau de dificuldade e clareza na abordagem dos conteúdos e estruturação de idéias presentes no texto; entrevistas, que pretendem esclarecer e complementar aspectos mencionados com pouca ênfase no questionário e/ou explorar questões não destacadas; e a observação, fundamental para a compreensão do cenário no qual se desenvolve a pesquisa.

O **capítulo 5** apresenta o texto *'A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz'* elaborado para a disciplina Evolução dos Conceitos da Física. O texto contempla uma análise da evolução das teorias físicas sobre a natureza da luz vinculada a reflexões específicas de um pensador da filosofia da ciência, Gaston Bachelard. Esta articulação está centrada, essencialmente, na sua obra *'A Atividade Racionalista na Física Contemporânea'* (Bachelard, 1975), e na história da óptica, apresentada no livro *'Origens e Evolução das Idéias da Física'* (Rocha et al., 2001).

O **capítulo 6** contempla a análise dos dados e resultados da pesquisa. As implicações e contribuições da implementação do texto junto à disciplina Evolução dos Conceitos da Física, decorrentes das observações realizadas; e da análise das respostas dos alunos, obtidas a partir do questionário e das entrevistas.

O **capítulo 7** refere-se à conclusão da pesquisa. Em função da aplicação do texto examina-se, entre outras coisas, a pertinência ou não da abordagem histórico-filosófica em uma disciplina que trata a história da física, tendo em vista a reação dos alunos nas discussões, respostas críticas e sugestões levantadas no questionário e nas entrevistas. Como nenhuma pesquisa configura-se conclusiva no sentido estanque da palavra, suscita-se questionamentos que possibilitarão novas investigações, perspectivas de novos trabalhos.

CAPÍTULO 1 – A PERTINÊNCIA DA HISTÓRIA E DA FILOSOFIA DA CIÊNCIA NO ENSINO DE CIÊNCIAS

1.1 – Formação inicial de professores e pesquisadores

É consensual entre os filósofos contemporâneos a crítica acerca da imagem tradicional da ciência, a visão empírico-indutivista, no sentido de que ela é deficiente para fundamentar a atividade científica contemporânea e a evolução do pensamento científico. Ocorre que esta imagem tradicional da ciência não fica restrita ao campo da epistemologia. Ela está largamente disseminada no meio escolar, no ensino de ciências, tendo em vista as concepções de professores, alunos e a apresentação dos livros didáticos.

Apesar de haver esta incoerência, entre o que realmente se pode afirmar da formação do pensamento científico, e o que efetivamente é transmitido aos estudantes, o tradicional, por comodidade ou desconhecimento, continua seu império no ensino de ciências. Esta concepção baliza e mitifica a visão do que realmente se processa na natureza e construção do conhecimento científico. Surge então a necessidade de se desenvolver investigações com a intenção de analisar e lidar com os obstáculos acarretados por esta visão epistemológica deformada (Köhnlein & Peduzzi, 2002; Medeiros & Bezerra Filho, 2000; Lombardi, 1997) na educação científica.

O artigo *‘Para uma Imagem não Deformada do Trabalho Científico’* (Pérez et al., 2001) apresenta sete visões deformadas do trabalho científico presentes na concepção de professores de ciências. A *‘visão empírico-indutivista e ateorica’*: pressupõe a observação neutra e objetiva como gênese do conhecimento, um contraste à idéia de que a observação está impregnada de teoria; a *‘visão rígida (algorítmica, exata, infalível, ...)’*: acredita que a ciência segue rigorosamente o método científico, de natureza indiscutivelmente confiável; a *‘visão ahistórica e aproblemática’*: a primazia é dada ao produto do conhecimento, concebido como estanque e imutável, de caráter absoluto, a ciência nasce desarticulada de um problema; a *‘visão exclusivamente analítica’*: destaca a perspectiva fragmentada do conhecimento em contraposição ao caráter complexo e unificador de várias teorias científicas; a *‘visão acumulativa de crescimento linear’*: enfatiza a construção do conhecimento científico como contínuo, desconsiderando as rupturas nas trajetórias históricas; a *‘visão individualista e elitista’*: concebe o conhecimento científico como fruto de mentes brilhantes, gênios com freqüentes idéias iluminadoras, relegando-se ao esquecimento o trabalho coletivo desse empreendimento; a *‘visão socialmente neutra’*: interpreta a ciência como uma instância isolada, sem trocas com a realidade sócio-histórica e cultural.

Harres (1999) também desenvolve sua tese explorando as concepções equivocadas de professores acerca da natureza da ciência. De forma bastante similar aos estudos realizados nesta

perspectiva em cenários diversos, identifica que os professores pesquisados manifestam uma imagem inadequada da natureza da ciência, semelhante aos pressupostos empiristas. Cabe explicitar algumas das afirmativas mais acentuadas entre os professores no que diz respeito a gênese e desenvolvimento da ciência, evidenciando visões bastante inadequadas do conhecimento científico: a elaboração de Leis e Princípios científicos dispensa obrigatoriamente a criatividade, a intuição e a imaginação do pesquisador; o modo como a ciência produz conhecimento segue necessariamente a seqüência: observação dos fatos, elaboração de hipóteses, comprovação experimental das hipóteses, conclusões, generalizações; o conhecimento científico se distingue do não científico pelo fato de usar o método científico, isto é, partir da observação e experimentos para, posteriormente, elaborar leis e princípios; existe apenas um método geral e universal para produzir conhecimento científico; as afirmações científicas e os enunciados científicos são necessariamente verdadeiros e definitivos.

Com o propósito de investigar as idéias sobre a natureza do conhecimento científico entre futuros professores de química, física, biologia e ciências, Borges (1991) utilizou seis textos que contemplam distintos modelos teóricos (concepções) de ciência, destacando-se: o empirismo indutivo (Francis Bacon), o falseacionismo (Karl Popper), o contextualismo (Thomas S. Kuhn) e o anarquismo epistemológico (Paul Feyerabend). Ao analisá-los, os alunos deveriam atribuir uma nota a cada um deles e, em seguida, comentar criticamente o posicionamento assumido. O instrumento metodológico *Idéias sobre a natureza do conhecimento científico* foi adaptado do original criado por Zylbersztajn (1986a)¹. Os resultados da pesquisa sinalizaram que dos 238 licenciandos investigados em 23 turmas de 9 IES do estado do Rio Grande do Sul; 49% ressaltam o empirismo, tendo em vista a idéia de que a fonte do conhecimento está na observação neutra; 19% enfatizam o construtivismo, acreditando que a observação está impregnada de teoria; 32% são classificados como indefinidos. Contudo, conforme comenta Borges (1991), os indefinidos compreendem também aqueles que a partir dos comentários tecidos não foi possível identificar a concepção de ciência, podendo, desta forma, aumentar o número de empiristas e de construtivistas. Considerando isoladamente os cursos de Licenciatura, Borges evidencia que no curso de Licenciatura em Física, os percentuais correspondentes à categoria empirismo aumentam, compreendendo 58%; quanto aos construtivistas 23% e os indefinidos 23%.

Crescentes investigações e pesquisas (Pérez et al, 2001; Bahia, 2001; Harres, 1999; Praia & Cachapuz, 1994; Ostermann & Moreira, 1993) no que se refere às imagens que educadores, em particular professores de ciências, vinculam a gênese e desenvolvimento da ciência, estão em sintonia com o que Zimmerman & Bertani (2003) indicam no artigo *“Um novo olhar sobre os cursos de formação de professores”*: mesmo o professor tendo posições inconscientes e/ou assumidas acriticamente sobre o desenvolvimento da produção científica elas intervêm nas práticas pedagógicas, interferindo diretamente na formação e estruturação do pensamento do aluno. Com base nisso, deve-se pensar

¹ ZYLBERSZTAJN, A. *Idéias sobre a natureza do conhecimento científico*. Natal, UFRN, 1986.

melhor acerca da formação dos professores no ensino de ciências, para que não reproduzam em sala de aula uma imagem positivista da ciência.

Parece então necessário inserir o futuro educador em ambientes de reflexões, discussões e questionamentos, proporcionando reformas de idéias e conceitos. É neste contexto que se conjectura a importância do estudo investigativo de um período histórico à luz de uma fundamentação teórico-filosófica, na formação de professores.

A história da ciência pode possibilitar uma relação proximal com a filosofia da ciência contemporânea. No entanto, a potencialidade de uma ampla reflexão dos alunos no ensino de ciências só se efetivará diante de um incentivo partido do educador. Este ponto é a premissa básica para o entendimento das preocupações aqui suscitadas. A formação do professor deve transcender o tradicionalismo e a passividade da prática docente em que se apresenta a atual realidade do sistema educacional brasileiro. Para ações e atitudes diferenciadas, de natureza contestável na sala de aula, deve-se (re) pensar o desenvolvimento do pensamento crítico e construtivo do educador. As contribuições da história e da filosofia da ciência na formação inicial de professores têm implicações diretas nas suas práticas em sala de aula, podendo contribuir para um ensino de ciências mais crítico e dinâmico.

Em algumas de suas reflexões voltadas para educação, Bachelard (1999) enfatiza:

“Sem dúvida, seria mais simples ensinar só o resultado. Mas o ensino dos resultados da ciência nunca é um ensino científico. Se não for explicada a linha de produção espiritual que levou ao resultado, pode-se ter certeza de que o aluno vai associar o resultado a suas imagens mais conhecidas.”

Assim, devem ser consideradas as possibilidades trazidas ao ensino pela história da ciência em disciplinas como a de Evolução dos Conceitos da Física do curso de Física da UFSC. Em particular, sobre a necessidade de um estudo consciente por parte do aluno, isto é, explorando domínios filosóficos, isolados e em conjunto, analisando como este espectro vai se prolongando, à medida que um conhecimento se dá contra outro, modificando a noção base de uma filosofia. Com esta constante retificação de pensamentos e superação de obstáculos é que o avançar da pesquisa científica se realiza.

Por outro lado, se os conteúdos da disciplina Evolução dos Conceitos da Física não estiverem vinculados a reflexões epistemológicas, como por exemplo, a análise histórica de Bachelard, o tratamento dado a história da ciência pode não passar de uma visão cumulativa e descontextualizada. Evidentemente, a ênfase dada a Bachelard não exclui a conexão de algumas de suas idéias com a de outros autores.

Uma visão crítica da evolução da história da ciência e da pesquisa científica contemporânea deve impregnar o pensamento do futuro educador. Para que, ao se deparar às novas estruturas do

ensino médio, como os Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNEM,1999), possa assumi-las de forma diferenciada, utilizando o que sua formação foi capaz de propiciar. E para os futuros bacharéis, o entendimento crítico de sua própria ciência configura-se igualmente pertinente.

Peduzzi (2001) evidencia contribuições significativas da utilização didática da história da ciência articulada a uma epistemologia crítica para futuros bacharéis em Física. O texto *Força e Movimento: de Thales a Galilen`* implementado na disciplina de Física Geral I no curso de bacharelado em Física da Universidade Federal de Santa Catarina em 1999/1, ilustra a história de um segmento da mecânica, priorizando aspectos críticos dessa trajetória. Entre eles, pode-se destacar: mostra os problemas e a criatividade do cientista em ação – como as dificuldades que Niccolò Tartaglia (1500-1557) supera ao concluir que a trajetória de um projétil lançado obliquamente não pode ser retilínea em nenhum segmento da sua trajetória; chama a atenção para a existência de certas semelhanças entre a física intuitiva do aluno sobre a relação força e movimento e concepções historicamente superadas sobre este tema (física aristotélica, física da força impressa e física do ímpetus); contribui para desfazer um mito na ciência – o associado à lendária experiência da torre de Pisa; mostra a força da razão e as observações impregnadas de teoria – que as diferentes interpretações de Galileu e Scheiner sobre as manchas solares exemplificam tão bem; explicita um segmento significativo da evolução do conceito de força; exemplifica, a partir do caso de Rético e Copérnico, a importância de homens que incentivaram grandes cientistas a divulgarem sua obra; exhibe a dimensão coletiva do conhecimento; mostra tanto os acertos quanto os erros na ciência.

Tendo em vista avaliar a receptividade do texto junto aos alunos dessa disciplina, de natureza específica do curso de Física, Peduzzi (2001) encaminhou aos alunos uma questão para uma apreciação crítica da abordagem histórica ancorada ao estudo da mecânica: *Faça uma análise crítica sobre a presença da história da ciência neste seu curso de Física Geral I?*. De maneira geral, os alunos, futuros bacharéis, manifestaram-se favoravelmente à história, sinalizando relevantes e satisfatórios indicativos da pertinência da história da ciência em uma disciplina de Física Geral I.

Conforme acentua Peduzzi (2001), a história da ciência pode:

- Incrementar a cultura geral do aluno, admitindo-se, neste caso, que há um valor intrínseco em se compreender certos episódios fundamentais que ocorreram na história do pensamento científico (como a revolução científica dos séculos XVI e XVII, por exemplo);
- Desmistificar o método científico, dando ao aluno os subsídios necessários para que ele tenha um melhor entendimento do trabalho do cientista;
- Mostrar como o pensamento científico se modifica com o tempo, evidenciando que as teorias científicas não são ´definitivas e irrevogáveis`, mas objeto de constante revisão;

- Chamar a atenção para o papel das idéias metafísicas (e teológicas) no desenvolvimento de teorias científicas mais antigas;
- Contribuir para um melhor entendimento das relações da ciência com a tecnologia, cultura e a sociedade;
- Tornar as aulas de ciências (e de Física) mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico (Matthews, 1995, p.164-214);
- Propiciar o aparecimento de novas maneiras de ensinar certos conteúdos;
- Melhorar o relacionamento professor-aluno;
- Levar o aluno a se interessar mais pelo ensino de física.

Uma disciplina de evolução dos conceitos da física, em um curso de Física, pode apresentar contribuições importantes à formação docente e do pesquisador. Aliar o estudo dos conhecimentos físicos, por exemplo, à análise recorrente do passado, a partir de um olhar reflexivo do presente, pode trazer um conjunto de influências na construção crítico-reflexiva do futuro educador e futuro pesquisador.

O papel da Epistemologia em uma disciplina de evolução dos conceitos da física é justamente o de consolidar os conteúdos e conceitos a um “*pensar sobre o pensar*”. Nesta perspectiva, a partir de uma preocupação em agrupar ao espectro histórico evolutivo da disciplina elementos filosóficos e epistemológicos, sua função adquire uma conotação muito mais abrangente, não restrita apenas a aquisição de conhecimentos, assumindo o caráter crítico e dialógico. Pois “*a Filosofia também é uma busca de significado – de conexões e relacionamentos - mas em níveis mais gerais de experiência e entendimento pessoal*” (Splitter & Sharp,1999).

A Filosofia aliada a uma estrutura de pensamento contempla ‘*as ferramentas ou procedimentos da investigação filosófica*’ (Splitter & Sharp,1999) capazes de desenvolver nos licenciandos e bacharéis os instrumentos necessários, competências e capacidades críticas que ensejem mudanças de postura no ambiente escolar e de divulgação científica. Pode-se resumi-las da seguinte forma:

“(...) dar e avaliar razões; formular perguntas relevantes e desafiadoras; examinar e refinar suposições e implicações; modificar e corrigir o pensamento um do outro; construir hipóteses e critérios; fazer conexões e distinções; usar analogias para explicar, ilustrar e persuadir; tomar conhecimento de perspectivas e pontos de vista diferentes; analisar conceitos... são indispensáveis para conectar pensamentos, idéias e experiências dentro de uma visão de mundo coerente e coesa.”

Neste trabalho procura-se evidenciar a importância da presença da filosofia da ciência em uma disciplina que trata a história da física. Pode-se, em princípio, argumentar pelas dificuldades desse

empreendimento, por exemplo, pela ausência, no currículo, de uma disciplina específica de filosofia da ciência. A objeção ou crítica é certamente válida, mas sem a sua superação fica-se com uma história meramente cronológica, acrítica, pobre, desorientada ou, conforme Lakatos, cega.

A seleção de textos, em uma disciplina com o perfil defendido neste trabalho, deve ser orientada para uma filosofia não empirista. A articulação texto-professor-aluno é vital neste empreendimento.

Diante das diversas implicações de um tratamento histórico-epistemológico em uma disciplina de evolução dos conceitos da física, percebe-se que é de relevância primordial elucidar as conseqüências acarretadas também no ensino de ciências. À medida que a dinamicidade a que o conhecimento está sujeito torna-o constantemente obsoleto, em meio a sua permanente renovação, é fundamental apresentar ao aluno, no ensino de física particularmente, tais características, a fim de desmistificar as imagens equivocadas da ciência que usualmente perpassam este contexto.

1.2 - As visões de ciência e o ensino de ciências: contribuições da história e da filosofia da ciência para uma imagem crítica do conhecimento científico

Köhnlein (2003) apresenta os resultados de um estudo desenvolvido com um grupo de alunos da 3ª série do ensino médio, com o intuito de vislumbrar as distintas visões e interpretações dos estudantes acerca de como imaginavam o trabalho de um cientista. Nestes termos, propôs uma atividade em que os estudantes deveriam criar uma pequena história em quadrinhos que ilustrasse o cientista em seu dia a dia, envolvido em sua pesquisa. Em síntese, conforme Köhnlein (2003), as histórias construídas pelos alunos encerram o trabalho do cientista ao laboratório, espaço onde a partir de observações e experimentações sistemáticas conclui indutivamente leis e teorias científicas; a caricatura do cientista, cabelos desajeitados (como os de Einstein) e em todos os momentos sozinho, representa um sujeito diferente do homem comum, social e histórico.

Tendo em vista identificar a percepção de ciência dos estudantes das primeiras séries do ensino médio, Pinheiro (1996) realiza uma pesquisa semelhante, com um grupo de 97 alunos em 1994. Com base nas categorias propostas por Ledbetter (1993)², em estudo similar, classifica as respostas dos alunos. O traço comum nas concepções de ciência tecidas pelos estudantes sinaliza significativa semelhança à vertente do empirismo. Representam as categorias mais freqüentes entre os alunos investigados: a visão de que a ciência simboliza retrato (cópia) fiel da realidade do mundo natural³ (57,7%); a imagem de que a ciência reflete apenas uma disciplina escolar, desvirtuada da vida cotidiana⁴

² LEDBETTER, C. E. Qualitative comparison of students' constructions of science. Science education, 77 (6), p. 611-624, 1993.

³ Categoria de Ledbetter: '*a ciência como algo que está no mundo, na natureza*';

⁴ Categoria de Ledbetter: '*atividade centrada na escola*';

(15%); a idéia de que a natureza, coberta por um véu, é desvelada pelo cientista que descobre então seus mais íntimos e ocultos segredos⁵ (10%).

A abordagem dos conteúdos veiculada aos livros didáticos no ensino de ciências em geral, e de física em particular, também reforça idéias equivocadas sobre a gênese e desenvolvimento da ciência, contudo continuam a se disseminar de maneira desenfreada. Basso & Peduzzi (2003) examinam como se apresenta o conteúdo do modelo atômico de Bohr em dois livros didáticos do ensino médio: Física 3 (Cabral & Lago, 2002) e Física 3 (Gaspar, 2001). Com o objetivo de esclarecer dúvidas suscitadas durante a análise e evidenciar as concepções epistemológicas dos autores, em sintonia ou não com a abordagem dada ao tema nos livros, Basso & Peduzzi encaminham questões aos respectivos autores, estabelecendo uma interação com os mesmos. Os livros didáticos sugerem que situações experimentais conduziram Bohr à formulação de seu modelo atômico: Cabral & Lago (2002) enfatizam que a radiação do corpo negro, o efeito fotoelétrico e os espectros de emissão e absorção do hidrogênio desencadearam os estudos de Bohr; Gaspar (2001), conforme Basso & Peduzzi (2003), destaca que *Bohr utilizou-se dos resultados de Balmer para desenvolver sua teoria*. Assim, concluem que os autores difundem, nos respectivos textos, a visão empírico-indutivista no tratamento dado à gênese do modelo teórico de Bohr e, de acordo com os esclarecimentos proporcionados pelos autores, evidenciam que os posicionamentos adotados foram assumidos conscientemente.

Delizoicov & Ern (2002, 2003) desenvolvem uma pesquisa visando mapear a abordagem dada ao conteúdo veiculado ao movimento do sangue no corpo humano, com expressivo destaque ao uso da analogia 'coração bomba', em livros didáticos do ensino fundamental e médio, e manuais relativos à formação de professores de biologia nas disciplinas Anatomia e Fisiologia Humana. Entrevistas com os professores dos dois níveis de ensino complementam a análise, propiciando compreender detalhadamente aspectos acerca da formação inicial e da prática pedagógica dos respectivos biólogos-educadores no que concerne o tema investigado. Delizoicov & Ern (2002, 2003) evidenciam tanto na análise realizada nos textos selecionados quanto nas entrevistas, que a gênese da analogia 'coração bomba' não é considerada, repercutindo em uma compreensão simplificada e, muitas vezes equivocada dos conteúdos referentes ao sistema sanguíneo. De acordo com Delizoicov & Ern (2002, 2003), a descontextualização histórica presente nos modelos teóricos apresentados no ensino em geral, e na biologia particularmente, *'descaracteriza a significação'* dos conhecimentos científicos estudados. Nesse sentido, destacam as contribuições da história e da filosofia da ciência nos cursos de formação de professores, em especial. A inserção do tratamento histórico-epistemológico ao conceito de movimento do sangue no corpo humano, por exemplo, representaria uma visão mais completa do assunto.

Silveira (2003) analisa o conceito de substância no ensino de Química à luz da concepção de obstáculo epistemológico e de perfil epistemológico, contemplados na filosofia histórica de Bachelard.

⁵ Categoria de Ledbetter: *'descoberta'*.

Nestes termos, examina seis coleções didáticas de 5^a a 8^a séries do ensino fundamental, sinalizadas pelo PNLD/2002. Conforme discorre, evidencia em parte significativa dos livros analisados a presença de obstáculos substancialistas e realistas, em virtude, principalmente da não consideração das distintas interpretações presentes na evolução histórica do conceito de substância. De acordo com Silveira (2003), a primazia conferida à classificação das substâncias, estudadas sem uma definição precisa e contextualizada, enfatiza o produto do conhecimento, ressaltando um conceito ahistórico e aproblemático, repercutindo em um entendimento simplificado e ingênuo do tema abordado. Pensar o perfil epistemológico do conceito de substância, conforme defende, em princípio, possibilitaria uma compreensão contextual e rica.

Com base nas pesquisas acima ilustradas, constata-se que a história e a filosofia da ciência podem propiciar contribuições significativas na perspectiva de reverter as interpretações equivocadas do trabalho científico presentes no ensino de ciências, no caminho de uma visão crítica e dinâmica da ciência.

A fim de sinalizar a pertinência da história e da filosofia da ciência no ensino de ciências, Matthews (1995, p.165) apresenta as contribuições que a abordagem contextualista (que prioriza as dimensões ética, social, histórica, filosófica e tecnológica da ciência), pode propiciar: humanizar as ciências e aproximá-las dos interesses pessoais, éticos, culturais e políticos da comunidade; tornar as aulas de ciências mais desafiadoras e reflexivas, permitindo, deste modo, o desenvolvimento do pensamento crítico; contribuir para a superação do 'mar de falta de significação' que se diz ter inundado as salas de aula de ciências, onde fórmulas e equações são recitadas sem que muitos cheguem a saber o que significam; melhorar a formação do professor auxiliando o desenvolvimento de uma epistemologia da ciência mais rica e autêntica, ou seja, de uma maior compreensão da estrutura das ciências bem como do espaço que ocupam no sistema intelectual das coisas.

Alguns trabalhos (Barros & Carvalho, 1998; Gagliardi, 1988) sinalizam a importância da história da ciência no ensino de ciências como uma ferramenta para propiciar a superação de concepções alternativa dos alunos, causa de dificuldades de aprendizagem dos conceitos científicos, apresentando-se como resistências aos esforços didáticos. Pesquisas no ensino de física (Zylbersztajn, 1983; Peduzzi, 2001) apontam semelhanças entre algumas concepções prévias dos alunos e as raízes históricas destes pensamentos. Assim, as contribuições da história e filosofia da ciência desempenham um papel relevante nos estudos das mudanças conceituais.

Outros estudos (Guerra et al., 1998) recomendam a inserção de temas de cunho histórico no ensino de ciências como meio de contextualizar o saber científico e explorar a dimensão interdisciplinar dos conceitos, facilitada também pela história aliada à filosofia. Guerra et al. (1998) destacam que a visão de inter-relação constante entre saberes, de natureza dissonante à que a escola está estruturada, ou

seja, disciplinar, fragmentada, pressupõe ideais norteadores do ensino distintos dos que permeiam o espaço escolar, pois é necessário extrapolar os moldes tradicionais nos quais repousam as práticas pedagógicas. Tendo em vista essa premissa interdisciplinar, Guerra (1998) sintetiza a relevância da dimensão histórico-filosófica no ensino de ciências para uma abordagem interdisciplinar dos conteúdos. Assim, torna-se indispensável o uso da história e da filosofia da ciência quando se pretende práticas didáticas que transcendam o ensino dos “*conteúdos pelos conteúdos*”:

“Vivemos numa sociedade tecno-científica onde a ciência ocupa um papel de destaque enquanto discurso legitimador para outras formas de conhecimento, bem como funciona como discurso de poder dos especialistas que falam em nome da ciência. Nesse sentido devemos implantar uma prática interdisciplinar a partir da compreensão dos processos de construção do conhecimento científico que, guardadas as suas especificidades, é o mesmo de qualquer outra forma de conhecimento.”

Segundo Zanetic (1989), a física é parte da cultura, ao contrário de um aglomerado de conteúdos sem sentido e com um fim em si mesmos. A excessiva matematização, a ênfase na observação e experimentação de conceitos e teorias ocultam os conflitos internos às comunidades científicas e a produção humana a ela veiculada, encerrando as noções físicas em esferas de conhecimento abstratas compreendidas como inacessíveis:

“Certamente uma física que envolva as emoções, as idas e vindas das grandes idéias geradoras presentes nos problemas cruciais, o uso do discurso racional, o papel do discurso e conceituação tidos por mágicos, as idéias fantásticas dos pensadores científicos que construíram as grandes teorias que já dominaram ou ainda dominam o cotidiano dos físicos, enfim, toda essa física é incomparavelmente mais rica que a física essencialmente formal, a-histórica, recheada de exercícios, distante, quer de uma cultura popular, quer de uma cultura científica, parte integrante da vida inteligente contemporânea.”

O diálogo entre a história e a filosofia da ciência, no ensino de ciências naturais, pode contribuir para uma análise mais crítica da natureza e construção do conhecimento científico, propiciando um contraste com a imagem do ‘senso comum’, que defende uma espécie de história factual e cronológica que pode ser sintetizada como a “*mera composição de átomos elementares e impessoais de acontecimentos em sucessão*” (Zanetic, 1989). A história da ciência possui distintas interpretações, resultado das convicções teóricas de quem a descreve. A idéia de neutralidade normalmente disseminada nos relatos de episódios

históricos em livros didáticos, e mesmo no discurso de professores no ensino de ciências, corrobora uma visão distorcida da ciência, que insiste em dividir o sujeito do objeto de conhecimento.

CAPÍTULO 2 - A DISCIPLINA EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS DA FÍSICA EM CURSOS DE LICENCIATURA EM FÍSICA⁶

2.1 – Uma sondagem sobre a disciplina Evolução dos Conceitos da Física em alguns cursos de Licenciatura em Física: possível presença no currículo e vinculação ao debate epistemológico⁷

“(...) os homens vivem dominados por temores vãos e desejos inúteis; mas felizmente, têm a possibilidade de se liberar de seu eu individual, abrindo-se a contemplação do Universo.”

Albert Einstein

Em geral, quando se cede espaço à história da ciência no ensino de ciências, sua abordagem está vinculada aos conteúdos de maneira factual, cronológica e enciclopédica, distorcendo a realidade dos elementos históricos, entendidos muitas vezes como uma construção centrada no método.

Como mencionam Barros & Carvalho (1998):

“Tal perspectiva acaba criando um obstáculo para o ensino de Ciências, moldando o comportamento do estudante a uma imagem indutivista da Ciência, baseada em observações e experimentações não sujeitas a idéias apriorísticas, com a desconsideração do papel das hipóteses e teorias, ignorando-se o papel da comunidade científica, os equívocos, as crenças metafísicas, os compromissos epistemológicos, os dilemas éticos etc.”

De fato a importância da utilização da história da ciência no ensino em geral é consensual entre muitos pesquisadores em ensino de Física (Gagliardi, 1988; Zanetic, 1989; Peduzzi, 2001). Se é pretendido (PCNEM, 1999) que o ensino de ciências não seja responsável pela construção de uma imagem equivocada do empreendimento científico, deve-se reportar à formação de professores, a fim de se entender em que medida se faz alusão a essas questões.

Alguns cursos de Licenciatura em Física reservam uma disciplina à história da física, discorrendo sobre a evolução e desenvolvimento das idéias, conceitos e teorias dessa ciência. Esta história, articulada à filosofia da ciência, pode dar suporte à reflexões acerca da evolução da pesquisa científica. Contudo, será que discussões de cunho epistemológico permeiam o desenvolvimento dessa disciplina?

⁶ Capítulo baseado nas referências (Staub & Peduzzi, 2003a e Staub & Peduzzi, 2003b)

⁷ Neste capítulo priorizou-se a investigação dos cursos de Licenciatura em Física. Contudo, a história e a filosofia da ciência são de extrema relevância para os bacharéis que devem ter conhecimento sobre a história de sua ciência.

A fim de evidenciar a possível presença nos currículos de Licenciatura em Física de uma disciplina cujo perfil se centre no estudo da história da física e de fazer uma avaliação preliminar da inserção epistemológica à análise histórica, elegeu-se uma amostra de IES (Instituições de Ensino Superior). Uma vez constatada sua presença no currículo, explorou-se a realidade da mesma frente a uma série de variáveis.

A coleta de dados seguiu as informações disponíveis na rede, especificamente nas páginas departamentais dos cursos de Física. Quando necessário buscou-se mais informações com professores das respectivas instituições, estabelecendo contato através de e-mail. O interesse focalizou-se nos seguintes aspectos: se há uma disciplina que contempla a história da física no currículo, em que período é ministrada, número de créditos, pré-requisitos, ementa, programa e bibliografia.

O critério adotado na escolha das instituições, o destaque dado a algumas e a seletividade em relação a outras na composição do corpo da amostra, configurou-se principalmente em função da presença de professores que fomentam discussões de reaproximação da história, filosofia e ensino de ciências em congressos, reuniões científicas, publicações em periódicos, ou que de alguma forma estão envolvidos nessas linhas de pesquisa.

Tendo em vista a constante dissonância entre currículos oficiais e currículos reais, os últimos estando em geral ocultos, cuja apreciação só seria possível através de discussões específicas, entrevistas ou questionários com o círculo de professores que ministram a disciplina, não foi objetivo da pesquisa reunir elementos sobre como a disciplina é abordada na prática real em sala de aula.

O quadro descrito a partir dessa sondagem preliminar aponta oscilações no que concerne às características da disciplina de interesse nas diversas instituições pesquisadas. Ora repousando seus estudos na ênfase à filosofia da ciência, ora atentando apenas para o estudo da evolução dos conceitos da física de forma essencialmente seqüencial.

A partir desses dados, pode-se estruturar três grupos quanto a abordagem da disciplina:

Grupo I – não consta na grade curricular uma disciplina cujo programa e ementa aborde a história da física;

Grupo II – há uma disciplina que contempla a história da física, mas sem articulação com a filosofia da ciência;

Grupo III– há uma disciplina que aborda a história da física, dirigindo sua ênfase a articulação histórico-epistemológica;

A tabela a seguir apresenta os resultados encontrados. Algumas lacunas referem-se à falta de informações:

TABELA – SÍNTESE DOS RESULTADOS OBTIDOS

<u>Instituições</u> <u>Federais</u>	<u>Grupo I*</u>	<u>Grupo II</u>	<u>Grupo III</u>	<u>Créditos</u>	<u>Pré-requisitos</u>	<u>Período</u>
UFAL	x					
UFBA (diurno)	x ₁					
UFBA (noturno)			x	03	Não tem	
UFF			x	04		
UFMG		x		04	x	6 ^o
UFPB	x					
UFPR	x					
UFRGS			x	04	x	7 ^o
UFRJ		x				8 ^o
UFRN			x	06	x	8 ^o
UFSC			x	04	x	8 ^o
UFSM	x					
UnB (diurno)			x	04		6 ^o
UnB (noturno)			x	04		6 ^o
UNICAMP	x ₁					
USP	x ₁					

* x₁ : disciplina optativa

No Grupo III a articulação histórico-epistemológica é bastante diversificada, mostrando abordagens diferenciadas, especialmente em consequência da escolha dos referencias filosóficos adotados.

O Curso de Licenciatura em Física noturno da Universidade Federal da Bahia, por exemplo, conduz as discussões dos desenvolvimentos históricos, na disciplina “Evolução da Física”, referenciada no pensamento de Aristóteles, Kant, Hegel, Engels e outros, a fim de distinguir as influências de certas escolas filosóficas nas físicas clássica e moderna. Nesse sentido, parece relegar a um plano secundário o domínio da epistemologia contemporânea. As referências bibliográficas apontam pelo menos um autor dessa corrente, Gaston Bachelard, com sua obra “*O novo espírito científico*” (Bachelard, 1979). Sugere

autores que retratam em suas obras um exame da ciência, como por exemplo “*A ciência e a hipótese*” (Poincaré, 1985) e “*Filosofia da ciência*” (Morgenbesser, 1979). O programa está disposto em cinco partes: a) a construção da razão como primeira forma de racionalidade; b) o conhecimento científico; c) o mecanismo científico; d) posições epistemológicas⁸; e) os problemas axiológicos da ciência. Ao contrário das demais instituições, a disciplina não demanda pré-requisitos. Já no que se refere ao curso de Licenciatura em Física diurno dessa instituição, a disciplina “Evolução da Física” é optativa, mas contempla as mesmas características da oferecida ao curso noturno.

Os cursos de Licenciatura em Física (diurno e noturno) da Universidade de Brasília destinam à grade curricular obrigatória a disciplina “Evolução dos Conceitos da Física”. A ementa explicita a evolução do pensamento físico a partir dos conceitos de movimento, calor e energia. A bibliografia apóia-se em autores como A. F. Chalmers, que em seu livro “*O que é ciência afinal?*” (Chalmers, 2000) discute as críticas da epistemologia contemporânea à historiografia e filosofia tradicional da ciência. Por outro lado, parece também investir em referências que destacam as influências sócio-econômicas na investigação científica, a julgar pela inclusão na bibliografia do livro “*Ciência na História*” (Bernal, 1968). Como característica particular dessa instituição, o currículo desses cursos (Licenciatura em Física diurno e noturno) oferece nas fases iniciais uma disciplina obrigatória intitulada “*Evolução do Pensamento Filosófico*”, a cargo do Departamento de Filosofia. É portanto ministrada anteriormente à disciplina “Evolução dos Conceitos da Física”, apresentando algumas reflexões dissociadas dos elementos da história da física. Mas justamente por precedê-la, tem potencial para catalisar embates que se orientam nessa direção. A bibliografia, além da ementa e programa indica a natureza dessas discussões. Entre elas pode-se destacar: “*Para Compreender a Ciência*” (Andery et al., 1998), “*História da Filosofia*” (Brehier, 1977), “*Historia y Filosofia de La Ciencia*” (Hull, 1973), “*A religião e o desenvolvimento da Ciência Moderna*” (Hooykaas, 1988), “*História Geral das Ciências do Livro*” (Taton, 1959), “*História Ilustrada da Ciência*” (Ronan, 1987).

O curso de Licenciatura em Física da Universidade Federal de Santa Catarina prescreve em sua ementa os objetivos da disciplina “Evolução dos Conceitos da Física” centrado na análise histórica e epistemológica dos desenvolvimentos conceituais das teorias físicas dos gregos até o presente; e tópicos sobre as relações entre a ciência e a sociedade. Elenca em seu programa três vertentes de conhecimento: a) a evolução da cosmologia e da mecânica; b) a evolução das idéias sobre luz, eletricidade e magnetismo; c) a evolução das idéias sobre calor e constituição da matéria. Na bibliografia evidencia-se a presença de duas obras de Thomas Kuhn, “*The Copernican revolution*” (Kuhn, 1971) e a “*Estrutura das Revoluções Científicas*” (Kuhn, 1975). A menção a outros filósofos que tecem imagens da natureza e construção do conhecimento científico não é explicitamente constatada. Geralt Holton, que

⁸ Esta unidade não retrata a epistemologia contemporânea da ciência (Popper, Kuhn, Lakatos, Feyerabend, Bachelard). Refere-se ao subjetivismo seletivo (Poincaré e Eddington), aos novos positivistas (M. Schlich, R. Carnap, H. Hahn), a concepção científica de mundo, a possibilidade dos juízos sintéticos *a priori* e a relatividade do tempo (A. Einstein).

caminha por uma linha de investigação mais externalista da ciência é citado através da obra “*A imaginação científica*” (Holton, 1989). Como nas outras instituições analisadas, com exceção da Universidade de Brasília, não dispõe de uma disciplina que introduza o pensamento filosófico antes da disciplina que tem como conteúdo a história da física.

A disciplina “Evolução dos Conceitos da Física” na Universidade Federal Fluminense está dividida em três partes, sendo um professor responsável por cada uma. Primeiro trata: A história do nascimento do pensamento científico ocidental; A teoria atômica grega; A história da lei da inércia: Aristóteles, Árabes, Escolásticos, Galileu, Newton, Leibnitz e Descartes; O sistema aristotélico; e A Idade Média. Quanto às bibliografias, a ênfase é dada a três: “*A Ciência Grega*” (Farrington, 1961); “*Science in History*” (Bernal, 1983); “*História Ilustrada da Ciência*” (Ronan, 1987). Depois aborda as Teorias do calor; Teoria dos gases, Eletromagnetismo e Óptica. As referências utilizadas são: “*Evolução das Idéias da Física*” (Osada, 1972); “*The Great Physics From Galileo to Einstein*” (Gamow, 1988); “*História da Física*” (Locqueneux, 1989). A parte final abrange: Propagação da luz; Origens da teoria quântica (Plank, Einstein, Compton); Mecânica Quântica e Mecânica Ondulatória; A revolução de Einstein; A gravitação newtoniana; A gravitação einsteiniana e Tópicos atuais. As principais fontes utilizadas são: “*The Conceptual Development of Quantum Mechanics*” (Jammer, 1966); “*‘Subtle is the Lord...’ The Life and Science of Albert Einstein*” (Pais, 1982).

A ementa da disciplina “História e Epistemologia da Física”, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, procura valorar as contribuições da epistemologia contemporânea: Bachelard, Popper, Kuhn, Feyerabend, Lakatos, Bunge, Toulmin e Laudan. Distingue-se das demais por se tratar de uma disciplina de cunho não apenas histórico, mas epistemológico. Embora outros cursos desse grupo pareçam dispender um espaço à essa relação, a disciplina, como o próprio título indica, tem como objetivo central um estudo orientado em tal perspectiva. No que se refere a história da física, apresenta em três partes: a) a física antes da época moderna: o aristotelismo e a física medieval; b) a física dos modernos: Copérnico, Kepler, Galileu, Descartes, Newton; c) a física do século XX. Articula às discussões possíveis implicações no ensino de ciências das questões referentes a utilização da história da ciência e sua ligação à epistemologia.

Outras obras completam a bibliografia das disciplinas acima analisadas, mas as mencionadas parecem dar uma idéia geral de como elas são **concebidas teoricamente**. Do mesmo modo, descreveu-se apenas parte das IES do Grupo III, porque elas justamente propiciam uma visão geral das diferenças no tratamento histórico-epistemológico conferido à disciplina Evolução.

Com exceção de uma instituição, a disciplina Evolução dos Conceitos da Física, ou similar, é ministrada em final de curso e com pré-requisitos, o que sugere que conteúdos históricos relativos a física moderna e contemporânea podem ser discutidos com fundamentação. O número médio de créditos conferidos à disciplina é quatro.

No Grupo I localizam-se instituições que não incluem em sua grade curricular obrigatória uma disciplina cujo programa e ementa aborde a história da física.

Na Universidade de São Paulo, por exemplo, a disciplina “Evolução dos Conceitos da Física” é optativa. A apostila disponível na rede, organizada pelo professor responsável pela disciplina, privilegia uma abordagem “*factual e técnica*” da história, deixando de lado reflexões sobre as escolas filosóficas contemporâneas da ciência. Inicialmente trata a evolução da Mecânica, incluindo as observações astronômicas e a matemática das civilizações da Antiguidade, perpassando as contribuições de Copérnico, Kepler e Newton. Antes de chegar à ciência do Renascimento, aborda a Idade Média, enfatizando as culturas grega e helenística do Império Islâmico. Por último, discorre sobre o nascimento da física ondulatória. A bibliografia apresentada é extensa e pertinente aos conteúdos abordados.

Na Universidade Estadual de Campinas, existem duas disciplinas optativas que contemplam a evolução das idéias da física, devendo ser cursadas em conjunto: “Tópicos de História da Física IV” e “Tópicos de História da Física V”. O programa divide-se em oito partes: a) um exemplo de pesquisa em história da ciência: descoberta da radioatividade; b) a passagem do mito à filosofia e à ciência; c) conceitos de ciência: do conhecimento grego ao método experimental; d) a natureza da matéria; e) evolução da astronomia; f) evolução da mecânica; g) o vácuo e a pressão atmosférica; h) desenvolvimento da óptica. A articulação histórico-epistemológica, a julgar pelo que consta no programa e ementa, não é feita. Entretanto, não se teve acesso a bibliografia, que talvez incluía referências nesse sentido.

Apesar de em alguns desses programas, aparentemente ideais, constarem uma filosofia bem estruturada, espelhando justamente uma visão ampla de ciência, que em princípio os professores deveriam adotar, sabe-se que a prática muitas vezes é diversa, em desacordo com o que propõe os documentos.

Defende-se nesta pesquisa a importância de encaminhar um tratamento histórico da ciência à luz das contribuições da epistemologia contemporânea na formação inicial de professores, em particular. Pode-se portanto delinear um perfil específico para tratar a evolução das idéias, conceitos e teorias da física, com estratégias focalizadas no aluno, para facilitar a relação proximal da história à epistemologia. A disciplina Evolução dos Conceitos da Física é adequada para este fim. A seção que segue ilustra alguns exemplos que contribuem nesse sentido.

2.2 – Diálogo entre história e filosofia da ciência em uma disciplina de Evolução dos Conceitos da Física: possíveis contribuições para um debate epistemológico

“A ciência considerada como um conjunto pronto e acabado de conhecimentos, é a mais impessoal das produções humanas; mas, considerada como um projeto que se realiza progressivamente, ela é tão subjetiva e psicologicamente condicionada como qualquer empreendimento humano.”

Albert Einstein

Nesta seção, ilustra-se algumas possibilidades de um possível diálogo entre a história e a filosofia da ciência em uma disciplina de Evolução dos Conceitos da Física: explicações ad-hoc para a manutenção de uma teoria em desacordo com resultados experimentais; a possível influência de idéias sociopolíticas na estruturação da teoria einsteiniana; diferentes posicionamentos sobre a influência de elementos não ortodoxos na obra de Newton; algumas interpretações sobre os trabalhos de Galileu; a contra-indução, nos termos de Feyerabend; a questão da acidentalidade na descoberta dos raios-X e na experiência de Oersted; o problema da suplantação do sistema ptolomaico pelo copernicano; as influências metafísicas no mecanicismo cartesiano e na teoria copernicana; discute-se também brevemente a questão da racionalidade na ciência; diferentes posicionamentos sobre o que levou Einstein a elaboração da teoria da relatividade; e a questão do indeterminismo no princípio da incerteza.

Explicações ad-hoc, como a que G.F. FitzGerald dá para o resultado negativo da experiência de Michelson-Morley, podem mostrar as limitações deste tipo de expediente no debate científico. Para FitzGerald, os feixes luminosos que se deslocam na direção do movimento da Terra e perpendicularmente a ela, no interferômetro de Michelson, percorrem distâncias diferentes. Isto ocorre devido a contração do braço do interferômetro na direção do movimento da Terra. É supostamente essa contração, e sua magnitude, que explicam a ausência das esperadas franjas de interferência no dispositivo experimental.

Os defensores da teoria do calórico também se valem do expediente de explicações ad-hoc para questionar os resultados de experimentos que sugerem a refutação do calor como um fluido material. Para os teóricos do calórico, as altas temperaturas geradas no processo de perfuração de canos de canhões, como os realizados no arsenal militar de Munique, em 1798, resultava do calórico liberado pelas lascas de metal que se desprendiam do canhão pela ação da furadeira, as quais, supostamente, possuíam menor calor específico, e portanto menor capacidade de reter o seu calórico, do que o metal não fragmentado. A rejeição dessa hipótese, por Benjamin Thompson, através da experiência, transfere do calor específico para o calor latente a defesa do calórico. Uma nova objeção a essa hipótese suscita outra, denotando a fragilidade da argumentação frente a resultados ‘inesperados’.

As possíveis fontes de inspiração de um cientista como A. Einstein na elaboração da teoria da relatividade, por exemplo, permitem o estabelecimento de um forte contraste com a imagem de um cientista isolado, neutro, objetivo, dependendo essencialmente dos fatos para a estruturação de teorias.

Assim, como contraponto à visão empirista que associa a gênese das idéias de Einstein ao resultado negativo da experiência de Michelson-Morley, poder-se-ia explorar a hipótese do sociólogo Lewis Samuel Feuer sobre a possível influência de certas idéias sociopolíticas na estruturação da teoria einsteiniana, em função de seu círculo de amizades com colegas socialistas:

“Imaginem o jovem gênio Einstein no ambiente de um grupo de estudantes radicais de Zurique, na qual as idéias revolucionárias de Marx misturavam-se com as de Mach. Einstein impregnou-se da idéia de que as leis sociais eram relativas a sistemas sociais transitórios; as leis da sociedade contemporânea eram, na verdade, expressões das relações burguesas, e não absolutos imutáveis. À noite, podemos supor que ele e Fritz Adler discutissem se os observadores burgueses e os socialistas poderiam descrever um mundo social comum, ou se os eventos sociais descritos variam de acordo com o ponto de vista social do observador, pois também essa era uma questão que os filósofos austro-marxistas debatiam sem cessar. Como se expressariam essa emoção e essa visão revolucionárias marxistas, ainda que sob forma sublimada e transfigurada, na mente de um jovem “gênio revolucionário” da física? As emoções que davam origem à relatividade sociológica poderiam então procurar expressar-se em uma relatividade física; transpostas para o mundo físico e projetadas em seu estudo, gerariam uma derrubada do espaço e do tempo absolutos, assim como uma concepção da relatividade entre as medidas de extensão e tempo e o estado de movimento do observador.” (Jammer, 2000)

Pierre Thuillier (1994) assinala que a imagem de um Newton estritamente “racional” não é consensual, nutrindo debates calorosos entre os historiadores da ciência, principalmente após a aquisição de inúmeros manuscritos alquímicos de Newton, por John Maynard Keynes em 1936, além de sua intensa investigação teológica. Ora visto como cientista racional, ora como o último dos magos, o fato é que dedicou parte de sua vida à busca da verdade sobre os fenômenos naturais, olhando para a “natureza como um enigma cuja solução o homem devia encontrar decifrando as “chaves místicas” generosamente fornecidas por Deus a alguns filósofos esotéricos...” (Thuillier, 1994).

Se por um lado a influência da alquimia e da teologia sobre a obra de Newton é depreciada por alguns historiadores, por outro há os que ressaltam seu largo alcance, apontando suas especulações heréticas como orientadoras de suas concepções físicas e filosóficas do universo. Thuillier (1994) destaca essas duas posições antagônicas:

a) O exame do caso Newton realizado por Marie Boas e A. Rupert Hall indica que *“seja qual for o sentido exato que se dá a esta palavra [alquimia], ele não era um alquimista; nada indica que tenha experimentado com vistas a realizar os passos preliminares para a Grande Obra.”*

b) Richard Westfall e Piyo Rattansi consideram que *“Newton não poderia, sem dúvida, ser identificado pura e simplesmente como alquimista, mas tomara emprestado aos Adeptos algumas de suas idéias e crenças relativas à Natureza”, sendo “impossível acreditar, (...) que tenha praticado a alquimia apenas de modo marginal e acidental. Mais ainda, seus trabalhos e especulações ‘herméticas’ contribuíram provavelmente para enriquecer sua filosofia e mesmo sua ‘ciência’”.*

A própria *“frieza dos Principia”*, incontestável nas primeiras décadas do século XX, assume caráter aparente para alguns estudiosos que indicam algumas questões obscuras vinculadas à obra científica de Newton, por exemplo:

- Os *“princípios ativos”* da tradição alquímica conferidos à atração universal;
- A noção de espaço concebida pela idéia do *“sensorium Dei”*, evidenciando a forte ligação de seu pensamento à teologia;
- Sua contemplação à sabedoria antiga, colocando-a como precursora de seu pensamento.

As *“relações entre o pensamento hermético e pensamento científico”* no caso Newton estão longe de um consenso entre os historiadores, mostrando a riqueza da história aliada aos debates que perpassam esse cenário, pressupondo a defesa de uma postura filosófica.

Por outro lado, uma outra vertente de análise histórica da ciência insere Newton no cenário social e econômico da Inglaterra, afirmando ter surgido dessas conjunturas sua investigação na mecânica, como produto de necessidades técnicas da época.

Esta tese defendida por Hessen (1992), considerada por alguns historiadores excessivamente radical, coloca Newton como resultado do momento histórico por ele vivido: a transição do feudalismo ao capital mercantil e a manufatura. A análise desse cenário é feita à luz das idéias de Marx concernentes ao processo e atividade histórica. Em virtude da degradação de um sistema social e econômico para ascensão de outro, as relações comerciais, de troca, hierarquia empregado-empregador se modificam. Aliada a essas transformações, outras esferas do espaço social se desenvolvem. Hessen destaca três: vias de comunicação, indústria, guerra e indústria militar, engendrando necessidades técnicas indispensáveis ao novo sistema social e econômico que se estrutura, carente de compreensões e conhecimentos físicos para resolução desses problemas.

Para Hessen, *“os resultados brilhantes das ciências naturais nos séculos XVI e XVII foram determinados pela desintegração da economia feudal, pelo desenvolvimento do capital mercantil, das relações marítimas internacionais e da indústria pesada (mineração).”*

Confabular acerca dos pressupostos epistemológicos e/ou sócio-econômicos que nortearam os estudos de Newton – influenciando, para alguns historiadores, a elaboração de sua obra “*Principia Mathematica Philosophiae Naturalis*” (1687) – alavanca inúmeras pesquisas, que na década de 50 acabaram por “reconstruir um novo Newton”. Logo, “uma apreciação justa do caso Newton exige sem dúvida que revisemos a idéia que fazemos de ciência. Esta, com efeito, é uma atividade muito mais rica e muito mais ambígua do que poderíamos crer a partir do que nos é contado” (Thuillier, 1994).

Galileu Galilei também é um personagem polêmico na história da física, uma vez que se denotam inúmeras interpretações a sua forma de investigação. Em seu artigo “Galileu: um cientista e várias versões”, Zylbersztajn (1998) explora quatro dessas imagens: “o empirista”, “o herdeiro da física medieval”, “o platonista” e “o manipulador de idéias”. Pierre Thuillier (1994) também acrescenta a esse assunto um conjunto de dados que potencializam as controvérsias entre diferentes teses filosóficas.

A perspectiva empirista associada a Galileu tem sua raiz na tradição empírico-indutivista, “A imagem empirista de Galileu é reforçada nos textos didáticos estabelecendo-se uma contraposição entre Aristóteles, retratado como um filósofo especulativo pouco preocupado em observar a realidade, e Galileu, apresentado como o protótipo do cientista que fundamenta suas teorias em dados empíricos” (Zylbersztajn, 1988).

Stillman Drake (Drake, 1981) explora a idéia de um Galileu empirista, descartando outras imagens que colocam em segundo plano as medidas nas formulações galileanas:

“(...) a fonte das descobertas de Galileu sobre o movimento foi a medida cuidadosa. Tirou as indicações da astronomia, não de medidas abstratas e de físicos medievais, ou de princípios do aristotelismo de Pádua, ou dos debates renascentistas sobre a origem e a natureza da certeza matemática, nem dentro da física, mas na relação entre as duas. Os seus problemas no estudo do movimento, de 1602 a 1608, eram semânticos e matemáticos; as filosofias anteriores não lançavam qualquer luz nas suas soluções.”

Em contrapartida, simbolizar Galileu como o herdeiro da física medieval fragiliza a noção de uma ciência que evolui por descontinuidades, por estar alicerçada na idéia de precursor, obscurecendo a natureza da construção do conhecimento científico. Ao se conceber a ciência como uma justaposição de conhecimentos, afasta-se do cenário em que as idéias nascem e se desenvolvem. Como afirma Zylbersztajn “constitui decerto um exagero afirmar-se, como o fez Dubem, que as idéias que Galileu formulou com relação ao princípio da inércia tenham sido antecipadas pelos teóricos parisienses do “*impetus*”.”

Galileu também é visto sob uma perspectiva platonista, por colocar a física matemática em um lugar privilegiado em seus estudos. Alexandre Koyré (Koyré, 1986) enfatiza o pouco valor da experiência frente às convicções teóricas no trabalho científico de Galileu.

Outro retrato controverso de Galileu é tecido por Paul Feyerabend. Neste caso, segundo Zylbersztajn, Galileu apareceria como *o manipulador de idéias*. Este quadro pode ser descrito pelo conjunto de estratégias de convencimento para além da razão usados por Galileu, já que de fato os sentidos desmentiam suas “convicções”. Propaganda, truques de defesa, artifícios discursivos, como sua obra *"Diálogo entre os dois Grandes Sistemas do Mundo"*, são alguns dos exemplos que constituem esses argumentos. Para Feyerabend, Galileu usou todas as armas para defender suas observações através do telescópio, mesmo não havendo uma teoria óptica sustentando suas observações. Atitudes como essa, são sempre irracionais, pois somente critérios lógico-rationais geralmente não convencem, ávidos de argumentos de natureza persuasiva, conforme sua tese do *"tudo vale"* no jogo do convencimento.

Conforme escreve enfaticamente em sua obra *"Contra o método"* (Feyerabend, 1977):

"E minha tese é a de que o anarquismo favoreceu a concretização do progresso em qualquer dos sentidos que a ele se decida emprestar. Mesmo uma ciência que se pautar pelo bem ordenado só alcançará resultado se admitir, ocasionalmente, procedimentos anárquicos."

Embora Galileu descreva suas experiências assumindo-as como de caráter real, alguns historiadores preferem situá-las no domínio da imaginação, argüindo de forma contundente sobre as limitações dos instrumentos da época, rudimentares, questionando a acuidade da coleta de dados (Thuillier,1994).

As implicações dessas questões para o ensino são múltiplas, pois a complexidade envolta às discussões sobre as diversas imagens concebidas de Galileu e Newton mostram que há consenso sobre suas contribuições científicas, mas não sobre suas concepções epistemológicas. Como sublinha Zylbersztajn (1988):

"Se ao filósofo e historiador, é difícil a adoção de uma postura eclética, o educador científico pode, e deve, valer-se do pluralismo de versões, mostrando como cada uma delas revela diferentes facetas do conhecimento científico. Este posicionamento é particularmente necessário no que diz respeito à formação de professores de física, tanto para o curso secundário como para universidade."

A contra-indução, nos termos de Paul Feyerabend, acentua as rupturas com o pensamento vigente, mostrando ao aluno que a ciência está longe de se constituir em um empreendimento fundado em regras rígidas, imutáveis: *"dada uma regra qualquer, por 'fundamental' e 'necessária' que se afigure para a ciência, sempre haverá circunstâncias em que se torna conveniente não apenas ignorá-la como adotar a regra oposta."* (Feyerabend,1977) Assim, por exemplo:

a) Ao perceber que a chave para a compreensão da queda livre estava em não abordá-la do ponto de vista da dinâmica, Galileu opõe-se à praxe secular dos filósofos de iniciar qualquer discussão sobre o movimento dos corpos indagando sobre suas causas.

“Não me parece ser este o momento oportuno para empreender a investigação da causa da aceleração do movimento natural, a respeito da qual vários filósofos apresentaram diferentes opiniões... Estas fantasias, e muitas outras, conviriam ser examinadas e resolvidas com pouco proveito. Por ora é suficiente ... estudar e demonstrar algumas propriedades de um movimento acelerado (qualquer que seja a sua aceleração) de tal modo que a intensidade da sua velocidade aumenta, após ter saído do repouso, com aquela simplíssima proporção com a qual cresce a continuação do tempo, que é o mesmo que dizer que em tempos iguais se fazem acréscimos iguais de velocidade” (Galileu,1935).

b) Para Kepler *“se o Sol se acha no centro do mundo, é preciso que os movimentos dos planetas não sejam ordenados em relação a ele de uma maneira geométrica ou ótica, como em Copérnico, mas também de uma maneira física e dinâmica” (Koyré,1982).* Ao buscar a causa do movimento planetário, examinando que tipo de força proveniente do Sol vincula os planetas à órbitas elípticas, ele subverte a praxe usual do astrônomo, rompendo com o divórcio entre a física e astronomia.

c) O princípio da constância da velocidade da luz, na relatividade einsteiniana, contraria a adição galileana de velocidades (e, amplamente, o senso comum).

d) O átomo de Bohr é desenvolvido em um ‘oceano de anomalias’, como enfatiza Imre Lakatos (Lakatos,1989). O postulado da não emissão de radiação por uma carga em movimento acelerado, nos estados estacionários, é claramente incompatível com o eletromagnetismo clássico.

e) A hipótese de Louis de Broglie é revolucionária, desarrazoada, em princípio, pois até então nunca se havia atribuído ao elétron, em particular, propriedades ondulatórias semelhantes às exibidas pela luz nos fenômenos de interferência e difração.

A questão da acidentalidade em uma descoberta científica pode estimular discussões que ressaltem a importância das concepções teóricas e dos interesses de pesquisa de um cientista frente a um fato inesperado. No caso da descoberta dos raios X, vários cientistas, antes de Roentgen, já haviam constatado a presença de fluorescência em materiais nas imediações de um tubo de raios catódicos, sem lhe dar importância, como J.J. Thomson, por exemplo: *“Detectei fluorescência em peças de tubo de vidro alemão colocadas a vários pés do tubo de descarga, ainda que neste caso a luz tivesse que passar através das paredes do tubo de vidro vazio e através de uma espessura considerável de ar, antes de incidir sobre o corpo fosforescente...” (Anderson,1968, p.70).* Para Roentgen, ao contrário, o fenômeno demandava investigação. A partir de uma série de experimentos, delineou, com sucesso, as principais propriedades dos ‘novos raios’.

As divergências de idéias, pensamentos e práticas, tão presentes na atividade científica mostram a dinamicidade a que a ciência está sujeita. Repensar imagens tão firmemente arraigadas no pensamento e ensino contemporâneo, em princípio parece desconstruir crenças de uma ciência idealizada, por conseguinte quimérica.

Os estudos de Oersted foram fundamentais à estruturação do Eletromagnetismo. A partir de um conjunto de experiências, evidenciou efeitos magnéticos associados à passagem de uma corrente elétrica em um fio condutor. Conforme Oersted (1986):

“Essas experiências pareceram mostrar que a agulha magnética movia-se de sua posição por influência do aparelho galvânico; e isso com o circuito galvânico fechado, não com ele aberto – o que fora tentado em vão alguns anos atrás por célebres físicos. Mas essas experiências foram realizadas com um aparelho pouco eficaz, e não eram suficientemente conclusivas.”

Mais tarde, ao realizar a experiência com aparelhos galvânicos de maior potência, concluiu que:

“Se o fio de conexão é colocado em um plano horizontal sob a agulha magnética, todos os efeitos são como no plano acima da agulha, mas em direção inversa. Pois o pólo da agulha magnética sob o qual está a parte do fio de conexão que está próximo ao terminal negativo do aparelho galvânico, desvia-se para leste. Para tornar fácil a memorização disso, pode-se usar a fórmula: o pólo sobre o qual entra a eletricidade negativa gira para oeste, ou para leste se entra abaixo.”
(Oersted, 1986)

Os resultados dessas experiências são muitas vezes tratados como fruto da acidentalidade. Bassalo (Bassalo, 1987), por exemplo, atribuiu o caráter casual às contribuições de Oersted. Para exemplificar a superação do *horizonte de expectativas* do cientista quando se tratando do processo de desenvolvimento de uma teoria, enquadra a experiência de Oersted no patamar das observações involuntárias, frutos acidentais que transcendem as hipóteses teóricas anteriormente desenvolvidas.

Ao defender que uma descoberta científica é tacitamente pressuposta de um universo de expectativas, Bassalo sustenta que se o campo das premissas teóricas previamente elaboradas e organizadas for extrapolado, a observação é involuntária, no entanto, quando restrito às fronteiras pré-estabelecidas, a observação é voluntária.

Segundo Martins:

“A análise cuidadosa desse episódio histórico mostra, no entanto, ser necessário muito mais que sorte para a descoberta do eletromagnetismo, e que mesmo o estudo qualitativo do fenômeno,

desenvolvido por Oersted, foi dificultado por uma série de idéias pré-concebidas existentes: as próprias propriedades de simetria do fenômeno eram extremamente revolucionárias, no contexto da época,...” Pois “na época era natural estabelecer-se uma analogia entre pólos norte e sul de um ímã e cargas elétricas positivas e negativas...” (Martins, 1987)

Essas conjecturas sobre o trabalho de Oersted se devem porque *“além dos motivos científicos da época, Oersted tinha motivos filosóficos para acreditar na unidade das forças naturais. Essa concepção metafísica levou Oersted à idéia de uma unidade íntima entre eletricidade, calor, magnetismo e luz, muito antes de qualquer descoberta experimental nova...” (Martins, 1987)*

Conclui-se então que não parece correto considerar este momento histórico como uma casualidade, pois Oersted estava inserido em discussões sobre a possível ligação entre Eletricidade e Magnetismo, subsidiadas por um princípio filosófico. *“Durante as férias de verão, com a ajuda de alguns amigos, Oersted fez um grande número de variações da experiência, utilizando baterias voltaicas mais potentes. Em julho de 1820 sentiu-se suficientemente seguro para divulgar sua descoberta” (Martins, 1987).* Portanto, a descoberta não ultrapassou o universo de expectativas, como ressalta Bassalo, ao contrário, a experiência só veio corroborar uma construção de idéias previamente elaboradas.

Discussões como essa em uma disciplina de evolução dos conceitos da física, envolvendo pontos polêmicos que usualmente passam despercebidos quando estudados, estimulam o futuro professor e o futuro pesquisador a questionar-se sobre a pertinência das informações recebidas, e a lidar com diferentes interpretações de um fenômeno.

A análise de distintos posicionamentos em relação ao que pode ou não ser considerado uma teoria científica, mostra a esterilidade de discussões não fundamentadas filosoficamente.

Assim, segundo A. Koyré (1982), *“a física de Aristóteles não é um amontoado de incoerências mas, pelo contrário, é uma teoria científica, altamente elaborada e perfeitamente coerente, que não só possui uma base filosófica muito profunda como está de acordo muito mais do que a de Galileu com o senso comum e a experiência cotidiana.”*

Para Pierre Lucie (1978), *“a física aristotélica não é ciência. Embora partindo de uma doutrina que pode ou não parecer razoável (este não é o ponto), ela é incapaz de deduzir objetivamente, rigorosamente, conseqüências verificáveis pela experiência. É ainda menos capaz de prever fenômenos ainda não observados, sendo, conseqüentemente, estéril”.*

Talvez, o conceito de história recorrente de Bachelard (1999; 1975) possa ser aplicado a essa situação, destacando, ao mesmo tempo, a importância de se considerar um conhecimento antigo dentro do quadro teórico vigente à época, sem perder a crítica ao mesmo, com base na ciência contemporânea, que demanda a sua superação.

A história e a filosofia da ciência evidenciam que a imagem de uma ciência encerrada em uma racionalidade estrita, alheia a filosofia, emoções, poesia, religião, quimeras, é produto de uma fábula mal contada.

O princípio metafísico da conservação da quantidade de movimento, enunciado por René Descartes no século XVII à luz do mecanicismo e da sua crença de que a fonte do conhecimento está na razão, de que a manifestação da verdade é reconhecível ao espírito puro e atento, antecipa a formulação newtoniana do princípio da inércia. Ele é gerador de uma série de estudos de colisões, com Wallis (colisões perfeitamente inelásticas), Huyghens (colisões elásticas) e Newton (segunda e terceira leis), que representam segmentos importantes da trajetória que leva ao estabelecimento das bases conceituais de uma nova mecânica.

Da mesma forma, parece indubitável a inspiração metafísica em Copérnico, quando na abertura do *“De revolutionibus”* ele comenta o porquê de situar o Sol em uma posição central no universo.

“... No centro de tudo repousa o Sol. Quem, com efeito, neste templo esplêndido colocaria esta luminária em um lugar diferente, ou melhor, do que aquele de onde ele pode iluminar tudo ao mesmo tempo? Ora, na verdade, não foi imprópriamente que alguns lhe chamaram a pupila do mundo, outros Espírito [do mundo], outros enfim o seu Reitor. Trismegisto chama-lhe Deus visível, a Electra de Sófocles o onisciente. É assim, com efeito, que o Sol, como que repousando sobre o trono real, governa a família dos astros que o cerca.” (Koyré, 1979)

A presença de Hermes Trismegisto, na sentença de Copérnico, parece realçar o aspecto místico de suas palavras, já que se trata de (mais) uma figura misteriosa na história do conhecimento. ‘A tábua de esmeralda’, uma de suas obras, exerceu considerável influência sobre a alquimia árabe, particularmente em relação aos trabalhos de Djibir ibn-Hayyan (760-815 d.C.) e Al-Razi (865-925).

A insuficiência de muitas correntes filosóficas para explicar por que o programa de investigação de Copérnico suplantou ao de Ptolomeu é abordada por Lakatos (Lakatos, 1998) que mostra que:

- tanto a teoria de Ptolomeu quanto a de Copérnico eram inconsistentes com resultados observacionais conhecidos, ressaltando a insustentabilidade da tese indutivista.
- a supremacia da teoria copernicana sobre a ptolomaica não pode ser estabelecida em termos de probabilidade, o que refuta tentativas de um indutivismo probabilista.
- a filosofia falseacionista da ciência não pode provar a superioridade da teoria de Copérnico sobre a de Ptolomeu, pois a) muito antes de Copérnico era notório que o sistema de Ptolomeu estava repleto de anomalias; b) as tabelas prutênicas de Reinhold não faziam previsões superiores as tabelas Alfonsinas; c) o ‘experimento crucial’ foi a descoberta da paralaxe estelar por Bessel, que só ocorreu em 1838.

- a teoria copernicana não é nem mais simples e nem mais precisa do que a sua rival.
- não havia um estado de crise, e muito menos ‘um escândalo na astronomia’, antes da proclamação de Copérnico. Como uma crise precede, necessariamente, uma revolução, a tese kuhniana parece insustentável.

De qualquer forma, Kuhn enfatiza a ausência de um critério explícito para julgar os dois sistemas, pretendendo que a escolha seja uma ‘questão de gosto’, ‘difícil de definir e debater’, mas nunca negligenciável. Assim, a elite científica, dotada de um *“ouvido equipado para discernir a harmonia geométrica, podia detectar uma nova nitidez e coerência na astronomia heliocêntrica de Copérnico, e se essa nitidez e coerência não tivessem sido reconhecidas, poderia não ter ocorrido qualquer revolução”*. (Kuhn, 1987)

- para Feyerabend, a escolha da teoria copernicana sobre a ptolomaica não é racionalmente explicável (antes de 1838), pois a) estão envolvidos distintos sistemas de crenças; b) não há qualquer novo suporte factual; c) ambas fornecem previsões de confiança; d) suposições metodológicas não podem atestar a correção de uma teoria. Sendo assim, ‘a aceitação da teoria copernicana torna-se uma questão de crença metafísica’.

Conforme Lakatos, é importante não se deixar ‘esmagar’ pelo ‘relativismo cultural genérico’ de Feyerabend ou pelo ‘elitismo genérico’ de Kuhn. Um bom contra-exemplo é a adoção da velha teoria ondulatória da luz por Fresnel, em 1830, certamente uma ‘questão de gosto’, já que a superioridade da teoria corpuscular da luz de Newton podia ser julgada com base em critérios objetivos explícitos.

- a revolução copernicana é racional à luz da metodologia dos programas de investigação científica.

A questão da racionalidade x irracionalidade dentro da ciência, trazida à sala de aula em função da análise individual das concepções de diferentes cientistas sobre o seu trabalho e a mudança paradigmática, favorece o debate que apura o espírito crítico e fortalece a convicção de idéias.

Como ainda destaca Lakatos (Lakatos, 1998), referindo-se a Feyerabend, aludindo aos cientistas que contrariam ‘as regras vigentes’, *“se fosse irracional trabalhar com base em uma teoria cuja superioridade não estivesse ainda estabelecida, então quase toda a história da ciência seria de fato racionalmente inexplicável”*.

Um critério como padrão para avaliar a hegemonia de uma teoria é paliativo e subjetivo, pois defini-lo implica na dependência de variáveis para além de uma postura estritamente racional e universal a ser compartilhada por elementos de uma comunidade, pois valores cognitivos são de natureza

idiossincrática e de caráter amplo. A controvérsia é estabelecida entre domínios conceituais díspares, e a escolha sobre qual deve se tornar ou não o paradigma vigente está longe de ser criteriosa e conclusiva.

Mais um exemplo que contesta a característica firme de um debate uníssono na ciência, envolve interpretações divergentes da gênese da Teoria da Relatividade.

No que tange a arguição ímpar de Popper e Kuhn sobre as premissas que levaram Einstein à elaboração de sua teoria, permeia um confronto entre a imagem da ciência avançando cumulativamente e a defesa de uma ciência revolucionária, respectivamente. Nesta perspectiva, os estudiosos se deparam com uma pergunta, defendida por correntes epistemológicas antagônicas: A Mecânica Relativística é uma generalização da Mecânica Newtoniana?

Expressando o caráter de continuidade na pesquisa científica, a epistemologia popperiana, sustenta que se na competição entre duas teorias a 'nova' for a vencedora, esta incorpora a anterior como um caso particular (Popper, 1987). Em função disso a Mecânica Newtoniana é vista como um caso particular da Teoria da Relatividade.

Em contrapartida, Kuhn concebe a história da ciência como sendo constituída por períodos de ciência normal, interrompidos por revoluções científicas, efetivadas em meio a anomalias e crises insuperáveis que se instalam no paradigma vigente. Na perspectiva kuhniana, há uma ruptura no modo de olhar o universo físico entre a Mecânica Newtoniana e a Mecânica Relativística. Conforme ressalta Kuhn (Kuhn, 1987) *“precisamente por não envolver a introdução de objetos ou conceitos adicionais, a transição da mecânica newtoniana para a einsteiniana ilustra com particular clareza a revolução científica como sendo um deslocamento de rede conceitual através da qual os cientistas vêem o mundo.”*

Por outro lado, a discussão persiste a partir de outro referencial: As teorias de Poincaré e Lorentz foram uma inspiração para Einstein ou não exerceram nenhuma influência sobre o seu trabalho? Whittaker assume indiscutivelmente que *“Einstein (no trabalho de 1905) adotou o princípio da Relatividade de Poincaré... como nova base para a física, e mostrou que o grupo das transformações de Lorentz fornece uma nova análise para a física dos corpos em movimento relativo.”* Fica evidente que se denota o papel de precursor à Lorentz em lugar de predecessor, corroborando a tese da justaposição de conhecimentos. Analogamente Pauli estrutura seu posicionamento afirmando que *“Einstein e Poincaré basearam-se nos trabalhos de Lorentz que...tinha se aproximado do resultado sem atingí-lo completamente.”* (Villani, 1981)

Holton e Battimelli movem seu vetor epistemológico em sentido contrário, enfatizando (Villani,1981):

- a inexistência de qualquer aliança entre os estudos de Lorentz e Poincaré com os trabalhos de Einstein, pois os estudos de Lorentz tratam da teoria do éter e do elétron e os de Poincaré do éter;

- os trabalhos de Lorentz não eram conhecidos por Einstein, tendo os dois partido de pressupostos distintos.

Sob o ponto de vista do valor, ou papel da experiência de Michelson-Morley na elaboração da Teoria da Relatividade, a historiografia tradicional prevalece na posição de alguns autores ao alegarem que o experimento determinou as idéias de Einstein. Volta-se a julgar os conhecimentos com base na concepção empírica-indutivista. Para J. Petzoldt: *"O experimento de Michelson é a causa e o principal suporte... da teoria eletrodinâmica da relatividade. (...) A teoria de Lorentz é, no seu núcleo conceitual, pura metafísica... A teoria de Einstein é inteiramente fundada no resultado do experimento de Michelson e pode ser derivada dele."* (Villani, 1981)

Por outro lado, ao negar a existência do éter, a experiência de Michelson-Morley gerou muita polêmica, que desencadeou uma sucessão de experimentos em uma tentativa de invalidá-la. Fica clara a resistência à mudança de rede conceitual de uma comunidade científica.

A contraposição dessas posições epistemológicas tão diferenciadas em uma disciplina de evolução dos conceitos da física, certamente amplia o universo de conhecimentos do futuro professor, abrindo espaço à uma formação mais crítica.

Ao apresentar o Princípio da Incerteza, Heisenberg abalou uma característica fundamental nas leis da Mecânica Clássica e na Mecânica Relativística, a natureza determinística das teorias: *"O que as relações de incerteza de Heisenberg nos dizem é que vemos as coisas de modo errado. Cremos de antemão que devemos ser capazes de medir a posição e o momentum de uma partícula ao mesmo tempo, mas descobrimos que não podemos... Niels Bohr usou a palavra complementaridade para expressar o fato de que é possível haver conceitos que não podem ser precisamente definidos ao mesmo tempo: pares de conceitos tais como justiça e legalidade, emoção e racionalidade."* (Gilmore, 1998)

Einstein acreditava ser incompleta a Teoria Quântica, expressando sua posição através da famosa frase *"Deus não joga dados"*. Segundo Pierre Thuillier *"Einstein afirmava sua fé numa rigorosa determinação dos fenômenos naturais... A grande falha da teoria dos quanta, a seus olhos, era não dar uma descrição completa da realidade; suas probabilidades não podiam ser a última palavra do saber."* Sua crença muitas vezes conhecida como "religião cósmica" em nenhum momento foi deixada de lado pois ele *"achava um absurdo que um corpúsculo pudesse deixar de ter um comportamento totalmente previsível."* (Thuillier, 1994)

Os exemplos se multiplicam, mas em meio às divergências fica uma certeza, a de que não existe singularidade nas interpretações do que é a ciência. A análise filosófica de um espectro evolutivo está imersa em discussões onde as verdades absolutas são substituídas por imagens de uma realidade subjetiva.

A natureza e a construção do conhecimento científico suscitam inúmeras discussões no campo da filosofia da ciência, como se procurou evidenciar através dos exemplos explorados nesta seção. A

epistemologia contemporânea estabelece críticas à imagem tradicional da ciência, apontando a sua incompatibilidade com o empreendimento científico.

Uma perspectiva crítico-reflexiva deve necessariamente acompanhar o estudo da evolução do pensamento científico em uma disciplina que trata a história da física. E isto não pode ser feito mencionando apenas os resultados da ciência, em uma ordem meramente cronológica.

CAPÍTULO 3 – A FILOSOFIA HISTÓRICA DE GASTON BACHELARD

3.1 - Aspectos gerais da epistemologia bachelardiana

Gaston Bachelard (1884-1962) foi um dos primeiros filósofos contemporâneo a tecer críticas acerca da imagem tradicional da ciência, a visão empírico-indutivista. Seus livros transcendem o domínio da epistemologia, desenvolvendo algumas obras também no campo da poética, por isso atribui-se a seus trabalhos duas faces: a diurna e a noturna, respectivamente. Somam-se às preocupações com a formação do espírito científico e aos devaneios poéticos relacionados a aspectos contemplativos e oníricos da natureza, a educação, que em seus escritos também é valorizada, embora não destine nenhuma obra específica as questões da dimensão escolar.

Inicialmente trabalhou na administração dos Correios e Telégrafos (pesagem de cartas) após tornar-se bacharel. Sua formação é ampla. Em 1912 licenciou-se em matemática, mais tarde ingressou no magistério secundário, trabalhando então como professor de ciências e filosofia. Em 1927 passou a trabalhar como professor de história e filosofia da ciência na Universidade de Dijon e depois na Universidade de Sorbonne.

No âmbito da filosofia, as discussões quanto a um reducionismo, a um caráter unitário proferido a ciência, que deva ser adotado por todas comunidades científicas, e nesta perspectiva moldar linearmente o conhecimento científico, estruturou o pensamento de muitos filósofos da ciência, como Bacon (1979), conforme destaca Chalmers (2000).

Esta ânsia de fazer uma ciência da própria ciência (Oliveira, 2000; Bulcão 1981), baseada na coleta de dados de uma natureza coberta por um véu, aguardando o cientista para desvelar seus mistérios, é fortemente criticada por Gaston Bachelard.

Para Bachelard, *‘o conhecimento do real é luz que sempre projeta algumas sombras’*, o conhecimento empírico é causa de muitos erros, e a constante retificação destes erros é indispensável à formação do espírito científico. Os erros⁹ são necessários e inevitáveis, pois refletem os períodos de estagnação, inércia e até regressão com que se depara o espírito científico. Denominam-se obstáculos epistemológicos as dificuldades encontradas neste percurso, que devem ser constantemente psicanalisadas pelo cientista.

Nesta perspectiva, Bachelard assinala que ao se olhar para um objeto de estudo, fenômeno, interpreta-se a imagem com toda carga de cultura, expectativas, vontades, e facilidades que a opinião

⁹ Bachelard (1999, p. 243) distingue dois tipos de erros, aqueles que não passam de *“distrações do espírito fatigado (...), afirmações gratuitas feitas sem qualquer esforço de pensamento e os erros comuns e normais*. Salienta desta forma que *“(...) o erro positivo, o erro normal, o erro útil”* deve prender a atenção tanto dos professores quanto dos cientistas conduzindo o pensamento à verdade, em virtude de suas sucessivas retificações.

primeira oferece. *Traduzimos necessidades em conhecimentos*`, e é contra este ponto que a pesquisa científica contemporânea e a formação do cientista deve lutar.

Todo saber deve começar com perguntas, com a busca de uma solução a um problema. Quando não há questionamentos, não há conhecimentos. Entretanto, quando o espírito acostumado e acomodado com as respostas coletadas da infância de suas pesquisas fundamentações às suas indagações, ele poda o cientista que se construía.

O cientista contemporâneo deve empenhar-se em superar os obstáculos epistemológicos, inclusive desvinculando-se de conceitos advindos unicamente das imagens, de um real dado obtido diretamente. A técnica deve mediar sujeito e objeto de conhecimento. O ato de conhecer deve ultrapassar o que o baliza, deve ousar, utilizando a fenomenotécnica, que desempenha papel relevante nesta construção.

O cientista no âmago de sua busca se prende muitas vezes a variedade do real dado, sem extrapolar as múltiplas condições a que um único fenômeno pode ser colocado à prova. Então, conhecimentos imediatos obtidos diretamente da natureza não são análogos a conhecimentos e objetos do meio científico. O saber científico dispõe de técnicas experimentais, construindo sua própria realidade, trabalhando com um conhecimento recomeçado (Bachelard. 1975).

O estudo do conhecimento passado deve acontecer, mas, com um porém, quando o cientista se reportar ao contexto científico de qualquer época, deve analisá-lo com os olhos de hoje, com olhos da ciência atual, como encaminha a noção de recorrência histórica de Bachelard.

Um pensamento deve formar-se contra um conhecimento anterior. O pesquisador deve estar cômico da constante superação dos obstáculos epistemológicos, que compreendem um espectro amplo e ilimitado. O pensamento científico tem seus vícios e o constante despojamento, ou *'psicanálise intelectual'*, permite ao cientista ladrilhar o caminho do aprender e conhecer. O percurso do pesquisador deve ter como pressuposto básico a construção e a desconstrução do saber. Desta maneira, Bachelard (1999, p.24) salienta que:

“(...) Toda cultura científica deve começar por uma catarse intelectual e afetiva. Resta, então, a tarefa mais difícil: colocar a cultura científica em estado de mobilização permanente, substituir o saber fechado e estático por um conhecimento aberto e dinâmico, dialetizar todas as variáveis experimentais, oferecer enfim à razão razões para evoluir.”

A Filosofia de Gaston Bachelard psicanalisa a evolução da atividade científica, de maneira a explicar e evidenciar inúmeras características deste processo. Além de examinar a evolução do conhecimento, Bachelard preocupa-se constantemente com o processo de ensino-aprendizagem na escola, como já foi mencionado. O que atribui a ele um aspecto diferenciador entre os epistemólogos, o

da atividade docente no ensino de ciências, o de ter convívio com alunos, com o ato de aprender pressuposto do desaprender, em virtude da constante retificação dos conhecimentos. Conforme realça Bulcão (1981, p.17), a Epistemologia Histórica de Bachelard:

“(...) conseguiu explicar as transformações que afetaram as teorias científicas contemporâneas. Como se sabe, o surgimento de novas teorias como a relatividade, a mecânica quântica e ondulatória e as novas geometrias, causou um abalo na noção de verdade científica, pois estas contrariavam muitos princípios básicos da ciência existente. Bachelard é atual, no sentido de que vai refletir sobre essa ciência que está surgindo, analisando suas contradições internas, e seu processo de racionalização. A Epistemologia bachelardiana é adequada à ciência contemporânea, porque ela analisa o trabalho concreto dos cientistas de hoje, em lugar de falar de uma ciência abstrata e atemporal.”

Para Bachelard, as rupturas e discontinuidades são características constantes da evolução do pensamento científico. Tornam-se mais explícitas em certos momentos, como na transição da Mecânica Newtoniana para a Mecânica Relativista; e a nova visão da estrutura íntima da matéria, propiciada pela Mecânica Quântica. Nestes casos acontece que todo um corpo teórico sedimentado vê em suas bases limitações, dando conta de explicar apenas um universo restrito de fenômenos sob uma perspectiva particular. Na mecânica clássica, o mundo macroscópico é seu condicionante. Já a análise da mecânica quântica se volta as questões de um universo intangível aos sentidos, onde o comportamento da matéria é outro, portanto necessitando de um corpo teórico distinto. Nesse sentido, há uma ruptura no pensamento científico, no modo de conceber o comportamento da matéria.

A cultura científica contemporânea sinaliza, para Bachelard (1975), a necessidade de novas bases filosóficas, à medida que rompe com o conhecimento comum, calcando sua pesquisa em um objeto construído. Nesse sentido, este autor destaca a seguinte pergunta: A qual escola de pensamento deve-se vincular a ciência contemporânea?

Em contraposição a tendência tradicional que dominou durante longo tempo as concepções concernentes a gênese e desenvolvimento da ciência, de caráter indutivista e natureza puramente empírica, as demandas da atividade racionalista da física contemporânea apontam a dialética entre o racional e o empírico, traduzidas por Bachelard como o racionalismo aplicado e o materialismo racional/ técnico.

Bachelard distancia-se de outros filósofos da ciência por dedicar parte de sua vida a educação básica. Por atuar como professor durante quinze anos, ministrando além das aulas de filosofia, também química e ciências. Desta forma, não é de estranhar que as questões educacionais estejam presentes

constantemente em seu pensamento, uma vez que refletem uma ação crítica sobre sua prática pedagógica.

3.2 - Bachelard e o ensino de ciências

As contribuições de Bachelard não se restringiram ao universo científico. Em suas obras questões educacionais muitas vezes também são levantadas, como mencionado acima, pois como dedicou parte de sua vida ao trabalho docente no ensino de ciências e filosofia aflorou-lhe também a consciência de responsabilidade no ato de ensinar.

Bachelard critica de forma contundente a ênfase das ações didáticas no ensino dos conceitos, leis e princípios atuais da ciência, ou seja, salientando somente os resultados. Também parte desse ponto a importância da história e da filosofia da ciência, pois o estudo da gênese e desenvolvimento da ciência desmistifica a imagem finalista e definitiva desse empreendimento.

Para Lopes (1993, p. 324), Bachelard considera o ato de ensinar como a melhor forma de aprender, porque se verifica assim *“a melhor maneira de avaliar a solidez de nossas convicções”*. Nesta perspectiva, o processo de ensino-aprendizagem está alicerçado em uma base cuja premissa essencial é a relação dialógica – professor/aluno – com o saber, na promoção da construção do conhecimento.

Para Bachelard, há um grande equívoco quando se pensa o ensino de ciências nos moldes tradicionais, que desconsidera os conhecimentos anteriores dos alunos e atribui o caráter cumulativo à apreensão e apropriação dos conceitos científicos. Um entrave para o ensino localiza-se nesses dois pressupostos, enraizados nas relações didáticas.

De acordo com Bachelard (1999):

“Os professores de ciências imaginam que o espírito começa como uma aula, que é sempre possível reconstruir uma cultura falha pela repetição da lição, que se pode fazer entender uma demonstração repetindo-a ponto a ponto. Não levam em conta que o adolescente entra na aula de física com conhecimentos empíricos já constituídos: não se trata, portanto, de adquirir uma cultura experimental, mas sim de mudar de cultura experimental, de derrubar os obstáculos já sedimentados pela vida cotidiana...”

A suposta concepção de que existem pontes entre conhecimento comum e conhecimento científico com o propósito de ancorar essas idéias, é apenas aparente, pois se trata de duas culturas/racionalidades distintas, pertencentes a domínios que, em termos de objetivos, não mantém similaridades entre si.

Como sublinha Lopes (1993, p. 325):

“Não é possível se adquirir nova cultura por incorporação da mesma aos traços remanescentes. Os hábitos intelectuais incrustados no conhecimento não questionado invariavelmente bloqueiam o processo de construção do novo conhecimento, caracterizando-se portanto, segundo Bachelard, como ‘obstáculos epistemológicos’.”

Para Bachelard, assim como a ciência, o aprendizado também deve ser iniciado por uma *‘catarse intelectual e afetiva’*. Muitas vezes, o educando ao se deparar com uma nova *‘racionalidade’* (termo usado por Bachelard), que é a dos livros ou manuais didáticos, cuja linguagem é única do meio científico, não vê razão para apreensão deste saber. Em parte, isto se deve porque sua cultura está impregnada de conhecimentos do senso comum, de grande significância, por isso de difícil desprendimento.

A ruptura, *‘mudança conceitual’*, é necessária. Sem ela o ato de aprender não se efetiva. Embora os objetivos desta pesquisa não estejam dirigidos às concepções alternativas (Zylbersztajn, 1983; Carvalho, 1992), elas têm sido alvo de inúmeras investigações e análises, inclusive à luz de conceitos da filosofia de Bachelard (Mortimer, 2000). Análogo aos obstáculos epistemológicos dentro do patamar científico, que sufocam e retardam a evolução da pesquisa científica, as concepções alternativas balizam o aprendizado.

3.3 - Rupturas e descontinuidades na evolução do pensamento científico

No que tange a construção e desenvolvimento do pensar científico, Bachelard destaca o caráter descontinuista da razão, sendo o precursor dessa idéia ao refletir a evolução da ciência em termos de rupturas, em oposição a noção cumulativa do conhecimento. A tese que defende um crescimento gradual dos conhecimentos, que de forma encadeada liga teorias, conceitos e idéias não é característica presente na ciência.

Desta forma, para Bachelard (1999, p.20):

“(...) as crises de crescimento do pensamento implicam uma reorganização total do sistema de saber. A cabeça bem feita precisa então ser refeita. Ela muda de espécie. Opõe-se a espécie anterior por uma função decisiva. Pelas revoluções espirituais que a invenção científica exige, o homem torna-se uma espécie mutante, ou melhor dizendo, uma espécie que tem necessidade de mudar, que sofre se não mudar. (...) Se considerarmos, por exemplo, a modificação psíquica que se verifica com a compreensão de doutrinas como a da Relatividade ou como a da Mecânica Ondulatória, talvez não achemos tais expressões exageradas...”

Vários momentos históricos podem mostrar que dogmas arraigados ao pensamento podem se tornar fragilizados ou obsoletos diante da infinidade de fenômenos que deixam de explicar ou que explicam de forma incoerente e imprecisa, sendo desta forma abandonados/refutados ou apenas constatados seus limites de aplicabilidade, evidenciando que o avançar científico não se constitui num contínuo.

Bachelard salienta principalmente a ruptura entre o conhecimento comum e o conhecimento científico nas ciências físicas. Contrariamente ao que apregoa a concepção empírico-indutivista, no que se refere a realidade dos fenômenos - objetiva e que se apresenta aos sentidos de maneira clara e precisa -, o conhecimento não advém da experiência desvinculada de um arcabouço teórico, que retrata fielmente os fatos.

A crença tradicional da ciência de que *“a verdade está na natureza, no fenômeno, e cabe ao pesquisador revelá-la, torná-la visível aos olhos da razão”* (Lopes, 1996, p. 258) é uma quimera, e como indica Bachelard (2001), a pesquisa científica contemporânea mostra a descontinuidade entre o objeto do senso comum e um objeto científico, mediado pela técnica.

Nesse sentido, a partir da fenomenotécnica, que media sujeito e objeto do conhecimento, pode-se promover a existência de fenômenos que não se encontram naturalmente na natureza. A técnica catalisa a ação científica do pesquisador. Para Lopes (1996, p. 261-261) *“com a diferenciação entre fenômeno e fenomenotécnica completa-se a distinção entre real dado e real científico. O fenômeno é o real dado, o mero evento. O real só adquire o caráter de científico se é objeto de uma fenomenotécnica”*. Nesta perspectiva:

“Na ciência, não trabalhamos com o que se encontra visível na homogeneidade panorâmica. Ao contrário, precisamos ultrapassar as aparências, pois o aparente é sempre fonte de enganos, de erros, e o conhecimento científico se estrutura através da superação desses erros, em um constante processo de ruptura com o que se pensava conhecido.” (Lopes, 1996, p. 259)

Alguns exemplos que demonstram o aspecto descontinuista da história da física são: a suplantação do sistema ptolomaico pelo copernicano, a refutação da teoria do calórico, o abandono da idéia do fluido para explicar fenômenos elétricos e magnéticos, a constatação dos limites da eletrodinâmica clássica, a detecção da inexistência do éter, a dualidade onda-partícula da luz e do elétron, a transição da mecânica newtoniana para a relativística, a passagem da mecânica newtoniana para a quântica, e muitos outros. Todos esses exemplos promovem o avanço da ciência, mostrando inclusive a função do erro nesse cenário evolutivo, presente tanto no ato de conhecer como no processo de produção do conhecimento científico.

3.4 - Recorrência histórica

A ideia de recorrência histórica caracteriza-se por um **direcionamento teórico** veiculado ao estudo da história da ciência, já que se parte do **presente** para investigar o **passado**. Nesta perspectiva, a história atual ilumina a evolução dos conceitos, ideias e teorias da ciência. A análise e o julgamento crítico de um episódio histórico evidenciam o papel não neutro do historiador ao interpretar a natureza e construção do conhecimento científico. Assim, o historiador que almeja se despir dos conhecimentos arraigados ao seu pensamento, para então mergulhar neutra e objetivamente em outro tempo histórico, caminha na direção de um ideal enganoso. Bachelard não desconsidera o contexto histórico no qual determinado episódio histórico se insere, contudo acentua o papel dos conhecimentos contemporâneos no estudo da evolução do pensamento científico.

3.5 - O erro no pensamento bachelardiano

Bachelard concebe o erro, tanto no contexto da produção do conhecimento científico quanto na própria ação de conhecer no espaço escolar, a partir de uma perspectiva positiva. Conforme assinala Bachelard, não se pode denotar ao conceito de erro significados sinônimos de fracasso, retrocesso, entrave, mas atribuir a ele uma conotação mais flexível, ou seja, admiti-lo como elemento integrante da evolução e desenvolvimento do espírito científico. Como acentua Lopes (1996, p.252-253):

*“Bachelard defende que precisamos errar em ciência, pois o conhecimento científico só se constrói pela retificação desses erros. Como seu objetivo não é validar as ciências já prontas, tal qual pretendem os partidários das correntes epistemológicas lógicas, o erro deixa de ser interpretado como um equívoco, uma anomalia a ser extirpada. Ou seja, com Bachelard, o erro passa a assumir uma função positiva na gênese do saber e a própria questão da verdade se modifica. Não podemos mais nos referir **à verdade**, instância que se alcança em definitivo, mas apenas **às verdades**, múltiplas, históricas, pertencentes à esfera da **veracidade**, da capacidade de gerar credibilidade e confiança. As verdades só adquirem sentido ao fim de uma polêmica, após a retificação dos erros primeiros.”*

Tratar o erro dessa maneira indica que sua suplantação é possível, mas não definitiva, já que o erro está presente em todos os estágios do avançar científico, exigindo, por conseguinte, um espírito atento e em constante vigilância intelectual. Na prática científica, o conhecimento se estrutura por constantes reformas, *“conhecemos sempre contra um conhecimento anterior, retificando o que se julgava sabido e*

sedimentado. Por isso não existem verdades primeiras, apenas os primeiros erros: a verdade está em devir.” (Lopes, 1996, p. 253)

Em virtude da prevalência do erro na natureza e construção do conhecimento científico, ele passa a ser considerado *‘elemento motor do conhecimento’* (Santos, 1991, p.131). Contudo, Bachelard (1999, p. 243) distingue dois tipos de erros, aqueles que não passam de *“distrações do espírito fatigado (...), afirmações gratuitas feitas sem qualquer esforço do pensamento e os erros comuns e normais. (...) O erro positivo, o erro normal, o erro útil”* deve, segundo Bachelard, prender a atenção tanto dos professores quanto dos cientistas de forma que, como realça Santos (1991, p. 132), a *“verdade resulte de uma rejeição sucessiva de erros”*.

Os conceitos passados são interpretados como um conjunto de erros necessários ao desenvolvimento da ciência, e por isso devem ser analisados criticamente para que não se cometam os mesmos enganos e equívocos anteriores. Centra-se nessa noção a concepção de recorrência histórica de Bachelard.

3.6 - Obstáculos epistemológicos

Os obstáculos epistemológicos são responsáveis pela inércia e até mesmo estagnação do pensamento, sendo inerentes ao trabalho do cientista. Assim, conforme acentua Bachelard (1999), é necessário estar em estado de mobilização contínua com relação às armadilhas que deles podem surgir.

Os obstáculos epistemológicos podem ser de ordem diversa, construções da própria natureza humana ou podem ter causas sociais. Bachelard (1999) aponta que os obstáculos são vícios concernentes ao ato de conhecer que se encrustam no pensamento, e sua permanente superação depende diretamente de uma *‘catarse intelectual e afetiva’*. A psicanálise do ato de conhecer é essencial para promover o estado de alerta e mobilização cognitiva, que sem cessar deve *‘purificar’* o pensamento.

Bachelard (1999) afirma que:

“Quando se procuram as condições psicológicas do progresso da ciência, logo se chega a convicção de que é em termos de obstáculos epistemológicos que o problema do conhecimento científico deve ser colocado... O conhecimento do real é luz que sempre projeta algumas sombras. Nunca é imediato e pleno... No fundo o ato de conhecer dá-se contra um conhecimento anterior, destruindo conhecimentos mal estabelecidos, superando o que, no próprio espírito, é obstáculo a espiritualização... Quando o espírito se apresenta à cultura científica, nunca é jovem. Aliás, é bem velho, porque tem a idade de seus preconceitos. Acender à ciência é rejuvenescer espiritualmente, é aceitar uma brusca contração que contradiz o passado.”

No meio escolar, os laboratórios de física e química com suas experiências centradas principalmente nas imagens, resultados surpreendentes, cheios de cores, como as reações químicas, os aparelhos Van der Graff, distraem o estudo, afastando o aluno do real objetivo a que esses recursos se propõem: a apreensão de conceitos específicos.

Segundo Bachelard (1999), fenômenos que proporcionam efeitos inesperados aos sentidos são causas de distração, atando a pesquisa apenas ao que se manifesta aos sentidos. A ênfase dada a pontos que sensibilizam sobremaneira os sentidos, dispersa tanto alunos, considerando o espaço escolar, quanto cientistas, em estágios iniciais de pesquisa.

A ciência contemporânea deve estar constantemente alerta às distrações de um espírito desatento e acostumado com a pesquisa rotineira e conservadora. O novo espírito científico desconfia, suspeita, duvida do que se apresenta simples demais, dos resultados imediatos, é criador à medida que não se satisfaz mais com os fenômenos da natureza, utilizando, desta forma, a técnica dos laboratórios para chegar ao objeto científico.

Neste sentido, a ênfase a noção de obstáculo epistemológico na filosofia histórica de Bachelard desempenha papel central na formação do novo espírito científico, na formação dos personagens diretamente vinculados à construção do conhecimento científico, os futuros pesquisadores e/ou cientistas. A educação científica deve ser responsável pela instrução e mobilização cognitiva tanto dos estudantes que seguirão a carreira científica quanto daqueles que atuarão na prática docente no ensino de ciências, para que não intervenham em suas ações profissionais entaves e obstáculos, de ordem psíquica, retratos fiéis da inércia do pensamento.

A constante retificação de erros e a superação dos obstáculos epistemológicos denotam o pensamento em seu dinamismo profundo, pois acentuam a fecundidade da atividade científica apreensiva acerca dos empecilhos que impedem o caminhar à racionalidade. O ato de pensar científico transcende um processo estanque e definitivo, configura-se, por outro lado, provisório, como um contínuo desfazer-se de aspectos intuitivos, carga emocional, que para Bachelard são os obstáculos de maior força, por estarem presos às idéias de foro íntimo, não sendo tarefa fácil psicanalizá-los:

“(...) não se trata de considerar obstáculos externos, como a complexidade e a fugacidade dos fenômenos, nem tão-pouco de incriminar a fraqueza dos sentidos, e do espírito humano: é no próprio ato de conhecer, intimamente, que aparecem, por uma espécie de necessidade funcional, lentidões e perturbações. É aqui que residem causas de estagnação e mesmo de regressão, é aqui que iremos descobrir causas de inércia a que chamamos obstáculos epistemológicos.” (Bachelard, 2001, p. 165)

Os exemplos da história da Eletricidade e do Magnetismo mencionados por Bachelard (1999) evidenciam os obstáculos que se incrustam no pensamento impedindo-o de prosseguir. A evolução dessas idéias, teorias e conceitos são ressaltadas porque estes conhecimentos possuem características singulares, pois estão diretamente relacionadas as sensações experimentadas pelos sentidos, já que fenômenos elétricos e magnéticos impressionam, provocando, segundo Bachelard, a distração do investigador.

Dentre os obstáculos epistemológicos destacados por Bachelard (1999; 2001), pode-se assinalar: conhecimento geral, experiência primeira, obstáculo verbal, conhecimento utilitário e pragmático e obstáculo animista.

Experiência Primeira:

A experiência primeira constitui-se nas inferências imediatas, ligada ao natural, concreto, e por resultar de uma atividade pouco pensada, ilustra o pensamento pouco inventivo, pouco ordenado. O real sensível torna-se um terreno definitivo, ao invés de ser concebido como provisório.

De acordo com Bachelard (1999 p.25), *“a observação primeira é sempre um obstáculo inicial para a cultura científica. De fato (...) se apresenta repleta de imagens; é pitoresca, concreta, natural, fácil. Basta descrevê-la para se ficar encantado”*. A intuição primeira, que deseja ser verdadeira e absoluta (concludente) manifesta os mais impuros entraves à pesquisa, por satisfazer-se com os resultados rápidos, calcados puramente em registros empíricos, afastando-se portanto do racional e abstrato.

Nesse sentido, como sublinha Bachelard, o fascínio da observação particular deve ser substituído pela idéia de que *“há ruptura, e não continuidade, entre a observação e a experimentação”*. Dessa maneira, a observação neutra não é a gênese do conhecimento e de forma alguma única base na qual ele se firma. A observação não pode, de modo algum, esgotar as possibilidades de lidar com os fenômenos, mas sim se constituir em um estágio do avanço científico.

As concepções de Joseph Priestley acerca da relação entre teoria e experiência, na química, é um dos exemplos de obstáculos epistemológicos citados por Bachelard. A atividade experimental, principal norteadora de sua investigação, é, para este cientista, a fonte primeira do processo de construção do conhecimento científico. A teoria surge de maneira aleatória em decorrência da experiência. Assim, para corroborar isto Bachelard (1999, p.18) menciona uma afirmação de Priestley que denota sua premissa epistemológica concernente à gênese do conhecimento:

“Se alguém chegasse (a prever o choque elétrico) por meio de algum raciocínio, teria sido considerado um grande gênio. Mas as descobertas sobre a eletricidade decorrem tanto do acaso, que

não se trata de resultado da genialidade e sim das forças da Natureza, o que provoca a admiração que por elas sentimos.”

Concebe, desta forma, as descobertas científicas como frutos da casualidade, acontecimentos totalmente imprevistos. Para Priestley as convicções teóricas estão desligadas das experiências fecundas. O pensamento articulado à experiência é *‘uma espécie de causa aleatória da experiência’*.

Outros entraves ao avanço da ciência da eletricidade, para Bachelard (1999, p.19), concentram-se nos mistérios envolvidos nos fenômenos elétricos e magnéticos associados a efeitos imprevistos que distraem o espírito: *“ de modo visível, pode-se reconhecer que a idéia científica muito usual fica carregada de um concreto psicológico pesado demais, que ela reúne inúmeras analogias, imagens, metáforas, e perde aos poucos seu vetor de abstração, sua afiada ponta abstrata.”*

Segundo Bachelard, algumas descobertas não cumpriram uma função de avanço para a ciência, mas desempenharam o papel de espetáculo à curiosidade. Eram apresentadas como uma espécie de exibição teatral, representação mágica para os reis e a corte, a fim de prender a atenção e atrair olhares.

A garrafa de Leyden *‘causou um verdadeiro fascínio’* (Bachelard, 1999, p.40):

“Desde o ano em que foi descoberta, houve muitas pessoas, em quase todos os países europeus, que ganharam a vida indo mostrá-la por toda parte. O vulgo de qualquer idade, sexo e condição social considerava esse prodígio da natureza com surpresa e admiração. (...)Um imperador ficaria satisfeito se recebesse, como renda, as quantias que foram pagas em xelins e tostões para assistir à experiência de Leyden.”

Os raios-X também atraíram, em termos meramente demonstrativos, a atenção de um público muito vasto, causa de surpresa aos sentidos. Contudo as explicações teóricas eram relegadas a segundo plano.

Conhecimento Geral:

Após a experiência primeira, as generalizações apressadas seguem a ação impensada de um pesquisador precipitado em antecipar resultados, chegar à conclusões. Pode-se então perceber *“o espírito científico entravado já na origem por dois obstáculos”* (Bachelard, 1999, p.25). Neste momento já não se remonta às observações, se quer recorrer a leis gerais que atingem a compreensão de um amplo espectro de fenômenos, e suas especificidades tornam-se sem valor.

O raciocínio indutivo representa a ânsia de concluir uma lei científica geral a partir de uma série de fatos particulares, simbolizando por fim, mais um obstáculo ao percurso do cientista.

Um dos exemplos suscitado por Bachelard, no domínio da física, refere-se à uma experiência realizada no vácuo, com a ajuda do tubo de Newton, onde a partir dela se infere que *'no vácuo, todos os corpos caem à mesma velocidade'*. Este exemplo revela, para Bachelard (1999, p.72), um entrave ao pensamento, no seguinte sentido:

“Com satisfação do pensamento generalizante, a experiência perdeu o estímulo. (...) mesmo seguindo um ciclo de idéias exatas, percebe-se que a generalidade imobiliza o pensamento, que as variáveis referentes ao aspecto geral ofuscam as variáveis matemáticas essenciais. No exemplo, a noção de velocidade esconde a noção de aceleração. É, no entanto, a noção de aceleração que corresponde a realidade dominante. Assim a própria matemática dos fenômenos é hierarquizada, e nem sequer a primeira forma matemática está certa, nem sempre a primeira forma é de fato formativa.”

As generalizações apressadas imobilizam e suspendem a experiência. Não é possível negar, como o exemplo acima denota, que essas grandes verdades tiveram um valor epistemológico e científico, contudo, constituíram um estágio da cultura científica. Conforme assevera Bachelard (1977, p.18), *'essas leis gerais bloqueiam atualmente as idéias'* porque a ciência contemporânea se calca no conhecimento específico:

“Levando em conta que a especialização do pensamento científico está necessariamente precedida de uma cultura científica sólida, que precisamente determina a especialização, é surpreendente que a especialização científica seja tão facilmente, tão constantemente denunciada como uma mutilação do pensamento.”

A fragmentação dos conhecimentos configura o quadro da ciência atual, que para Bachelard identifica a solidez da atividade científica contemporânea, de uma ciência legítima que procura esgotar as possibilidades de se trabalhar com um fenômeno, transcendendo seu caráter concreto, valorando a matemática e as possibilidades de variação que a técnica pode propiciar.

Obstáculo Verbal:

Uma única imagem, uma única palavra com a função de expressar características e propriedades de fenômenos diversos compõe também o quadro dos obstáculos epistemológicos descritos por

Bachelard. Hábitos de natureza verbal, uso abusivo de imagens familiares refletem o pensamento em seu estágio primitivo, que recorre ao aparato metafórico para significar e comunicar o que se observa. Contudo, impede a visão abstrata, anulando uma leitura da razão sobre problemas reais, nutrindo-se cada vez mais do concreto e imagens comuns.

Pretender atingir a neutralidade linguística, diminuindo a interferência subjetiva e as flutuações de sentido da linguagem, marcas pragmáticas no discurso científico, de fato, representa um ideal enganoso. Contudo, Bachelard recorre ao período pré-científico para salientar que uma apreciação crítica do uso abusivo de analogias e do aparato metafórico é necessária e simboliza uma reflexão ao espírito científico.

Nesta perspectiva, Bachelard (1999, p.92) diz que *“o acúmulo de imagens prejudica evidentemente a razão, no qual o lado concreto, apresentado sem prudência, impede a visão abstrata e nítida dos problemas reais”*.

O exemplo da esponja, suscitado por Bachelard, explicita que uma palavra, uma imagem, é capaz de explicar fenômenos de natureza diversa. As propriedades e características da esponja bastam para a compreensão completa de vários fenômenos.

Alguns registros históricos mencionados por Bachelard (1999, p.95, 96, 97) ilustram a metáfora da esponja designando atributos a conhecimentos: *“A terra é uma esponja e o receptáculo dos outros Elementos”*, *“o sangue é uma espécie de esponja impregnada de fogo”*, *“o ferro é uma esponja do Fluido magnético”*. A extensão de uma palavra para designar propriedades de múltiplos fenômenos também é evidente.

O pensamento se nutre de imagens e palavras, satisfazendo-se com esse terreno do conhecimento. Refere-se à avanço do conhecimento associar uma palavra abstrata a uma palavra concreta, pensando estar assim contribuindo ao desenvolvimento científico.

Conhecimento Unitário e Pragmático:

A valorização recai sobre a unidade, que designa uma única natureza aos objetos científicos. A dualidade é anulada instantaneamente quando o espírito concebe e acolhe de forma espontânea os pensamentos fáceis, por isso, evasivos. O pensamento resiste ao dinamismo e complexidade que compreende o mundo natural que, eclético, forma-se por distintos gêneros e elementos, como por exemplo a natureza dual da luz e dos elétrons.

Obstáculo Animista

O animismo, conforme o dicionário Aurélio (Ferreira, 1999), significa o *“modo de pensamento ou sistema de crenças em que se atribui a seres vivos, objetos inanimados e fenômenos naturais um princípio vital pessoal, isto é, uma alma”*. Conforme afirma Bachelard (1999), as explicações relativas aos fenômenos de maneira

geral enfatizam características do reino animal e vegetal, as teorias que permeiam, por exemplo, as propriedades dos imãs, incorporam a idéia de princípios ativos: como se uma alma, um princípio vital estivesse veiculado ao fluido elétrico e magnético (concepção presente no período pré-científico). Então, tendo em vista que os objetos inanimados podem associar-se a vida, os mesmos estão suscetíveis aos ciclos da natureza, como nascimento, crescimento e morte. Um exemplo bastante ilustrativo destacado por Bachelard refere-se à corrosão de um metal: associava-se a corrosão, durante o período pré-científico, o adoecimento do metal e quase que inevitavelmente sua morte, quando não tratado.

Em síntese, os obstáculos estão presentes no pensamento científico, e revelam os conceitos e noções obscuras firmemente solidificados no espírito científico. Por em geral refletirem questões de foro afetivo tornam-se de difícil desprendimento. A mente pouco alerta impede a purificação e mobilização intelectual do pesquisador, que constantemente deve estender sua atenção a obstrução e suplantação de idéias que, por estarem contaminadas de obstáculos epistemológicos, tornam-se infecundas.

Bachelard não deixa de mencionar a relevância das grandes generalizações de construtos teóricos da cultura científica (1999, p. 71). Grandes verdades, definições intocáveis, fazem parte de cada ciência, mas por se tornarem inquestionáveis, à medida que respondem e explicam de modo global fenômenos, bloqueiam as idéias, pois pré-determinam comportamentos de fenômenos, inclusive acerca de fatos nem sequer observados. Por este motivo os conhecimentos gerais configuram-se obstáculos. Neste aspecto, são responsáveis por manter em *'sonolência o saber'*, alheio a revoluções científicas.

3.7 - Analogias, metáforas e imagens na perspectiva bachelardiana

Bachelard discorre detalhadamente em várias de suas obras sobre as analogias, metáforas e imagens na construção do conhecimento científico; e no domínio da educação, tanto sobre sua utilização em livros didáticos, por meio de ilustrações e discurso, quanto sua utilização espontânea pelos professores. Esses recursos da linguagem e do pensamento são inerentes à razão humana, que se apropria deliberadamente das analogias, metáforas e imagens para articular conhecimentos menos familiares aos mais familiares.

A epistemologia histórica de Bachelard tece incisiva crítica aos equívocos presentes no uso indiscriminado desses recursos lingüísticos, argumentando que se constituem apenas modelos de raciocínio e de modo algum cópia fiel da realidade. Por conseguinte, não se pode concebê-los como imagens-reflexos do real, sobretudo quando se trata de conceitos vinculados a domínios de natureza distinta. Conhecemos com a razão, assim as imagens representam um estágio do ato de conhecer que deve ser desconstruído imediatamente. As analogias, metáforas e imagens caracterizam-se de natureza

efêmera e provisória. De acordo com Lopes (1996, p. 163), para Bachelard as imagens são ao mesmo tempo boas e más, indispensáveis e prejudiciais:

“Não podemos... considerar que Bachelard defende a impossibilidade de utilização de metáforas e imagens. Sua posição é de que a razão não se pode acomodar a elas, devendo estar pronta a desconstruí-las sempre que o processo de construção do conhecimento científico assim o exigir.”

A *‘linguagem não é transparente e estanque’* (Contenças, 1999), recorrendo constantemente às analogias e metáforas como ferramenta da comunicação e ferramenta do próprio pensamento. Bachelard alerta para o fato de que se deve ter cuidados quando se intenta estabelecer correspondências entre domínios de gêneros distintos.

3.8 - A dialética racionalismo-empirismo

Durante um longo período a filosofia tradicional da ciência permaneceu soberana no que concerne a imagem da natureza e construção do conhecimento científico. Uma forte reação crítica a essa tendência filosófica começou a ocorrer por volta da década de 30, tendo como um dos seus pioneiros Bachelard.

Uma das noções fundamentais de sua epistemologia está centrada na ênfase a mobilidade do pensamento. No entanto, em geral, quando se pensa na ciência, ou se confere crédito a corrente empírico-indutivista, que supervaloriza a observação, sinalizando-a como origem do conhecimento, ou se defende a tese racionalista, que afirma estar na razão a fonte primeira e única do conhecimento. Contudo, a escolha de um sistema filosófico absoluto, seja ele racional ou empírico, ilustra uma idéia unilateral da natureza do conhecimento científico, que se encerra em uma concepção estática do pensamento, limitada a regras e prescrições metodológicas invariáveis. Com base nessa premissa, essas concepções são, necessariamente, opostas e excludentes, cujo convívio mútuo não é permitido.

Em se tratando da epistemologia histórica de Bachelard, impor um limite do que fazer e como fazer para que a ciência avance e progrida, uniformizando procedimentos e direções para que se alcance o êxito, não parece dar conta dos vários caminhos adotados pela ciência.

Bachelard rompe com a noção de sistemas filosóficos fechados e acabados. O desenvolvimento do pensamento científico, em particular da história da física, mostra que os conhecimentos científicos estão em constante evolução e mudanças. Portanto, analisar a origem do conhecimento a partir de um sistema filosófico único e atemporal, seja ele o racionalismo ou o empirismo, frente a dinamicidade de

ações e práticas que a ciência está sujeita, é delinear uma trajetória por demais simplificada da evolução das idéias, conceitos e teorias científicas.

Nesse sentido, Bachelard (1975, p. 94) destaca que:

“Um empirismo sem leis claras, coordenadas, dedutivas, não pode ser nem pensado nem ensinado; um racionalismo, sem provas palpáveis, sem aplicação à realidade imediata, não pode convencer plenamente. Prova-se o valor de uma lei empírica fazendo dela a base de um raciocínio. Legitima-se um raciocínio, fazendo dele a base de uma experiência. A ciência, soma de provas e experiências, de regras e de leis, de evidências e de fatos, necessita pois, de uma filosofia de dois pólos.”

Para Bachelard (1975), não é possível pensar em uma imagem de ciência fechada, refletida em apenas uma concepção epistemológica, que de forma universal descreve a gênese e desenvolvimento do pensamento científico. Uma postura “progressiva” e “aberta”, alicerçada no que Bachelard denomina dialética racionalismo/empirismo deve permear a visão da ciência contemporânea. Bachelard (1975) ressalta que “nas ciências físicas, organização racional e experiência estão em constante cooperação”, sendo um ideal falacioso pensar a ciência somente em termos da doutrina racionalista, ou apenas a partir da tese empírica, pois para Bachelard as duas são obrigatoriamente complementares.

Como ressalta Bachelard (1975, p.8):

“(...) uma constante atividade de reforma trabalha o pensamento científico. A essencial atualização do pensamento científico corre paralelamente com a busca de uma nova base. (...) segue-se pois o pensamento científico em seu trabalho atual, nessa dupla atividade racional e técnica, veremos em ação uma espécie de fenomenologia de ponta, cuja importância é as vezes desconhecida pela fenomenologia contemporânea(...).”

Como contraponto à fenomenologia, que dá primazia aos sentidos, ao percebido, que revela a carga das concepções primeiras, idéias iniciais, generalizações apressadas carregada de obstáculos de ordem psíquica, desejos e entusiasmos de inferir conclusões imediatas acerca dos fenômenos; a fenomenotécnica media sujeito e objeto do conhecimento na pesquisa científica contemporânea, sendo responsável por construir o que o real dado não dispõe.

Como destaca Bachelard (1975, p.9), a cultura epistemológica do primitivo “recusa examinar a consciência instrumental”, recusa aceitar a dialética do racional e do experimental e a nova ordem dos conceitos científicos. A fenomenologia cede espaço a fenomenotécnica, que desempenha papel expressivo na física contemporânea.

Assim, Bachelard (1975, p.9) assinala que:

“A fenomenologia não alcança o momento do racionalismo dos conceitos, o instante da nova consciência, onde o racionalismo subitamente nega a história da aquisição das idéias para designar e organizar as idéias constitutivas. Enquanto o pensamento científico toma consciência desta tarefa de essencial reorganização do saber, a tendência a inscrever os dados históricos primitivos aparecem como uma verdadeira desorganização. A tomada de consciência racionalista é pois nitidamente uma nova consciência. É uma consciência que julga seu saber e que quer transcender o pecado original do empirismo. (...) O conhecimento comum já não pode ser, no estado presente do saber científico, mais que um território provisório, um território pedagógico para por a coisa em marcha, para dividir em pedaços. Uma doutrina da ciência é desde já essencialmente uma doutrina da cultura e do trabalho, uma doutrina da transformação correlativa do homem e das coisas.”

O vínculo indissociável entre o “*espírito trabalhador e matéria trabalhada*” presentes no materialismo racional e no racionalismo aplicado exige o abandono das tradições filosóficas alicerçadas no realismo ingênuo, que remete o pensamento apenas ao mundo sensível, fortalecendo a crença de que o conhecimento científico é cópia fiel do que se apresenta ao pesquisador. Em contrapartida, “*a ciência de hoje é factícia, rompe com a natureza para construir a técnica. Constrói uma realidade, esculpe a matéria, dá finalidade as coisas dispersas*” (Bachelard, 1975, p.10).

Da mesma forma, o espírito científico deve necessariamente psicanalizar o pensamento íntimo, carregado de individualidade, responsável por condicionar o trabalho de reconstrução e reorganização racional. A inspiração que provém dos valores da imaginação, portanto essencialmente individual, pode acumular grandes efeitos de entusiasmo que afastam a ciência da objetividade (Bachelard, 1975, p.11). Logo, a valorização do trabalho coletivo é acentuada por Bachelard, em detrimento da pesquisa isolada que denuncia os falsos valores enraizados a esfera da individualidade, fontes de constantes erros e obstáculos, verdadeiros entraves ao avanço do pensamento. Bachelard coloca em relevo o caráter social da ciência, ressaltando-a como fruto de um empreendimento coletivo, em oposição a imagem que acentua a cultura científica como resultado de uma atividade realizada por mentes solitárias.

CAPÍTULO 4 – NATUREZA METODOLÓGICA DA PESQUISA: SOBRE A ELABORAÇÃO DO TEXTO E INSTRUMENTOS PARA COLETA DE DADOS

4.1 - Metodologia da pesquisa: aspectos gerais

A presente pesquisa apóia-se em uma abordagem de natureza qualitativa. De acordo com Bogdan & Biklen (1982) as características fundamentais dessa metodologia são:

- O contato direto e prolongado do pesquisador com o ambiente e a situação que está sendo investigada;
- Os dados coletados são predominantemente descritivos: inclui transcrições de entrevistas, depoimentos e vídeo gravações; descrições de pessoas, situações e acontecimentos;
- Preocupa-se com o processo e não simplesmente com os resultados e o produto;
- Considera os diferentes pontos de vista dos participantes, tendo em vista uma preocupação com a maneira com que os sujeitos encaram as questões que estão sendo focalizadas;

Tendo em vista os objetivos da presente pesquisa, desenvolveu-se um texto, *'A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz'*, articulando a filosofia histórica de Bachelard à evolução da óptica, com base nas obras: *'Origens e Evolução das Idéias da Física'* (Rocha et al, 2002) e *'La Actividad Racionalista de la Física Contemporanea'* (Bachelard, 1975).

Nesta perspectiva, o texto foi avaliado sob a forma de um questionário e entrevistas semi-estruturadas (Triniños, 1987; Ludke & André, 1986) junto aos alunos da disciplina Evolução dos Conceitos da Física do curso de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, no primeiro semestre de 2004.

Estes instrumentos para coleta de dados foram aplicados após a implementação do texto, de modo a investigar a pertinência, possíveis influências e contribuições de uma abordagem que priorizou as dimensões históricas e filosóficas da natureza e construção da ciência óptica.

A observação livre (Ludke & André, 1986), realizada em sala de aula, também compôs o quadro metodológico da pesquisa, configurando-se um instrumento secundário. Contudo, relevante para a compreensão do contexto da disciplina Evolução dos Conceitos da Física, cenário onde se desenvolveu a pesquisa. Nestes termos, a observação permitiu traçar o perfil e as características da turma; identificar a abordagem dos conteúdos dada pelo professor; o interesse dos alunos; a metodologia adotada; o

sistema de avaliação, enfim, o contexto de implementação do material instrucional. O registro das observações foi realizado a partir de gravações em áudio e anotações feitas pela pesquisadora em sala de aula.

As seções que seguem destacam aspectos referentes à disciplina Evolução dos Conceitos da Física, à elaboração do texto e aos instrumentos metodológicos utilizados na pesquisa.

4.2 - O perfil da disciplina Evolução dos Conceitos da Física: contexto da pesquisa

No curso de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, a disciplina Evolução dos Conceitos da Física tem como objetivo central analisar histórica e epistemologicamente os desenvolvimentos conceituais das teorias físicas, desde os gregos até o presente.

O programa da disciplina explicita, com clareza, os conteúdos a serem trabalhados:

a) A evolução da cosmologia e da mecânica (Cosmologia na Grécia Antiga; A astronomia ptolomaica; A astronomia e a mecânica na Idade Média; A inovação copernicana; As contribuições de Brahe, Kepler, Galileu e Descartes; A síntese newtoniana e a visão de natureza; As críticas à mecânica newtoniana: de Berkeley a Mach; As teorias da relatividade e cosmologia moderna);

b) A evolução das idéias sobre luz, eletricidade e magnetismo (Teorias sobre luz e visão: de Platão a Descartes; Os modelos corpuscular e ondulatório para a luz; A eletricidade como fluido; Os campos elétrico e magnético; A luz como onda eletromagnética; O efeito fotoelétrico e a dualidade onda-corpúsculo);

c) A evolução das idéias sobre calor e constituição da matéria (O calor como fluido; Calor, termodinâmica e conservação da energia; A teoria cinética da matéria e a mecânica estatística; A estrutura dos átomos e a física quântica).

No primeiro semestre de 2004, a disciplina Evolução dos Conceitos da Física, contou com uma turma constituída por catorze alunos, 8 cursando Licenciatura e 6 Bacharelado em Física. Entre eles, encontrava-se um aluno repetente¹⁰. O Departamento de Física disponibiliza apenas uma turma por semestre, para esta disciplina, no período noturno. Apesar de se tratar de uma disciplina obrigatória na grade curricular de ambas as habilitações, Licenciatura e Bacharelado em Física, as turmas em geral são pequenas.

A abordagem dos conteúdos nas discussões conduzidas pelo professor, manifestaram, a todo momento, primazia a questionamentos críticos sobre a gênese e desenvolvimento da ciência, explícitos em perguntas como as enfatizadas na primeira aula, concernente a apresentação da disciplina: 'Quais as suas (dos alunos) expectativas diante do estudo da história da física?'; 'De que modo este percurso

¹⁰ Do bacharelado em Física

histórico avança?'; 'De forma linear, configurando-se um avanço contínuo ao longo do tempo?'; 'Contudo, será possível "contar" uma evolução dos conceitos da física considerando uma trajetória fundamentalmente cumulativa (linear)?'; 'Nesta mesma perspectiva, é possível apresentar a natureza e construção do conhecimento científico de maneira correspondente à exibição do enredo de uma novela? Que exige uma seqüência linear para compreensão do desenrolar da história?'; 'Qual o papel dos 'gênios' na evolução do pensamento científico?'; 'A ciência, sem as contribuições de 'mentes brilhantes' caracteriza-se estéril, infecunda e estanque?`.

A recorrência constante a questionamentos como estratégia para suscitar reflexões críticas dos alunos ao longo das aulas, contempla uma aproximação à preocupação de Bachelard (1999) com relação à educação, particularmente ao processo de ensino-aprendizagem: a idéia de que todo saber deve começar com perguntas, no sentido de que se não há questionamentos, não há conhecimento; na perspectiva de que o ato de pensar, analisar, criticar, investigar e questionar deve permear a busca de conhecimento.

O sistema de avaliação adotado pelo professor ao longo da disciplina compreendeu: a participação nas discussões suscitadas em aula, levantando dúvidas ou críticas (estratégia para os alunos lerem os textos); a apresentação de seminários, pelos alunos, sob tópicos específicos da matéria; e o questionário da pesquisa¹¹.

A metodologia adotada pelo professor no primeiro segmento da disciplina priorizou aulas dialogadas, eventualmente ocorrendo algumas de natureza fundamentalmente expositiva, com o intuito de motivar a participação dos alunos, tendo em vista o perfil da disciplina. Quanto à bibliografia, foram usados os seguintes textos: '**Força e Movimento: de Thales a Galileu**' (Peduzzi, 1998), *Introdução, capítulo I - De Thales a Ptolomeu, capítulo II - A física aristotélica, capítulo III - A física da força impressa e do impetus, capítulo IV - As novas concepções de mundo, capítulo V - Galileu e a teoria copernicana, capítulo VI - A física de Galileu, capítulo VII - As leis de Kepler do movimento planetário;* '**Força e Movimento: de Descartes a Newton**' (Peduzzi, 1998), *capítulo I - O Mecanicismo Cartesiano, capítulo II - Sobre a Questão da Conservação da Quantidade de Movimento e da 'Força Viva' em Colisões Frontais e a Emergência de uma Nova Dinâmica, capítulo VIII - A Gravitação Universal Newtoniana;* '**Do Átomo Grego ao Átomo de Dalton: um percurso através da história da física e da química**' (Peduzzi, 2003); '**Entrevista com Tycho Brahe**' (Medeiros, 2002a); '**Galileu: um cientista várias versões**' (Zylbersztajn, 1998); '**Entrevista com Kepler**' (Medeiros, 2002b); '**A Alquimia de Newton**' (Thuillier, 1994).

¹¹ O questionário desenvolvido para avaliar a pertinência, influências e contribuições do texto '*A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz*' na disciplina de Evolução dos Conceitos da Física em 2004/1, p. 120, também contou como um dos critérios da avaliação.

A realização de seminários pelos alunos compreendeu o segmento seguinte da disciplina, intercalada pela implementação do texto¹² *‘A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz’*, acompanhando o programa da disciplina. Os temas abordados nos seminários dizem respeito à parte restante da história da física, vinculando-se eventualmente a assuntos específicos, como a astronomia, dispostos na seqüência a seguir apresentada: O grande debate da astronomia: Shapley x Curtis; Evolução das idéias da termodinâmica; O desenvolvimento da mecânica estatística; Evolução histórica da eletricidade, Evolução histórica do magnetismo e galvanismo; Origem e evolução do eletromagnetismo; Relatividade restrita; Óptica (aplicação do texto, a metodologia está explicitada mais adiante¹³); Os quanta e a física moderna: radiação de corpo negro, quanta de radiação e modelos atômicos; Os quanta e a física moderna: a natureza dual da matéria; Os quanta e a física moderna: o nascimento da mecânica quântica. A principal fonte bibliográfica utilizada foi o livro *‘Origens e Evolução das Idéias da Física’* (Rocha et al., 2002), acrescida de artigos e leituras complementares sugeridas tanto pelo professor quanto buscadas pelos alunos na literatura. A cada aula dois seminários foram apresentados, individuais ou em duplas, a critério dos alunos.

4.3 - Sobre a estrutura do texto *‘A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz’*

O texto *“A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz”* compreende um estudo da história da óptica apresentado no livro *‘Origens e Evolução das Idéias da Física’* (Rocha et al., 2001) à luz de um referencial da moderna filosofia da ciência, Gaston Bachelard. Nesta perspectiva, contempla uma articulação entre conceitos centrais da epistemologia bachelardiana e a evolução das idéias da óptica, dando ênfase aos períodos de rupturas e discontinuidades; a constante retificação do erro, no sentido de que um conhecimento se dá contra outro; a superação dos obstáculos epistemológicos; a noção de recorrência histórica; as analogias no âmbito da ciência e do ensino; e a nova visão da física moderna e contemporânea, evidenciando a dialética racionalismo-empirismo e o valor imprescindível do instrumental técnico no domínio quântico. Onze seções compõem o texto:

- 1 - Introdução
- 2 - A epistemologia histórica de Gaston Bachelard
- 3 - Newton e a natureza corpuscular da luz

¹² p. 77, cap. 4, seção 4.8 (*Implementação do texto ‘A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz’ na disciplina Evolução dos Conceitos da Física*).

¹³ p. 77.

4 - Rupturas e discontinuidades na evolução da óptica

4.1 - Do mundo físico grego ao século XVII: sobre os mecanismos da visão e a natureza da luz

4.2 - Um breve percurso ao longo da história da óptica: de Newton a Einstein

5 - A história recorrente de Bachelard e as controvérsias sobre os espelhos ardentes de Arquimedes

6 - Um exemplo de obstáculo epistemológico na estruturação da concepção newtoniana da luz

7 - Analogias na evolução da óptica: uma análise a partir da perspectiva bachelardiana

8 - Analogias no ensino de ciências

9 - As novas perspectivas da ciência contemporânea à luz da epistemologia bachelardiana

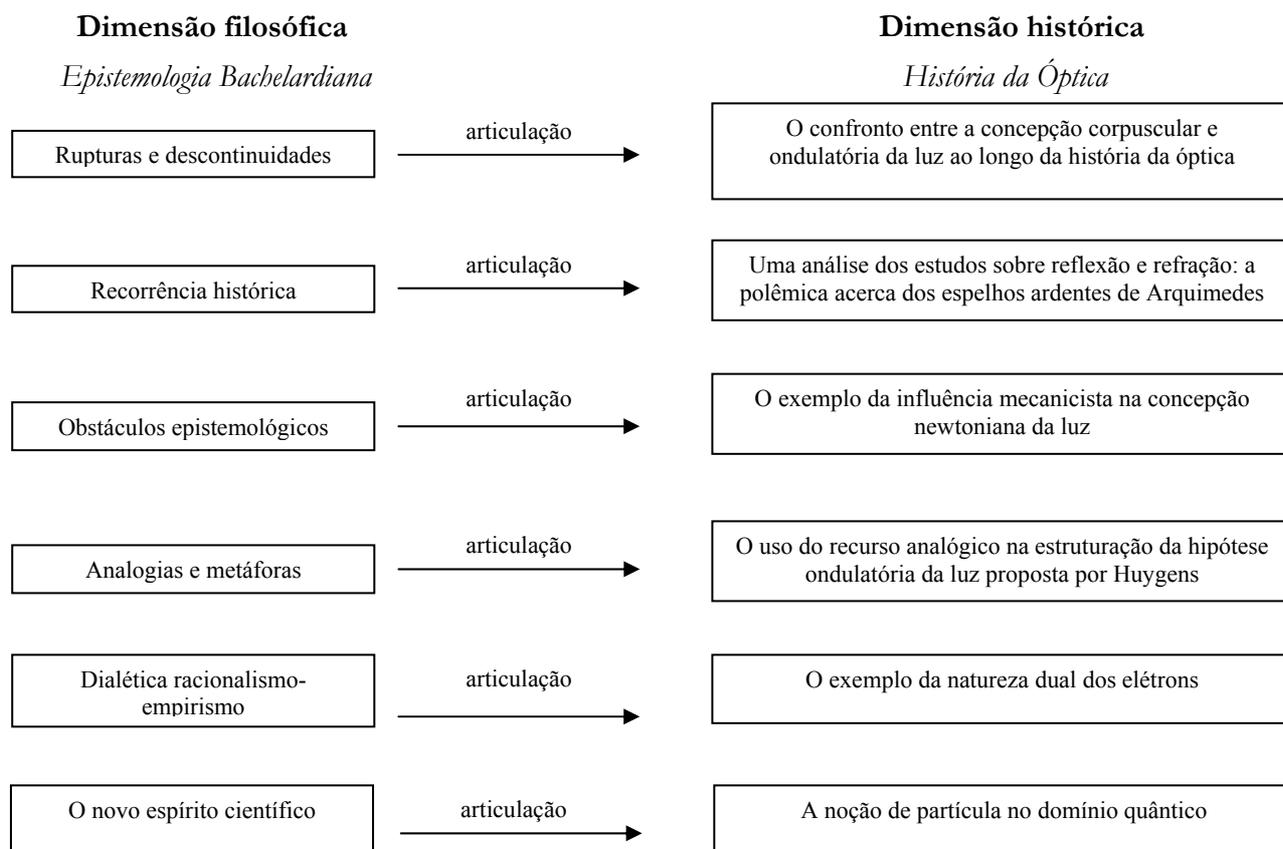
9.1 - Diálogo entre a razão e a experiência: o papel do instrumental técnico na física contemporânea

9.2 - A natureza distinta da física quântica: sobre moléculas, átomos e elétrons

10 - A experiência da dispersão da luz branca: uma análise crítica à sua abordagem

11 - Considerações finais

O quadro a seguir sintetiza a articulação ilustrada no texto entre conceitos da epistemologia bachelardiana e a história da ótica¹⁴:



¹⁴ Quadro apresentado na referência (Staub & Peduzzi, 2005)

4.4 - Sobre a estrutura da história da óptica apresentada no livro *'Origens e Evolução das Idéias da Física'*:

A história da óptica apresentada no livro *'Origens e Evolução das Idéias da Física'*, contemplada no capítulo III (*'Origens e Evolução do Eletromagnetismo'*) conduz as discussões a partir do confronto entre o modelo teórico da natureza corpuscular da luz e o modelo ondulatório da luz. Ilustra inicialmente as raízes históricas da óptica, enfatizando o conhecimento do mundo grego acerca dos mecanismos da visão e as conjecturas delineadas na Antiguidade Clássica para interpretar a formação de imagens, e a visão. O texto percorre o século XVII, destacando as descobertas dos fenômenos de difração; interferência e polarização, acirrando a disputa entre as concepções rivais (ondulatória x corpuscular) sobre o comportamento da luz. Explora na seqüência as contribuições de Einstein, de Broglie, e Schrödinger. O texto contempla as seguintes seções:

1 - As idéias dos gregos

2 - Reflexão

3 - Refração

3.1 - As cores do espectro e as cores dos pigmentos

3.2 - O arco-íris

4 - Difração

5 - Interferência

5.1 - O éter

5.2 - A experiência de Young

6 - Polarização

7 - Triunfo da teoria ondulatória e ressurgimento da teoria corpuscular da luz

7.1 - As experiências de Airy, Foucault e Fizeau

8 - O efeito fotoelétrico

9 - Dualidade onda-corpúsculo

10 - Difração de elétrons

4.5 - Sobre a estrutura do texto *'La Actividade Racionalista de la Física Contemporanea'*

Bachelard (1975) retrata em sua obra *'La Actividad Racionalista de la Física Contemporanea'* os princípios filosóficos básicos de sua epistemologia histórica para a análise da nova física que começa a

se estruturar em fins do século XIX. Despertar a filosofia da ciência de seu *sono dogmático*¹⁵ exprime a essência de sua obra, que inspira o exame crítico sobre as respostas fáceis, que não têm sua gênese em um problema, sobre a história linear e cumulativa, sobre a história contada pelos empiristas. Parte significativa das discussões localizadas por Bachelard configuram-se fundamentais na história da óptica, perpassando os seguintes capítulos:

Introducción - Las tareas de la filosofía de las ciencias

1 - Las recurrencias históricas epistemología e historia de las ciencias: la dialéctica onda-corpúsculo em su desarrollo histórico

3 - La noción de corpúsculo em la ciencia contemporánea

4 - El racionalismo de la energía

6 - Efecto fotoeléctrico: foton

9 - Las intuiciones de la mecánica ondulatoria

10 - La dualidad corpúsculo y onda

4.6 - Instrumentos metodológicos para coleta de dados

4.6.1 - Observação

Com o propósito de investigar o cenário de aplicação do texto *“A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz”*, a pesquisadora acompanhou a disciplina Evolução dos Conceitos da Física ao longo do primeiro semestre de 2004, elegendo a observação livre como instrumento auxiliar nesta perspectiva. Nestes termos, as aulas foram gravadas em áudio, contando também com as anotações feitas pela pesquisadora em sala de aula. Esses registros contribuíram para delinear o contexto da pesquisa.

Com efeito, se a observação está imbuída de uma carga de pré-conceitos, crenças e premissas teóricas, que cuidados se deve ter em relação a este método de coleta de dados?

De acordo com Lüdke & André (1986, p.25):

“Para que se torne um instrumento válido e fidedigno de investigação científica, a observação precisa ser antes de tudo controlada e sistemática. Isso significa a existência de um planejamento cuidadoso de trabalho e uma preparação rigorosa do observador.”

¹⁵ Termos usado por Lopes (1996b)

A delimitação do objeto de estudo representa o cuidado acerca “do quê” e “como” observar, configurando um vislumbre do enfoque da pesquisa e de como ocorrerá o desenrolar da ação investigativa. Mesmo se tratando de uma técnica aparentemente simples, a observação exige alerta e rigor. Triviños (1986, p.26) acentua que, conforme Patton (1980):

“O observador precisa aprender a fazer registros descritivos, saber separar os detalhes relevantes dos triviais, aprender a fazer anotações organizadas e utilizar métodos rigorosos para validar suas observações.”

De acordo com Mazzotti & Gewandsznajder (1998, p.148), extensa literatura atribui severa crítica a premissa teórica que desconsidera a visão do pesquisador e o quadro teórico estabelecido em estágio anterior à investigação, em virtude dos seguintes fatores:

- a) Qualquer pesquisador, ao escolher determinado ‘campo’ (uma comunidade, uma instituição), já o faz com algum objetivo e algumas questões em mente; se é assim, não há porque não explicitá-los, mesmo que sujeitos a reajustes futuros;
- b) Dificilmente um pesquisador inicia sua coleta de dados sem que alguma teoria esteja orientando seus passos, mesmo que implicitamente; neste caso, é preferível torná-la pública;
- c) A ausência de focalização e de critérios na coleta de dados freqüentemente resulta em perda de tempo, excesso de dados e dificuldade de interpretação.

Neste sentido, em algumas situações, apreender o contexto da pesquisa não significa aprisionar o estudo de modo arbitrário e precoce, em dimensões e categorias, pois estes pressupostos tornam-se relevantes para o desenho ou planejamento das “*estratégias utilizadas pelo pesquisador para responder as questões propostas pelo estudo, incluindo os procedimentos e instrumentos de coleta, análise e interpretação dos dados...*” (Mazzotti & Gewandsznajder, 1998, p.147).

A observação, como qualquer outro instrumento de pesquisa, apresenta vantagens e limitações que devem ser enfatizadas. Lüdke & André (1986, p.26) destacam alguns pontos positivos em decorrência do ‘*contato pessoal e estreito do pesquisador com o fenômeno*’:

- A experiência direta é sem dúvida o melhor teste de verificação da ocorrência de um determinado fenômeno;

- Sendo o principal instrumento da investigação, o observador pode recorrer aos conhecimentos e experiências pessoais como auxiliares no processo de compreensão e interpretação do fenômeno estudado;
- O observador tem a possibilidade de chegar mais perto da 'perspectiva dos sujeitos';
- Permite a coleta de dados em situações que não é possível outras formas de comunicação.

As críticas acerca do método de observação são apontadas por Mazzotti & Gewandsznajder (1998, p.164) e Lüdke & André (1986, p.27):

- Esta técnica pode provocar alterações no ambiente ou no comportamento das pessoas observadas;
- O envolvimento intenso do pesquisador pode conduzir a uma visão distorcida do fenômeno ou a uma representação parcial da realidade;
- Abrange apenas seus próprios limites temporais e espaciais, isto é, eventos que ocorrem fora do período de observação não são registrados;
- É uma técnica pouco econômica, pois exige muitas horas de trabalho do pesquisador;
- Geralmente requer alta dose de interpretação por parte do observador, o que pode levar a inferências incorretas;
- A presença do observador pode interferir na situação observada.

A observação, como qualquer outra ferramenta metodológica, pode tornar-se um instrumento de pesquisa frágil, à medida que não é complementado por outra (s) técnica (s) de coleta de dados. Articular múltiplas práticas metodológicas para minimizar as lacunas inerentes a cada uma delas na investigação de fatos, comportamentos e cenários, contribui significativamente para a solidez da pesquisa.

A observação pode ser registrada na forma de anotações escritas apenas, ou articulando-a a material transcrito de gravações em áudio e/ou vídeo. A maneira de registrar varia consideravelmente de uma pesquisa a outra, dependendo de seu contexto.

Mazzotti & Gewandsznajder (1998, p.170) ressaltam que a análise dos dados:

“(...) se faz através de um processo continuado em que se procura identificar dimensões, categorias, tendências, padrões, relações, desvendando-lhes o significado. Este é um processo complexo, não-linear, que implica um trabalho de redução, organização e interpretação dos dados que se inicia já na fase exploratória e acompanha toda a investigação. À medida que os dados vão sendo coletados, o pesquisador vai procurando tentativamente identificar temas e relações,

construindo interpretações e gerando novas questões e/ou aperfeiçoando as anteriores, o que, por sua vez, o leva a buscar novos dados, complementares ou mais específicos, que testem suas interpretações, num processo de 'sintonia fina' que vai até a análise final."

Nestes termos, com o intuito de garantir a confiabilidade dos dados registrados nas observações, as transcrições articuladas às adaptações e complementos foram feitas imediatamente após as aulas.

4.6.2 - Questionário

O questionário¹⁶ objetivou avaliar a pertinência, influências e contribuições do texto “*A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz*” na disciplina Evolução dos Conceitos da Física. Da mesma forma, ensejou obter subsídios para implementar possíveis melhorias quanto a clareza dos conceitos abordados e estruturação de idéias.

Nesse sentido, cinco perguntas abertas e uma que combina pergunta de alternativa fixa e pergunta aberta compõem o questionário, que almejou, como enfatizado, identificar a receptividade ao texto desenvolvido junto aos alunos da disciplina Evolução no semestre de 2004/1. O questionário foi encaminhado aos alunos em sala de aula, destinando-se uma aula faixa¹⁷ para respondê-lo, com a possibilidade de finalizá-lo em casa. A fim de obter as respostas dos alunos em sua totalidade, o questionário configurou-se como um dos critérios de avaliação adotado na disciplina, tendo em vista também estimular o desempenho em suas respostas¹⁸.

Tendo em vista que o questionário pode contemplar perguntas abertas, fechadas ou perguntas que combinem essas duas características, Moreira (1985), com base em autores como Van Dalen & Meyer (1974), fazem algumas considerações acerca dessas formas de questões.

As perguntas de natureza aberta possibilitam ao respondente discorrer detalhadamente sobre aspectos que considera pertinente à questão apresentada, portanto simboliza um instrumento bastante flexível. Contudo, em virtude dessa característica, as perguntas abertas apresentam dois pontos negativos: torna-se tarefa difícil ao pesquisador estabelecer categorias de análise para sistematização dos dados e; por demandar esforço e tempo para responder, pode-se ter uma baixa taxa de retorno.

As perguntas fechadas, de natureza dicotômica, caracterizam-se pela extrema objetividade, o que por um lado facilita a organização dos dados por categorias de análise, mas por outro lado, é alvo de severas críticas por restringir as escolhas a dois posicionamentos apenas: () Sim, () Não e as vezes

¹⁶ O questionário acompanha o texto elaborado, p. 120.

¹⁷ Cada aula contemplada no módulo da óptica corresponde a uma aula faixa (duas aulas de cinquenta minutos).

¹⁸ Em síntese, com o objetivo de contornar alguns limites, como os na seqüência explicitados, acerca do uso do questionário como uma técnica de coleta de dados, optou-se pela aplicação do questionário como forma de avaliação da disciplina.

a alternativa () Não sei (constituindo-se uma pergunta tricotômica). Deve-se ter cuidado na formulação desse tipo de pergunta, para não induzir a resposta.

As perguntas fechadas do tipo eleição múltipla, dividem-se em perguntas com mostruário e perguntas de estimação ou avaliação. As primeiras são compostas por várias alternativas previamente determinadas, em alguns casos apresentam mais uma opção, 'outra` (Especifique), onde o respondente define uma categoria, por não se encaixar em nenhuma das demais. As perguntas de estimação ou avaliação exibem o grau de concordância ou discordância ou o grau de intensidade relativo aos dados que se almeja obter.

Algumas questões também podem combinar as duas formas de perguntas, aberta e fechada, a fim de minimizar os limites explicitados ao tratar apenas um tipo de pergunta.

As vantagens e desvantagens evidenciadas nos instrumentos de pesquisa em geral, sinalizam cuidados que se deve ter ao utilizar qualquer técnica de coleta de dados, a fim de garantir sua eficácia e validade nos resultados alcançados. A seguir, ilustra-se esses aspectos gerais concernentes ao questionário (Lakatos & Marconi, 1985):

Vantagens:

- Demanda pouco tempo do pesquisador;
- Atinge maior número de pessoas simultaneamente;
- O risco de distorção na interpretação das respostas é menor em virtude da não influência do pesquisador;
- Garante maior uniformidade na avaliação, tendo em vista a natureza impessoal do instrumento.

Limites:

- Porcentagem pequena de questionários que voltam;
- Grande número de perguntas sem respostas;
- Impossibilidade de ajudar o informante em questões mal compreendidas;
- Nem sempre é o escolhido que responde ao questionário, invalidando, portanto, as questões.

Conforme Lakatos & Marconi (1985, p.180), enfatizar os objetivos da aplicação do questionário constitui-se um aspecto de fundamental relevância, que deve necessariamente acompanhar as perguntas a fim de contextualizá-las e apresentar ao pesquisado o que se deseja obter.

4.6.3 - Entrevistas

'(...) não há receitas infalíveis a serem seguidas, mas sim cuidados a serem observados, e que, aliados à inventiva honesta e atenta do condutor, levarão a uma boa entrevista.'

Lüdke & André, 1986

Em função dos objetivos da pesquisa, optou-se também pela entrevista semi-estruturada como um dos instrumentos de coleta de dados, no ensejo de complementar e esclarecer possíveis lacunas deixadas pelo questionário e pelas observações em sala de aula. As entrevistas duraram em torno de 30 minutos cada. Disponibilizou-se quatro aulas (de cinquenta minutos cada) para sua realização, privilegiando alunos que trabalhavam no período diurno. Com os demais alunos, as entrevistas realizaram-se em horários extra-classe.

A escolha da entrevista semi-estruturada deve-se porque ela não apresenta uma ordem rígida para as perguntas, *'assemelha-se a uma conversa'*, diferenciando-se pelo nível de controle estabelecido pelo entrevistador no diálogo, como sublinham Mazzotti & Gewandsznajder (1998, p.168).

Por se tratar de um método de investigação situado entre uma técnica mais rígida – a entrevista estruturada - e a entrevista não estruturada centrada na *"liberdade de percurso"* na investigação, a entrevista semi-estruturada atenta para uma interação – entrevistador/entrevistado - mais flexível, porém de certa forma norteada por um esquema básico que ao se realizar pode sofrer modificações e adaptações (Lüdke & André, 1986, p.33):

"Mais do que outros instrumentos de pesquisa, que em geral estabelecem uma relação hierárquica entre o pesquisador e o pesquisado,... na entrevista a relação que se cria é de interação, havendo uma atmosfera de influência recíproca entre quem pergunta e quem responde. Especialmente nas entrevistas não totalmente estruturadas [semi-estruturadas], onde não há imposição de uma ordem rígida de questões, o entrevistado discorre sobre o tema proposto com base nas informações que ele detém e que no fundo são a verdadeira razão da entrevista."

Neste sentido, apesar da dinâmica propiciada pela entrevista semi-estruturada, Lüdke & André (1986, p.36) retratam que:

"Será preferível e mesmo aconselhável o uso de um roteiro que guie a entrevista através dos tópicos principais a serem cobertos. Esse roteiro seguirá naturalmente uma certa ordem lógica e também psicológica, isto é, cuidará para que haja uma seqüência lógica entre os assuntos, dos mais simples aos mais complexos, respeitando o sentido do seu encadeamento. Mas atentará também para as exigências psicológicas do processo, evitando saltos bruscos entre questões,

permitindo que elas se aprofundem no assunto gradativamente e impedindo que questões complexas e de maior envolvimento pessoal, colocadas prematuramente, acabem por bloquear as respostas as questões seguintes... não há receitas infalíveis a serem seguidas, mas sim cuidados a serem observados e que, aliados à inventiva honesta e atenta do condutor, levarão a uma boa entrevista.”

Alertando para o fato de que este instrumento necessita cuidados, Lüdke & André (1986, p.33) realçam para tanto, que é preciso *‘conhecer seus limites e respeitar as suas exigências’*, dada a frequência com que o entrevistador *‘antecipa e força a resposta do informante, através da própria pergunta, quase não deixando margem de liberdade de resposta, a não ser a própria confirmação (...)’*.

Nesta perspectiva, outros cuidados relevantes merecem destaque ao optar pela entrevista como método da coleta de dados, para que não se incorra em erros que invalidem as informações recolhidas:

- adequar a linguagem ao nível de instrução da amostra investigada;
- deixar o entrevistado expressar-se livremente, sem censuras;
- manter-se atento para a comunicação não-verbal (gestos, expressões, entonações,...) que pode dar indícios de uma postura do informante.

Combinada a outros instrumentos de registro de dados, a entrevista permite correções e adaptações no que concerne respostas obscuras e/ou reticentes obtidas na pesquisa, constituindo-se elemento fundamental nesta investigação, tendo em vista possíveis esclarecimentos não propiciados pelo questionário, que se constituiu o próprio roteiro da entrevista.

4.7 - Uma sondagem exploratória do texto *‘A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz’* junto a um grupo de alunos do curso de Física

Na intenção de uma investigação preliminar, submeteu-se o texto *‘A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz’* e o questionário, elaborado para avaliar a pertinência e as contribuições do texto, a uma apreciação e julgamento crítico junto a uma amostra de seis alunos do curso de Física, que já haviam cursado a disciplina Evolução dos Conceitos da Física, com o propósito de obter sugestões e observações, a fim de implementar possíveis reformulações que se mostrassem necessárias. Esta sondagem exploratória contou com dois alunos recém formados em Licenciatura em Física, aluno a (cursando o mestrado em Educação Científica e Tecnológica da UFSC) e aluno b; dois em fase final de formação, cursando Licenciatura em Física,

aluno c e aluno d; e dois Bacharéis, cursando mestrado em áreas específicas da Física, aluno e e aluno f. Com o objetivo de possibilitar uma aproximação maior à amostra, as entrevistas também se configuram de essencial relevância para esta avaliação inicial. O aluno d e o aluno f não devolveram o questionário, nesse sentido não foram considerados na pesquisa.

De maneira geral, os alunos destacaram possíveis erros de redação, sugestões para conferir maior clareza na abordagem dos conceitos da epistemologia bachelardiana, e comentários críticos sobre a disposição das seções. Contudo, nenhuma reformulação significativa foi incorporada à versão inicial do texto. Os respondentes posicionaram-se favoráveis à abordagem histórico-filosófica contemplada no texto, enfatizando a necessidade de pesquisas que resultem em materiais didáticos com propostas dessa natureza para todos os níveis de ensino.

Em virtude da escassez de textos que retratem a história da ciência, e da física em particular (articulada a uma visão clara de ciência), para o ensino em geral, os professores encontram-se desarmados, sem opção, munidos apenas dos livros e manuais que disseminam uma imagem distorcida da natureza e construção da ciência. No ensino de ciências, especificamente, os arremedos de história da ciência (que priorizam as curiosidades acerca dos cientistas, datas de nascimento e morte dos ícones da ciência, destacam as grandes invenções em seqüências cronológicas; caricaturam os episódios históricos apresentando ilustrações que reforçam descobertas acidentais e de natureza lendária); a história factual e cronológica (que enfatiza a objetividade e neutralidade da ciência, apresentada linear e cumulativamente), caracterizam a forma com que se apresenta a história da ciência¹⁹.

Os quatro alunos sinalizaram na entrevista e nas respostas ao questionário as seções '*Analogias na evolução da óptica: uma análise a partir da perspectiva bachelardiana*' e '*Analogias no ensino de ciências*' como segmentos importantes no texto, e muito interessantes do ponto de vista da disciplina Evolução dos Conceitos da Física. Destacaram que com freqüência o uso espontâneo e acrítico das analogias predomina no ensino, porque os professores desconhecem os equívocos que uma analogia não sistematizada pode gerar. Ressaltam também, que explicitar o uso das analogias na ciência pode contribuir para desmistificar o fazer científico, evidenciando que o discurso da ciência não se configura literal e estanque.

O aluno a destaca que na '*Introdução*' o texto, referindo-se especificamente às três primeiras notas de rodapé deste segmento (página 80 da dissertação), poderia contemplar uma discussão relacionando as correntes filosóficas ilustradas na teoria do conhecimento. Entretanto, afasta-se dos objetivos centrais do texto apresentar as várias vertentes filosóficas quanto à possibilidade do conhecimento, gênese do conhecimento e essência do conhecimento. Na entrevista fica claro que parte de suas sugestões estão influenciadas por suas leituras de Bunge, referencial que adota em sua pesquisa. Ressalta ainda que a sua posição epistemológica quanto à construção do conhecimento científico

¹⁹ Zanetic (1989).

caracteriza-se pela concepção cumulativa e linear, possivelmente influenciado também por Bunge. Assim, propõe que se discuta melhor que a idéia de ruptura não se associa a abandono completo, mas que há dependência entre o conhecimento anterior e o novo. Esse importante aspecto ressaltado pelo aluno a não foi incorporado ao texto, mas nas discussões em sala de aula os alunos espontaneamente ressaltaram essa questão, constituindo-se um ponto bastante discutido.

O aluno b sugere, na entrevista e no questionário, a incorporação de uma discussão mais detalhada na subseção *‘Um breve percurso ao longo da história da óptica: de Newton a Einstein’* quanto às distintas hipóteses teóricas sobre a velocidade da luz no modelo ondulatório e corpuscular, tendo em vista explicar porque, ao passar do ar para a água a velocidade da luz deveria diminuir, de acordo com a concepção ondulatória, e aumentar, de acordo com a concepção corpuscular.

Em função do desconhecimento por parte da pesquisadora de bibliografias que explorassem essas questões, não foram implementadas reformulações nesse segmento do texto. Entretanto, no decorrer das discussões na disciplina Evolução dos Conceitos da Física, concernente à implementação do texto, um aluno destacou que o exame nacional de cursos de 2000, provão do MEC, tratou uma questão específica sobre a velocidade da luz na concepção ondulatória e corpuscular da luz, propiciando subsídios teóricos para as discussões.

Ao se posicionar quanto a pertinência da abordagem epistemológica aliada ao estudo da história da física na disciplina Evolução dos Conceitos da Física, concernente à questão 1, o aluno c desenvolve uma interessante consideração nesse sentido: *‘É relevante, pelo fato que durante o curso de Licenciatura em Física aprendemos na maioria das disciplinas a teoria já formulada e o nome do cientista que a construiu, mas ficamos sem saber quais foram as dificuldades e as concepções que levaram o cientista a pensar daquela maneira. Já com a disciplina Evolução dos Conceitos da Física os graduandos têm a possibilidade de fazer uma reflexão sobre a construção do conhecimento científico e constatar que os cientistas enfrentaram vários obstáculos para construir suas teorias.’*

Um comentário do aluno e em sua resposta à questão 3, quanto à clareza com que são abordados os conceitos da epistemologia bachelardiana, ressaltado também na entrevista, refere-se ao encadeamento geral das idéias contempladas no texto:

“O texto aborda cada um desses temas [os conceitos de rupturas e descontinuidades, o erro, os obstáculos epistemológicos,...] aplicando-os na discussão de algum episódio existente na evolução da óptica, existe praticamente um capítulo dedicado a cada um destes conceitos, mas na análise de cada um é possível reparar a presença de praticamente todos os outros. Na minha opinião a abordagem é bastante clara.”

Embora não se tenha alterado significativamente o texto, as observações deste grupo de alunos, proporcionou subsídios teóricos à pesquisadora para as discussões nas aulas destinadas à implementação definitiva do texto.

4.8 - Implementação do texto *'A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz'* na disciplina Evolução dos Conceitos da Física

A aplicação do texto *'A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz'* contou com um conjunto de 8 aulas²⁰ designadas por **Módulo da história da óptica**, incluindo aulas destinadas ao questionário e às entrevistas. A metodologia utilizada seguiu o mesmo formato adotado até então na disciplina: leitura prévia dos textos e discussões em sala de aula conduzidas pela pesquisadora, tendo em vista priorizar aulas dialogadas. O professor titular da disciplina acompanhou todas as aulas, contribuindo com comentários, perguntas, suscitando discussões. A história da óptica apresentada no livro *'Origens e Evolução das Idéias da Física'* (Rocha et al., 2002) subsidiou as discussões que precederam a implementação do texto *'A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz'*. Apresenta-se a seguir, em detalhes, as aulas que compõe o Módulo da história da óptica:

AULA 1: caracterizou o estudo da história da óptica contemplado no módulo, tendo em vista: apresentar o cronograma, a abordagem metodológica, e os textos-referência das discussões; expor os pressupostos teóricos que conduziram o desenvolvimento do texto *'A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz'*; explicitar os objetivos centrais da abordagem histórico-epistemológica destacada no estudo da história da óptica; discutir as críticas da moderna filosofia da ciência à imagem empírico-indutivista da ciência; ilustrar e discutir brevemente as distintas visões da epistemologia contemporânea acerca da história da ciência; discorrer sobre a pertinência da história e da filosofia da ciência no ensino.

De maneira mais detalhada, nessa introdução à unidade da óptica, priorizou-se discorrer sobre aspectos como a origem da concepção empírico-indutivista (combatida constantemente ao longo do texto desenvolvido), com Francis Bacon, a partir da publicação do *'Novum Organum'* em 1620, como uma reação crítica a filosofia natural aristotélica, ainda largamente disseminada nas universidades européias. Ressaltou-se também aspectos gerais da moderna filosofia da ciência no que se refere às críticas encaminhadas a visão tradicional do conhecimento científico, destacando neste contexto Gaston Bachelard e a justificativa da escolha desse referencial para o estudo da óptica. A pertinência ou não da utilização da história da ciência no ensino em geral, também conduziu parte da explanação desta aula, tendo em vista as questões suscitadas por Zanetic (1989). Este último ponto é levantado na perspectiva de possibilitar uma aproximação a autores que, embora tenham uma imagem dinâmica da ciência e de sua história, não se mostram favoráveis a sua utilização no ensino; e por outro lado

²⁰ Cada aula contemplada no módulo da óptica corresponde a uma aula faixa (duas aulas de cinquenta minutos).

mencionar os vários tipos de abordagens (a factual, cronológica e anedótica; a quase-história; a pseudo-história; a reconstrução racional) da história da ciência.

AULA 2: contemplou as discussões da história da óptica apresentadas no livro *‘Origens e Evolução das Idéias da Física’* (Rocha et al., 2002) concernente aos respectivos tópicos: ‘As idéias dos gregos’; ‘Reflexão’; ‘Refração’; e ‘Difração’.

AULA 3: compreendeu as discussões da história da óptica apresentadas no livro *‘Origens e Evolução das Idéias da Física’* (Rocha et al., 2002) acerca dos seguintes assuntos: ‘Interferência’; ‘Polarização’; ‘Triunfo da teoria ondulatória e ressurgimento da teoria corpuscular da luz’; ‘O efeito fotoelétrico’; ‘Difração de elétrons’.

AULA 4: abordou cinco seções do texto *‘A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz’*: ‘Introdução’; ‘A epistemologia histórica de Gaston Bachelard’; ‘Newton e a natureza corpuscular da luz’; ‘Rupturas e discontinuidades na evolução da óptica’; ‘A história recorrente de Bachelard e as controvérsias sobre os espelhos ardentes de Arquimedes’.

AULA 5: ateve-se à discussão das seis seções seguintes do texto *‘A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz’*: ‘Um exemplo de obstáculo epistemológico na estruturação da concepção newtoniana da luz’; ‘Analogias na evolução da óptica: uma análise a partir da perspectiva bachelardiana’; ‘As novas perspectivas da ciência contemporânea à luz da epistemologia bachelardiana’; ‘Rupturas e discontinuidades na evolução da óptica’; ‘A história recorrente de Bachelard e as controvérsias sobre os espelhos ardentes de Arquimedes’; ‘A experiência da dispersão da luz branca: uma análise crítica à sua abordagem’; ‘Considerações finais’.

Utilizou-se ainda três aulas para avaliação do módulo. Segue, nas seqüência, as aulas:

AULA 6: destinou-se à aplicação do questionário encaminhado aos alunos, com o objetivo de suprir eventuais dúvidas concernente à compreensão das questões. Os alunos puderam finalizar o questionário em casa, entregando-o na aula seguinte.

AULA 7 e AULA 8: correspondeu às entrevistas. Tendo em vista que a disciplina Evolução dos Conceitos da Física foi disponibilizada no período noturno no semestre de 2004 (tanto para a licenciatura quanto para o bacharelado), destinou-se quatro aulas (de cinquenta minutos cada) para sua

realização, privilegiando alunos que trabalhavam no período diurno. Com os demais alunos as entrevistas realizaram-se em horários extra-classe.

CAPÍTULO 5 – A EPISTEMOLOGIA DE BACHELARD NO ESTUDO DA EVOLUÇÃO DA ÓPTICA: UMA APROXIMAÇÃO ATRAVÉS DE UM TEXTO NA DISCIPLINA EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS DA FÍSICA

Este capítulo apresenta o texto desenvolvido para a disciplina Evolução dos Conceitos da Física: *'A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz'*. O texto contempla uma análise da evolução das teorias físicas sobre a natureza da luz vinculada a reflexões específicas de um pensador da filosofia da ciência, Gaston Bachelard. Esta articulação está centrada essencialmente na sua obra *'A Atividade Racionalista na Física Contemporânea'* (Bachelard, 1975), e a história da óptica apresentada no livro *'Origens e Evolução das Idéias da Física'* (Rocha et al., 2001). Nesta perspectiva, o texto objetiva:

- propiciar uma visão crítica da evolução da óptica à luz da epistemologia histórica de Bachelard;
- Ilustrar, a partir do exemplo da óptica, um diálogo efetivo entre a história e a filosofia da ciência;
- Articular a trajetória histórica da óptica a conceitos centrais da epistemologia bachelardiana, dando ênfase aos períodos de descontinuidade no avanço dessa ciência; a importância do erro, no sentido de que um conhecimento se dá contra outro; ao novo conceito de verdade, de natureza provisória; a necessidade da superação dos obstáculos epistemológicos; a noção de recorrência histórica; o papel das analogias na ciência e no ensino, e a nova visão da Física Contemporânea, evidenciando a construção do objeto científico e a dialética entre a razão e a experiência;
- Desmistificar a imagem tradicional da natureza e construção do conhecimento científico, amplamente presente no ensino médio e universitário;
- Motivar e estimular a formação e o desenvolvimento do pensamento crítico-reflexivo no que concerne a compreensão da atividade científica.

A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz

5.1 - Introdução

“Vou agora contar uma história que tem por cenário um campo florido com alguns arbustos e muitos insetos. Uma borboleta e um gafanhoto discutem animadamente sobre um galbo. Ela diz:

- *A essência da vida é a transformação!*

E ele retruca:

- *Não acredito em mudanças radicais.*

Ambos argumentam sobre suas convicções, que têm raízes nas suas vidas, ligando-se a processos de desenvolvimento.

- *Eu rastejava e só pensava em coisas práticas: alimentação, sobrevivência. Só prestava atenção às folhas que me interessavam. Defendia-me venenosamente de quem se aproximava, acreditando que a melhor defesa é o ataque. Achava ridículo os seres esvoaçantes que amam as flores, sem saber que eles eram minha origem e meu fim.*
- *E qual é o problema de ser prático, alimentar-se, crescer? Por que não buscar apenas as folhas que servem como alimento? Sempre fui assim e continuo sendo. Gosto de ser objetivo.*
- *A diferença é poder voar!*
- *Conheço uma traça devoradora de livros. Quanto mais se alimenta, mais cresce, mas jamais cria asas. Eu não sou assim. Também criei asas e posso voar. Mas não modifiquei minha essência. Eu me aperfeiçoei, fiquei mais forte. Se aqui faltar alimento, minhas asas me transportarão a um lugar melhor.*
- *Sempre em busca de alimento? Teu vôo só serve para ter coisas materiais?*
- *E o que mais importa nesta vida? Acaso não procuras flores para te alimentar?*
- *As flores me dão alimento, mas também o perfume. Não vou a elas só pelo néctar. Elas são lindas e me dão prazer por ser quem sou. Gosto do colorido das minhas asas e sonho ser uma flor levada pelo vento. O vôo à luz do sol e a procura do amor são vitais para mim.*
- *Para que serve a beleza? Tuas asas são frágeis. Logo vão se despedaçar. Tua vida é breve.*
- *Não importa o tempo e sim a intensidade.*
- *Tu me surpreendes. O tempo é fundamental. Não compreendo o que dizes.*
- *Pensando bem, é uma perda de tempo estarmos discutindo.*

Um cascudo preto, próximo a um monte de estrume, chamou a ambos. Eles desceram do galbo onde conversavam – o gafanhoto com um salto e a borboleta num vôo suave. Nenhum deles percebeu o louva-a-deus decepcionado que tinha acabado de perder uma presa e os olhava lá de cima.

O cascudo tinha ouvido toda a conversa e manifestou sua opinião:

- *É possível mudar radicalmente, sim, mas isto não é uma maravilha e eu sou a prova disto. Eu tinha vida tranqüila como a larva que se nutre da seiva de raízes. Também me transformei. Criei asas. Mas não busco beleza, cores, perfume. Eu me alimento de fezes. A luz me atrai, mas queima as minhas asas. Desde que nasci, só penso em saciar a fome e qualquer inseto me serve, desde que esteja vivo. Posso fazer qualquer de vocês passar por uma transformação, ao digeri-los e torná-los parte de mim.*

Enquanto isto, o gafanhoto, feliz e auto-suficiente, despediu-se e saiu saltitando na grama. A borboleta perguntou ao cascudo se ele queria acompanhá-la e ver uma flor desabrochando, mas ele preferiu enfiar-se de novo no estrume. Então ela voou. E o louva-a-deus, silencioso e dissimulado, continuou à espera de outro inseto.

Cada um deles permaneceu coerente com a sua própria natureza coexistindo sem conviver no mesmo campo florido.”(Borges, 1996)

Algumas discussões acerca da gênese e desenvolvimento da ciência podem ser iniciadas refletindo sobre a história acima contada.

A análise da evolução do pensamento científico revela uma história da ciência permeada por controvérsias entre historiadores, filósofos e cientistas (que se interessam pela história da sua ciência). As distintas interpretações envolvidas evidenciam concepções de ciência divergentes, muitas vezes justificada pela postura epistemológica assumida: visão de como conceitos, idéias e teorias se desenvolvem. A autora do conto assinala esta característica através de sua metáfora do jardim florido, destacando que:

“Seria muito reducionista descartar algumas idéias por serem incompatíveis com a nossa visão de mundo. É importante tentar entendê-las sob o ponto de vista de quem as formulou. Como pensaríamos se fôssemos um daqueles insetos, ou outro sucessivamente? Com qual deles nos identificaríamos mais? Como encaramos as transformações nas teorias e métodos das ciências?...”

Nesta perspectiva, não se deve perder de vista que os fatos históricos, no campo científico ou em qualquer outro, são fruto de uma história contada e que carregam por isso a imagem de ciência assumida pelo autor: empirista²¹, racionalista²², realista²³... Não há uma versão única, neutra da origem e desenvolvimento do conhecimento científico:

Todo relato histórico é resultado de uma interpretação. Como ressalta Zanetic (1989), a partir do historiador inglês E. H. Carr, “(...) a história não está disponível ao historiador nos documentos, nas inscrições e assim

²¹ Premissa fundamental dessa corrente filosófica: o conhecimento verdadeiro e confiável advém da observação livre de pré-concepções.

²² Escola filosófica que imprime unicamente à razão o papel de conduzir o pensamento ao conhecimento científico.

²³ Escola filosófica na qual se enquadra o empirismo. Pressuposto básico: o conhecimento científico reflete fielmente a realidade do mundo natural.

por diante, como os peixes na tábua do peixeiro...”. A história construída pelos historiadores positivistas²⁴ “pressupõe uma separação completa entre sujeito e objeto (...) a convicção num núcleo sólido de fatos históricos que existe objetiva e independentemente” constitui-se uma crença falaciosa (p. 107- 108).

No curso de Licenciatura e Bacharelado em Física da Universidade Federal de Santa Catarina, a disciplina Evolução dos Conceitos da Física tem como objetivo central analisar histórica e epistemologicamente os desenvolvimentos conceituais das teorias físicas, desde os gregos até o presente.

O programa da disciplina explicita, com clareza, os conteúdos a serem trabalhados:

a) A evolução da cosmologia e da mecânica (Cosmologia na Grécia Antiga; A astronomia ptolomaica; A astronomia e a mecânica na Idade Média; A inovação copernicana; As contribuições de Brahe, Kepler, Galileu e Descartes; A síntese newtoniana e a visão de natureza; As críticas à mecânica newtoniana: de Berkeley a Mach; As teorias da relatividade e cosmologia moderna);

b) A evolução das idéias sobre luz, eletricidade e magnetismo (Teorias sobre luz e visão: de Platão a Descartes; Os modelos corpuscular e ondulatório para a luz; A eletricidade como fluido; Os campos elétrico e magnético; A luz como onda eletromagnética; O efeito fotoelétrico e a dualidade onda-corpúsculo);

c) A evolução das idéias sobre calor e constituição da matéria (O calor como fluido; Calor, termodinâmica e conservação da energia; A teoria cinética da matéria e a mecânica estatística; A estrutura dos átomos e a física quântica).

Assim, esta disciplina deve possibilitar uma reflexão-crítica acerca da natureza e construção do conhecimento científico. A moderna filosofia da ciência é indispensável para este fim.

Este texto objetiva propiciar um estudo crítico-reflexivo de um segmento da disciplina Evolução dos Conceitos da Física à luz de um filósofo que reflete sobre o dinamismo da ciência, sua gênese e desenvolvimento, priorizando as constantes transformações e metamorfoses veiculadas a esta atividade. Nesta perspectiva, promoveu-se a articulação entre a trajetória histórica da óptica, ilustrada no livro “*Origens e Evolução das Idéias da Física*” (Rocha et al., 2002), e as idéias de Gaston Bachelard, apresentadas na sua obra “*La Actividad Racionalista de la Física Contemporânea*” (1975).

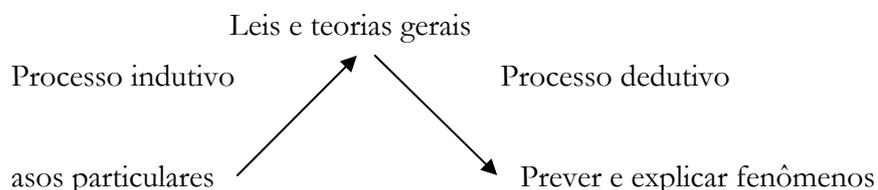
Caracterizar a ciência, sua natureza e construção, não é tarefa fácil, tendo em vista o dinamismo desta prática. A moderna filosofia da ciência, a partir da década de 30, evidencia justamente os traços presentes no conhecimento científico, como o pluralismo teórico, multiplicidade de idéias, explícitos na cultura científica contemporânea.

Para Bachelard e outros epistemólogos contemporâneos é consensual a insuficiência da concepção empírico-indutivista em fundamentar a atividade científica. Trata-se de uma perspectiva muito limitada e por isso questionável conceber que a base da pesquisa científica está na observação

²⁴ Positivismo: escola de pensamento que tem sua raiz na concepção empírico-indutivista.

neutra, seguida da coleta de dados, comprovação experimental, formulação de leis e teorias gerais obtidas a partir de casos particulares, de caráter explicativo e preditivo.

Segundo Chalmers (2000, p.28), é possível sintetizar a visão empírico-indutivista de acordo com o seguinte esquema:



O lado esquerdo da figura diz respeito à derivação de leis e teorias científicas a partir da observação de casos particulares: processo indutivo. O lado direito refere-se à derivação das conseqüências (explicações e previsões) a partir das leis e teorias científicas: processo dedutivo.

Embora criticada no domínio da filosofia, esta imagem deformada do trabalho científico está largamente difundida na esfera escolar, tanto no ensino de ciências em geral, quanto no ensino de física, em nível médio e universitário, em particular. Este fator revela a pertinência de explorar esta discordância entre o que realmente se pode afirmar da ciência e o que efetivamente intervém e se transmite na prática da sala de aula.

Em contrapartida a esta concepção estrita e fechada, a imagem contemporânea da ciência revela que a observação pressupõe uma carga de concepções prévias e expectativas teóricas, contrariamente a sua suposta neutralidade e objetividade.

A imagem da relação entre o cientista e a natureza não está encerrada em uma objetividade indiscutível e absoluta, alheia à filosofia, emoções, poesia, religião, quimeras, portanto esta idéia parece ser produto de uma fábula mal contada. As influências sobre a prática científica retratam *“um trabalho humano, (...) uma atividade intelectual que é psicológica e socialmente condicionada.”* (Thuillier, 1994)

Não é simples pensar sobre a ciência, se ela possui um método, o que a determina e quais as suas implicações. O que se pode afirmar é que ela não está fadada a uma visão cumulativa, descontextual, neutra, ou seja, positivista. A ciência está submetida a trocas entre sujeitos que criam e são criados por seu entorno social, por limitações econômicas, imposições tecnológicas muitas vezes fora do controle do cientista.

Entre os personagens críticos à imagem tradicional da ciência, concernente ao cenário filosófico, encontram-se: Gaston Bachelard (1884-1962), Thomas S. Kuhn (1922-1996), Imre Lakatos (1922-1974), Karl Popper (1902-1994), Paul Feyerabend (1924-1994).

Constitui-se uma imagem comum entre cientistas e pesquisadores em tecnologia tachar os estudiosos do campo da filosofia da ciência de *‘sonhadores e estudiosos do vazio’*, representando verdadeira

resistência à reflexão filosófica, em virtude principalmente da *'idéia de que os filósofos da ciência não conhecem ciência'*. Contudo, estes estudiosos vêm muitas vezes da pesquisa científica, engajando-se no estudo da história de sua ciência (Tuffani, 2002, p.78). Bachelard tem uma sólida formação em Química, Física e Matemática; Kuhn e Feyerabend são físicos; Lakatos é matemático.

Apesar da incisiva e contundente crítica da moderna filosofia da ciência aos pressupostos defendidos pelos empiristas, esta postura ainda está largamente disseminada no espaço escolar, tanto na visão de professores quanto nos próprios livros didáticos, repercutindo significativamente na compreensão dos alunos acerca da natureza do trabalho científico.

Logo, deve-se pensar melhor acerca da formação dos professores no ensino de ciências para que não reproduzam em sala de aula uma imagem inadequada e mesmo incorreta da ciência. Por outro lado, os futuros pesquisadores (bacharéis) nas áreas de ciências, responsáveis pelo processo de crescimento da ciência, devem ter consciência de suas próprias práticas, assimilando-a de forma aberta e criativa (Staub & Peduzzi, 2003a; Staub & Peduzzi, 2003b).

Mesmo com um bom número de pesquisas que abordam estas questões, seu esgotamento está longe de se constatar, pois, se por um lado as discussões de cunho epistemológico avançam no âmbito da filosofia, o ensino das ciências naturais, tanto em nível médio como universitário, se vê muito afastado dessas reflexões.

Este cenário acarreta desafios no sentido de um ensino mais atento para uma visão realista e humana da prática do cientista, que pode ser norteadada pela seguinte reflexão, suscitada por Pérez et al. (2001):

Faria sentido pensar que, tendo nós uma formação científica (Biologia, Física, Química, Geologia, ...) e sendo nós professores de ciências, deveríamos ter adquirido – e, portanto, estaríamos em situação de transmitir uma imagem adequada do que é a construção do conhecimento científico?

5.2 - A epistemologia histórica de Gaston Bachelard

Gaston Bachelard foi um dos primeiros filósofos contemporâneos a tecer críticas à imagem tradicional da ciência, a visão empírico-indutivista. Soma-se às suas preocupações com a formação do espírito científico a educação, que em seus escritos também é valorizada, embora não destine nenhuma obra específica as questões da dimensão escolar.

Bachelard diferencia-se de outros filósofos da ciência por dedicar parte de sua vida ao ensino de ciências. Atuou como professor durante quinze anos: em 1912 licenciou-se em matemática, mais tarde ingressou no ensino secundário ministrando aulas de filosofia, química e ciências. Em 1927 passou a

trabalhar como professor de história e filosofia da ciência na Universidade de Dijon e depois na Universidade de Sorbonne. Desta forma, não é de estranhar que as questões educacionais estejam presentes constantemente em seu pensamento, uma vez que refletem uma ação crítica sobre sua prática pedagógica.

Preocupado com a desatualização da filosofia em relação a ciência de seu tempo (período em que, no âmbito da física a Teoria da Relatividade e a Mecânica Quântica se estruturam), Bachelard (1975, p.8) explora em suas idéias os novos rumos do conhecimento científico e o constante trabalho de reforma presente nesta prática.

A epistemologia histórica de Bachelard salienta que a ciência se desenvolve por descontinuidades. Rompe com o saber sedimentado. Avança por marchas e contramarchas, idas e vindas, descrevendo uma trajetória sinuosa, que nada tem de linear. Um novo conhecimento sempre se estabelece implicando um 'corte' em estruturas conceituais passadas, de maneira alguma caracterizando-se cumulativamente.

Neste permanente processo de construção e desconstrução do saber, o erro assume papel fundamental, porque é visto de maneira positiva, componente inerente à ação de conhecer. A constante retificação do erro e de vícios do pensamento promovem o avanço da ciência. Bachelard designa de vícios do pensamento, no âmbito da ciência, idéias que se incrustam na atividade do cientista impedindo-o de prosseguir; em geral referem-se a conceitos mal pensados, baseados apenas na opinião. São comumente conhecidos por obstáculos epistemológicos.

O valor do estudo histórico da ciência, para Bachelard (1999), é inegável:

“Sem dúvida, seria mais simples ensinar só o resultado. Mas o ensino dos resultados da ciência nunca é um ensino científico. Se não for explicada a linha de produção espiritual que levou ao resultado, pode-se ter certeza de que o aluno vai associar o resultado a suas imagens mais conhecidas.”

Contudo, conforme Bachelard (1975, p.33), o estudo da história da ciência deve repousar sobre a análise crítica. A filosofia da ciência nasce, neste sentido, de uma história da ciência questionada. Para que se compreenda uma trajetória evolutiva do conhecimento científico deve-se pensar e refletir sobre ela, *“trata-se, com efeito, de mostrar a ação de uma história julgada, de uma história na qual se deve distinguir o erro e a verdade, o inerte e o ativo, o danoso e o fecundo”* do pensamento científico:

“Vemos então a necessidade educativa de formular uma história recorrente,... uma história que parte das certezas do presente e descobre, no passado, as formações progressivas da verdade.”
(Bachelard, 1975, p.35)

Bachelard (1975) analisa aspectos da evolução da óptica em sua obra “*A Atividade Racionalista na Física Contemporânea*” objetivando uma aproximação à realidade da pesquisa científica, articulando a reflexão crítica aos debates concernentes à gênese e desenvolvimento dessa ciência, principalmente no que concerne às novas perspectivas do racionalismo contemporâneo presente nas bases da Mecânica Quântica (a natureza dual da luz e do elétron).

O racionalismo a que se refere Bachelard está associado às novas teorias do século XX (no campo da física: Teoria da Relatividade e Mecânica Quântica), distinguindo-se do racionalismo clássico que sustenta a razão como fonte essencial do conhecimento. Bachelard designa por racionalismo dialético a postura acerca da pesquisa científica contemporânea, que encontra no diálogo constante entre razão e a experiência, seu maior e mais sólido pilar.

Os conteúdos explorados nas próximas seções pretendem contribuir para uma aproximação da evolução da ciência óptica a reflexões filosóficas, conjugando e articulando conceitos específicos do referencial bachelardiano à esta trajetória histórica, com o intuito de propiciar uma investigação crítica da natureza e desenvolvimento do trabalho científico. Entre eles, pode-se destacar: uma breve discussão sobre a concepção newtoniana concernente a natureza da luz; as rupturas e descontinuidades evidenciadas na evolução da óptica; a recorrência histórica e as controvérsias sobre a possível façanha de Arquimedes com os espelhos ardentes; um exemplo de obstáculo epistemológico na estruturação da concepção newtoniana da luz; analogias nos estudos da dupla refração; implicações dos recursos analógicos no ensino de ciências; a nova visão da física moderna, evidenciando a dialética racionalismo-empirismo e o valor fundamental do instrumental técnico no domínio quântico; e algumas considerações críticas concernente à abordagem da experiência da dispersão da luz branca.

5.3 - Newton e a natureza corpuscular da luz

Será que se pode afirmar um Newton rígido, defensor ferrenho e inflexível da teoria corpuscular da luz?

A inexpressiva ênfase conferida às discussões sobre as concepções teóricas newtonianas no que diz respeito à natureza da luz, por livros didáticos, afasta-se do real debate de filósofos, e também de historiadores da ciência, mascarando as distintas posturas desses autores, concernente à compreensão de Newton sobre as propriedades da luz (Schemberg, 1985; Rocha et al., 2002).

O fenômeno de difração descoberto por Grimaldi, a partir das observações da passagem de luz por um orifício, suscitou o interesse de Newton que realizou essa experiência detalhadamente, relatando os resultados na sua obra ‘*Óptica*’ (2002). Contudo, a teoria corpuscular era insuficiente para

expressar este novo comportamento da luz, demandando maiores estudos. Alerta para este fato, Newton depara-se, então, com os seguintes questionamentos:

Como é possível, no exemplo da difração, um feixe de partículas, ao incidir sobre uma barreira com uma fenda estreita, deixar passar apenas uma parte do feixe e a outra não? O que determina esse comportamento? Por outro lado, o que faz a luz, formada por partículas infinitamente pequenas e de **mesma natureza**, de acordo com a teoria corpuscular, ora se refletir, ora se refratar quando incide sobre uma superfície de separação entre dois meios? E nesta mesma ocasião, o que faz a luz refratada refletir-se e transmitir-se novamente quando em contato com outro meio?

Apesar de entender a luz como constituída por partículas com distintos tamanhos, para Newton elas não diferiam em termos de propriedades, não podendo justificar esses fenômenos a partir desse pressuposto. Que aspecto então poderia veicular-se à luz para explicar estas observações?

Para o físico brasileiro Mário Schemberg (1985), mencionado por Rocha et al. (2002, p.227), Newton não rejeitava por completo o aspecto ondulatório, em virtude das evidências empíricas acima mencionadas, acreditando na sua existência, no entanto, a prevalência do aspecto corpuscular, era, para ele, incontestável:

“O homem era terrível, porque achava que de alguma maneira o aspecto corpuscular deveria ser o mais importante. Dizia que havia o aspecto ondulatório, sem dúvida, mas, de certo modo, a luz deveria ser composta de partículas. Isto é o que nós pensamos hoje em dia, que a luz é composta de fótons, o que não quer dizer que eles não tenham propriedades ondulatórias. Newton teve ainda a intuição de que a existência de fenômenos de difração por uma fenda estaria ligada a um “acesso” do corpúsculo de entrar ou não pela fenda. Não sei se já existia a palavra probabilidade, mas ele usou a palavra inglesa fits. A partícula tinha fits e podia ir para um lado ou para outro. Ele achava que havia ainda outros aspectos não bastante esclarecidos, que deviam estar ligados a alguma coisa, um certo meio, que seria o éter.”

Ao analisar aspectos da evolução da óptica em seu livro “*A Atividade Racionalista na Física Contemporânea*”, Bachelard (1975, p.48) ressalta que “*é sobretudo a teoria das ‘sucessões’ produzidas pelos acessos alternativos de fácil reflexão e de fácil transmissão o que marca a óptica newtoniana com um valor transaccional* entre as teorias corpusculares e as teorias ondulatórias*”. Neste sentido, estas idéias (de fácil reflexão e fácil refração da luz e os “*acessos de entrar ou não pela fenda*”) assumidas por Newton, apontam indícios de uma sensibilidade à característica dual da luz. Tendo em vista os “acessos” da luz, Newton explica a refração e a difração como conseqüência de uma espécie de mudança de estado físico da luz, dando origem, deste modo, a alternância de comportamento (Bachelard, 1975).

Newton acentua o caráter corpuscular da luz, mas, como denota Bachelard (1975, p.49), as intuições ondulatórias não lhe são alheias: *“a óptica de Newton é corpuscular em sua imagem mais simples e pré-ondulatória em sua teoria mais sábia”*.

As sutilezas históricas às vezes ocultam os impasses e as divergências de idéias, conduzindo o pensamento a equívocos quanto à forma com que a ciência se desenvolve: que se configura em um quadro muitas vezes confuso e cheio de contrastes.

* Segundo Bachelard, a teoria corpuscular newtoniana possui uma intuição ondulatória, por isso ele a concebe com um valor transaccional.

5.4 - Rupturas e Descontinuidades na Evolução da óptica

5.4.1 - Do mundo físico grego ao século XVII: sobre os mecanismos da visão e a natureza da luz

É possível considerar as primeiras reflexões relativas a formação de imagens e a visão, que se estabelecem no domínio filosófico entre as concepções gregas, como precursoras das teorias corpuscular (Newton) e ondulatória (Huygens) da luz? Em uma perspectiva mais geral: o conhecimento atual pode ser analisado como a forma adulta de concepções embrionárias existentes em épocas passadas?

De acordo com Sambursky (1990), no mundo grego começa a se desenvolver, aproximadamente no século III a.C., inicialmente na Grécia, duas teorias físicas de natureza distinta. De um lado, a teoria atômica, de Leucipo e Demócrito, e do outro, uma criação original dos estoicos, que está associada principalmente aos nomes de Zenon, Crisipo e Posidônio. A pedra angular da física estoica é a concepção de continuidade do espaço, da matéria e continuidade na propagação.

A originalidade da teoria do contínuo é da escola estoica, que em sua raiz diferencia-se por atribuir ao meio qualidades ativas, consistindo em um princípio regulador de todos fenômenos físicos do cosmos. A essa substância ativa, combinação de ar e fogo (justamente porque estes elementos estão cheios dessa propriedade ativa, o calor), responsável por unir e encadear em um todo único e dinâmico o cosmos denominou-se ‘pneuma’, termo grego que significa ‘espírito’ ou ‘alento’. O ‘pneuma’ penetra todas as substâncias e preenche todo espaço vazio, possui uma capacidade extraordinária de coesão e conexão das coisas para que não se desintegrem, devido as qualidades tensoras que possui.

As propriedades elásticas do ar, sua compressibilidade, a força expansiva do vapor, proveniente do fogo, exprimiam razões físicas para esta primazia dada ao ar e ao fogo; no âmbito da biologia, por

outro lado, as razões eram 'óbvias', dado o reconhecimento de que os processos térmicos eram indissociáveis da vida orgânica, essencialmente no que diz respeito ao crescimento e desenvolvimento biológico.

Assim, é possível perceber que a idéia de 'pneuma' rendeu frutos para as explicações gregas não apenas acerca do mundo natural, mas também as concepções biológicas no que se refere ao que determinava e do que dependia, por exemplo, a existência da vida. De acordo com Sambursky (1990, p.158) *'as funções dinâmicas do fogo e do ar foram estendidas para abarcar todos os fenômenos naturais'*. A suposição dos estóicos era de que os seres vivos estavam impregnados deste princípio vivo, dinâmico e 'regulador' do universo, o 'pneuma'. As variações na sua combinação (de ar e fogo) propiciavam sua ligação a diversidade dos reinos orgânico e inorgânico, ao mundo físico em geral, associando-se, no primeiro caso, diretamente a alma, ou seja, ele é entendido como um tipo de matéria primordial similar a alma.

Estas idéias, em princípio, parecem irrelevantes para os estudos gregos da óptica, aqui suscitados inicialmente. Contudo, para uma imagem mais completa do cenário teórico no qual se consolidaram as convicções gregas sobre os mecanismos da visão, e igualmente sobre o que é a luz, a pertinência destas questões é primordial no seguinte sentido: o legado dos estóicos repercutiu em investigações acerca da propagação da luz em um meio contínuo, o 'pneuma', permitindo um contraponto com os atomistas.

De um lado encontram-se os atomistas, que sustentam o caráter descontínuo da matéria, entendendo, desta forma, que a luz é composta por átomos sutis, arredondados e velozes, e a existência do vazio, necessário para o movimento, inclusive. A visão é possível em virtude de um fluxo de partículas emanado do objeto que apenas é assimilado pelos olhos. Neste fluxo de partículas, átomos dispõem-se em grupos formando 'imagens em miniatura', os 'simulacros', identificadas pelas estruturas dos olhos.

Por outro lado, a física do contínuo concebe que se o ar é agitado por um impulso, dada sua natureza uniforme, sem espaços vazios, é capaz de propagar o sinal. Assim, *'ouvimos porque o ar que se encontra entre a voz e o que escuta é golpeado e se expande em ondas esféricas que alcançam nossos ouvidos, de maneira igual as ondas que se expandem em círculos em um tanque perturbado pelo lançamento de uma pedra'* (Sambursky, 1990, p. 164). Nesta perspectiva, a visão é propiciada pela luz que sai da alma do observador, se propaga por todo o corpo através do 'pneuma' que o preenche, até chegar ao olho. De lá, a luz perturba o ar, propagando-se até o objeto de interesse. A imagem se forma pela luz que do objeto se expande novamente em direção ao olho, que a retransmite para alma, através do 'pneuma' (Peduzzi, 2004).

Sem mencionar os estóicos, Rocha et al. (2001) destaca que escolas de pensamento com distintas explicações sobre os mecanismos da visão e o que vem a ser a luz se instalam no âmbito

filosófico, polarizando as concepções dos filósofos da Antiguidade Clássica: de um lado ressalta as concepções pitagóricas, platonistas e de Demócrito; e do outro a concepção aristotélica.

A vertente pitagórica acredita que a imagem se forma devido a um fluxo visual emanado pelo olho; os platonistas atribuem a sensação da visão ao encontro dos feixes luminosos emanados do objeto e dos olhos; Demócrito concebe a visão como fruto de raios emitidos pelos objetos, que ao atravessarem os olhos mobilizam suas estruturas propiciando a visão; prevalece entre essas convicções a idéia da característica corpuscular da luz. Por outro lado, a concepção aristotélica dos fenômenos luminosos veicula a formação das imagens à vibração de um meio que sensibiliza parte do olho, proporcionando a visão.

Apesar da ênfase do autor às concepções de Aristóteles sobre a formação das imagens, embasado na referência de Rosmorduc (1983), Sambursk (1990), especialista na ciência grega, sinaliza em sua obra *'O mundo físico dos gregos'* que a escola estóica é responsável pelas investigações acerca da propagação do som e da luz, sobre bases extraídas de suas próprias convicções de mundo: a idéia do contínuo. Segundo Sambursky (1990), Aristóteles em seu livro *'De Anima'* discute o fenômeno do som, mas em nenhuma parte menciona como se propaga. Os estóicos foram os pioneiros neste sentido, inclusive originais na analogia clássica das ondas na água.

Bassalo (1990, p. 555), em sua obra *'Crônicas da Física'*, discute as idéias gregas sobre os fenômenos luminosos orientadas por uma questão básica: a luz vem dos objetos que vemos, sai de nossos olhos para os mesmos ou resulta de um misto destas alternativas? O encanto e fascínio guia alguns filósofos gregos a investigações sobre o que deve *'existir no espaço compreendido entre os nossos olhos e o objeto que vemos'*. As concepções de Pitágoras e Platão discutidas por este autor divergem das mencionadas por Rocha et al. (2002). De acordo com Bassalo, há controvérsias em relação a hipótese pitagórica sobre o entendimento da visão: para Ditchburn (1978; apud Bassalo, 1990, p.556) as imagens se formam devido a um fluxo visual emitido pelos olhos; por outro lado, conforme Hoffmann (1981; apud Bassalo, 1990, p.556), postura adotada por Bassalo, para a doutrina pitagórica, os raios luminosos têm sua origem no objeto, este fluxo se desloca até alcançar os olhos, da mesma forma que alguns astros, as chamas do fogo e os vaga-lumes. Quando trata a hipótese de Platão, o autor acrescenta um terceiro raio (além do visual, e do proveniente do objeto) necessário a visão, vindo das fontes iluminadores (Sol, lâmpada,...), explicando desta forma por que não é possível enxergar no escuro, divergindo também de Rocha et al. (2002).

Parece, em princípio, simplista demais entender as idéias físicas do mundo grego como os embriões teóricos que fizeram germinar a teoria ondulatória (Huygens) e corpuscular (Newton) da luz, por razões bastante claras: como se pode evidenciar, as explicações dadas a visão e ao que vem a ser a

luz, tanto pelos atomistas quanto pelos estóicos, estavam fundamentadas de acordo com filosofias de mundo.

Quando as discussões relacionadas aos fenômenos luminosos alcançam o domínio científico, a partir do século XVII, estão vinculadas a outro cenário histórico, caracterizado por novas idéias sobre o universo, ou seja, uma concepção de mundo, sinalizando descontinuidade no avançar do conhecimento científico.

As primeiras concepções teóricas que se firmam no século XVII, sobre a luz e a visão, se estabelecem entre Descartes e Fermat. Para demonstrar a lei da refração, Descartes, em 1637, partindo da teoria corpuscular, infere de seus estudos que a velocidade da luz deveria ser maior em meios mais densos (mais refringentes). Já Fermat, em 1661, com base no *'postulado do tempo mínimo'*, chega a um resultado contrário, de que a luz em meios mais refringentes tem menor velocidade. As divergências entre as duas concepções teóricas (conflitantes), objetos de controvérsias, cresce com os trabalhos de Huygens (teoria em concordância com Fermat) e Newton (teoria de acordo com Descartes).

A filosofia tradicional da ciência interpreta a evolução histórica da cultura e do conhecimento a partir da imagem de um progresso contínuo. Essa crença difunde a imagem de que conceitos, idéias e teorias se desenvolvem como o desenrolar de um romance, os conhecimentos de forma gradativa somam-se uns aos outros sem respeitar seus distintos contextos de origem. Lopes (1996a, p.255) ressalta que segundo esta visão *“as idéias atuais são entendidas como pré-existentes de forma embrionária em épocas anteriores”*. De acordo com Lopes (1996a, p.256):

“Em síntese, os continuistas não analisam o pensamento filosófico inserido em sua cultura, com pressupostos e visões próprias de mundo, porque interpretam a cultura como um todo monolítico, história cumulativamente contada, na qual há formulações de infância e de vida adulta. Insistem em ver todo acontecimento do passado como uma preparação dos acontecimento do presente.”

Nesta perspectiva, os saberes que constituem uma ciência, como a física, por exemplo, refletem uma construção estabelecida sobre uma única racionalidade, e domínios teóricos de natureza distinta manifestam a *“existência de um fio condutor de influências ao longo da história”*.

Entretanto, o cenário no qual se configuram as disputas acerca dos mecanismos da visão (entre as concepções gregas) e da natureza da luz (entre Descartes e Fermat no século XVII) é essencialmente antagônico para Bachelard (1990; 1999), defensor das rupturas no caminhar da ciência.

De acordo com esta postura descontinuista, a antiguidade clássica contempla ideais frontalmente dissonantes dos que constituem o contexto da ciência moderna: as concepções de mundo estão veiculadas a domínios de natureza distinta, agregados a pressupostos radicalmente antagônicos.

As revolucionárias e expressivas mudanças ocorridas no século XVII, em virtude da origem da ciência moderna, desencadeiam alterações profundas na compreensão da natureza, organização social e prática científica.

A tendência do pensamento clássico é dar primazia à construções teóricas que preferenciam explicar a totalidade dos fenômenos do mundo natural, apoiando as interpretações na evidência sensível, fundamentalmente. Por outro lado, a ascensão das ciências matemáticas sobre as considerações e exame da natureza, articulada ao experimentalismo, ilustram o nascimento de uma nova *'imagem de natureza'* (Abrantes,1998; Henry, 1997).

5.4.2 - Um breve percurso ao longo da história da óptica: de Newton a Einstein

Pode-se dizer que há um fio condutor que vincula as várias nuances do desenvolvimento da óptica em um contínuo e linear entrelaçamento de idéias? Supor assim, que oscilações entre a teoria corpuscular e a teoria ondulatória da luz vivenciadas pela comunidade científica, no percurso de Newton à Einstein, não caracterizam marchas e contramarchas, mudanças de visão, pressupostos e convicções teóricas no que se refere às propriedades da luz? Principalmente em virtude de evidências experimentais como os fenômenos de interferência, difração, e o efeito fotoelétrico?

Mesmo com a descoberta de fenômenos que salientavam as propriedades de onda da luz, em meados do século XVII, como a difração (1665), a interferência (1665) e a polarização (1667), a teoria corpuscular predominou durante todo o século XVIII.

A experiência da fenda dupla de Young, realizada em 1801 (fig.1), obtém as figuras de interferência luminosa em um anteparo e mede o comprimento de onda da luz, constituindo-se forte componente para o fortalecimento da hipótese ondulatória, responsável assim, por consolidar sua maior aceitação, que culmina com as experiências de Airy, Foucault, e Fizeau.

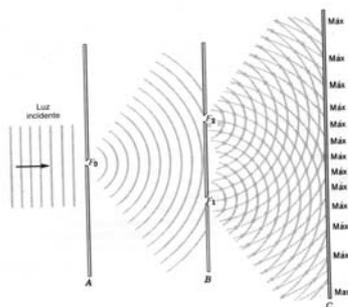


Fig 1. Na experiência de interferência de Young, a luz difratada em um orifício circular F_0 incide sobre os furos F_1 e F_2 na tela B. A luz difratada por esses dois furos superpõe-se sobre a tela C, produzindo uma figura de interferência. (Halliday et al., 1996, p.59)

As experiências realizadas por Airy (1833) referente ao fenômeno de interferência, e, fundamentalmente, as de Foucault e Fizeau (1850), que medem a velocidade da luz em meios mais densos que o ar, se configuram essenciais para corroborar as premissas teóricas de Huygens: para a teoria ondulatória, o efeito das cores em uma placa delgada após a incidência de um feixe de luz era consequência da interferência da luz refletida pelas superfícies da placa; a velocidade da luz, pelas previsões teóricas do modelo ondulatório, seria menor em meios mais densos, pressupostos contrários aos da concepção corpuscular. O êxito da concepção ondulatória serve de base para o trabalho de Maxwell.

A maior aceitação da teoria ondulatória face ao declínio da teoria corpuscular da luz (Newton) simboliza um descompasso neste percurso histórico, marcando um momento de ruptura na forma de pensar a natureza da luz.

Uma das contribuições fundamentais da epistemologia histórica de Bachelard é a primazia conferida ao permanente processo de reconstrução do saber científico, o traço descontinuista da razão. A ciência é expressão de contínuas reformas: um novo pensamento sempre desencadeia um rompimento com estruturas conceituais solidamente firmadas.

No entanto, o triunfo da teoria ondulatória não é definitivo, interrompido pelo registro do efeito fotoelétrico por Hertz ao buscar confirmar experimentalmente a previsão de Maxwell de que a luz é uma onda eletromagnética. O efeito fotoelétrico caracteriza mais uma ruptura na ciência óptica.

O cenário era o seguinte: em determinadas situações a luz manifesta comportamento de partícula, como no efeito fotoelétrico, e em outras, como na experiência de Young, assume caráter tipicamente ondulatório. Uma única teoria com a função de explicar e descrever fenômenos distintos, como os suscitados, era insuficiente.

Este impasse concernente ao confuso e aparentemente contraditório comportamento da luz, articulado às investigações da radiação térmica de corpo negro, explicita um enfraquecimento da estrutura teórica da física clássica, que se mostra insuficiente quando trata do âmbito das interações da radiação com a matéria. De um lado, Einstein interpreta o efeito fotoelétrico (1905) concebendo a luz como constituída de quanta de energia; por outro lado, Planck constata que os átomos emitem e absorvem energia de forma discreta (quantizada, descontínua). Desta forma, desafiam a física clássica, lançando as bases conceituais de um novo domínio, o universo quântico.

Bachelard (1999, p.20) realça que:

“(...) as crises de crescimento do pensamento implicam uma reorganização total do sistema de saber. A cabeça bem feita precisa então ser refeita. Ela muda de espécie. Opõe-se a espécie anterior por uma função decisiva. Pelas revoluções espirituais que a invenção científica exige, o

homem torna-se uma espécie mutante, ou melhor dizendo, uma espécie que tem necessidade de mudar, que sofre se não mudar. (...) Se considerarmos, por exemplo, a modificação psíquica que se verifica com a compreensão de doutrinas como a da Relatividade ou como a da Mecânica Ondulatória, talvez não achemos tais expressões exageradas...”

Conforme Bachelard, a cultura científica caracteriza-se essencialmente por discontinuidades. À medida que um conceito se modifica, e com o aparecimento de novos conceitos, rompe-se com o saber sedimentado, renovando suas bases. As mudanças extrapolam o âmbito puramente teórico, resultando muitas vezes em profundas rupturas nas convicções filosóficas dos cientistas, como a perspectiva dual da luz: trata-se, pois, de uma nova racionalidade.

A idéia de discontinuidade, no que concerne o referencial bachelardiano, segundo Santos (1991,p.135), tem como premissa básica que “(...) o antes e o depois do conhecimento científico são irreduzíveis um ao outro e que, por isso são distintos”. Santos continua, sugerindo que:

“(...) enquanto a tese continuista defende que o presente da ciência depende do seu passado, que a ciência adiciona inovações, Bachelard defende que o passado não perspectiva o futuro, que a ciência não aglutina descobertas, antes as retifica e reorganiza; que o pensamento científico não desliza harmoniosamente de uma descoberta a outra; que as ligações entre as velhas e as novas teorias não são mecânicas – não conduzem diretamente daquelas a estas; que muitas destas ligações só, a posteriori, são determinadas. Sublinha que o processo da ciência não é linear, nem unívoco, mas dialético, descontínuo e inacabado.”

A defesa do progresso contínuo da razão, isto é, da trajetória histórica do conhecimento científico, está alicerçada em quatro pilares fundamentais. Em sua obra *‘Epistemologia’*, Bachelard (2001, p.193-195) expõe e critica esta tese:

- as graduais transformações evidenciam o percurso linear e crescimento cumulativo do conhecimento científico, de acordo com os continuistas;

Entretanto, conforme Bachelard, as lentas transformações na construção de conceitos, idéias e teorias na ciência mascaram as crises, remodelações e profundas rupturas na essência destes conhecimentos, revelando mudanças científicas e não sinais de continuidade.

- o êxito da ciência é fruto da ação de cientistas que capturam idéias que permeiam no ar, conforme a proposição continuísta, justamente porque *'as idéias atuais são entendidas como pré-existentes de forma embrionária em épocas anteriores'*;

Compreendida desta forma, segundo Bachelard, desconsidera-se as concepções de mundo de uma época ou momento histórico.

- a ciência é vista como extremamente fácil e simples, já que o conhecimento científico ancora-se ao conhecimento do senso comum. Nestes termos, o saber escolar assume a função de ponte entre estas estruturas conceituais;

Para Bachelard, esta idéia está equivocada, porque a ciência e o senso comum cumprem funções distintas nas explicações que tecem sobre as coisas: o compromisso da primeira com o rigor, seus procedimentos e práticas constituem um corpo teórico de racionalidade distinta das idéias geradas de forma espontânea no senso comum.

- julga-se simples estender as imagens e a linguagem da ciência clássica (ou do senso comum) para o âmbito da física contemporânea, estabelecendo de forma direta esta ligação;

Entretanto, a ciência quântica, intangível aos sentidos, não pode ser traduzida de forma completa pelas imagens, analogias e metáforas (linguagem) da esfera do senso comum ou da física clássica. Para Bachelard, estes recursos, quando utilizados para representar o universo microscópico, devem ser colocados sempre entre aspas, pois não refletem fielmente este domínio. Assim, a linguagem e as imagens são expressões de constantes redefinições e resignificações à medida que caminham de uma racionalidade a outra. Em cada contexto deve haver clareza do alcance, por conseguinte, dos limites das imagens, das analogias e das metáforas.

A perspectiva de um encadeamento lógico de idéias, conceitos e teorias revela um traço marcante da imagem tradicional do fazer ciência, encerrando o conhecimento científico à uma sucessão de verdades (passos corretos) que se agregam ao longo do tempo. Com efeito, acredita-se que na história da ciência o erro não só não tem lugar, como sua inexistência, tal como é concebido pela corrente positivista, pode ser evidenciada no decurso da história do pensamento científico, tendo em vista que um conhecimento se soma a outro.

Para Bachelard, contrariamente, um conhecimento se dá contra outro, retificando constantemente os erros, superando entraves e dificuldades em seu percurso. O conhecimento científico não está encerrado à uma visão estanque e definitiva, contrariamente, configura-se dinâmico e vivo.

A história da óptica ilustra as rupturas que ocorrem no decorrer do desenvolvimento dessa ciência, forçando o espírito científico a pensar e repensar constantemente a forma de ver os fenômenos luminosos:

As mudanças de perspectivas da ciência, distintas trajetórias percorridas para alcançar conhecimentos, apontam o profundo dinamismo desta atividade, que, segundo Bachelard, exige a renúncia constante de bases filosóficas ultrapassadas.

As oscilações entre as teorias corpuscular e ondulatória da luz evidenciam, para Bachelard (1999), que a verdade constitui-se provisória, e o erro, neste sentido, assume papel positivo e inerente a prática científica. Contudo, o erro valorizado por Bachelard é aquele pensado, que surge não de forma gratuita e distraída, mas fruto do esforço do pensamento.

De acordo com a perspectiva tradicional, o erro configura-se um 'acidente lamentável', 'um equívoco', 'uma anomalia a ser arrancada' da prática científica, pois torna o conhecimento falível, estéril e infecundo. Nestes termos, deve ser condenado e suplantado por completo em qualquer atividade que exija a construção de conhecimento, seja no espaço escolar ou no campo científico. Idéia que não tem lugar na epistemologia histórica de Bachelard.

A primazia em geral conferida a verdade no ato de conhecer desconsidera o valor do erro na construção do saber e sua presença constante neste percurso. Segundo Bachelard (1999), o erro é o elemento motor do desenvolvimento da ciência por propiciar as condições necessárias para seu avanço.

Como ressalta Lopes (1996, p.252), para Bachelard "*precisamos errar em ciência, pois o conhecimento científico só se constrói pela retificação desses erros*". Assim a noção de verdade se modifica. Não existe a verdade inquestionável, conhecimento inviolável que permaneça cristalizado ao longo da história. Toda idéia tem caráter efêmero, está sujeita a tornar-se obsoleta. Esta característica da evolução dos conceitos, idéias e teorias científicas mostra as constantes rupturas que se estabelecem no avanço de uma trajetória histórica, já que a verdade não se configura definitiva, mas provisória. O conhecimento é concebido como móvel, dinâmico, em detrimento de uma imagem estanque (Bachelard, 1975, p. 25).

5.5 - A história recorrente de Bachelard e as controvérsias sobre os espelhos ardentes de Arquimedes

As ambigüidades do debate concernente a possível façanha de Arquimedes, incendiar os navios romanos com espelhos ardentes²⁵ para salvar Siracusa, suscitam diversas especulações no âmbito da história da ciência.

De um lado, alguns historiadores defendem que o espetacular efeito dos espelhos ardentes é de fato verdadeiro; outros reúnem argumentos contrários, para afirmar que Arquimedes não utilizou estes dispositivos.

Com base nisso, qual o papel da análise crítica no estudo da história do pensamento científico? Pontos polêmicos, alvo de contestações como este, devem incitar a discussão crítica e reflexiva do aluno, ou deve-se dar primazia à imparcialidade nas discussões históricas, para que esses contrastes e controvérsias não causem descrédito e confusão de idéias com relação à ciência?

De acordo com a postura de Bachelard, o estudo da natureza e construção do conhecimento científico deve repousar na análise crítica, que pensa, investiga, examina, aprecia e censura quando necessário. Para Bachelard (1999, 2001), a pertinência da história da ciência articulada a epistemologia, no ensino de ciências, é de primordial relevância para a desmistificação de imagens equivocadas sobre o empreendimento científico, como também para a contextualização dos conteúdos. As controvérsias exploradas no debate sobre os espelhos ardentes de Arquimedes ensinam justamente aprimorar as ações e postura crítica dos alunos, de fundamental valor.

Conforme Bachelard (1975), o resgate da história do pensamento científico deve ser objeto de viva e intensa crítica. Submeter conceitos, idéias e teorias de uma época a um severo julgamento, considerando como referencial o estado presente da ciência, para efeito de reflexão, propicia um vislumbre dos erros e acertos dos cientistas no decurso da construção do conhecimento científico.

Na defesa dessa postura, Bachelard não intenta depreciar o valor da gênese e desenvolvimento da ciência, vendo no passado um emaranhado de equívocos e erros; ou desconsiderar o contexto histórico veiculado a estruturação de um conhecimento. Deseja, por outro lado, apresentar os esforços da razão para atingir o estágio atual, o constante rompimento com o senso comum, com os limites dos sentidos, entendidos por longo tempo como suficientes e de inquestionável eficácia para o entendimento do mundo natural. Como acentua Bachelard, 'o real é luz que sempre projeta algumas sombras', com isso ele não deve ser aceito imediatamente, pois quando examinado em maior detalhe nunca exprime o que a opinião primeira e as experiências sensoriais apreendem.

²⁵ Espelhos ardentes ou espelhos incandescentes são espelhos com propriedades de convergir os raios que incidem em sua face paralelamente para um ponto, hoje conhecidos por espelhos côncavos.

No âmbito do estudo histórico, é um ideal enganoso tentar retrair o curso do conhecimento científico reportando-se a determinado momento histórico de forma supostamente neutra. O pensamento está imbuído de uma carga de concepções referenciadas na ciência atual, que devem, por sua vez, conduzir o estudo histórico, apontando a complexa trajetória científica na busca da 'verdade'²⁶.

O exemplo dos espelhos ardentes de Arquimedes pode ser suscitado neste sentido, articulando a idéia de recorrência histórica de Bachelard, que ressalta a importância de apreciar criticamente a história da ciência, às discussões ressaltadas por Thuillier (1994) sobre este possível episódio histórico, considerado por alguns historiadores mero devaneio e por outros uma evidência incontestável.

A partir de seus conhecimentos de óptica, Descartes demonstra incredulidade acerca dos espelhos de Arquimedes, sustentando que para atingir esta façanha seria inevitável a construção de um espelho gigantesco, impossível para os recursos técnicos da época. E mesmo dispondo de um espelho com tais dimensões, ainda nutre dúvidas sobre a intensidade dos raios solares necessária para queimar os navios romanos.

Tanto estudiosos da Idade Média, quanto mais tarde Galileu Galilei e Roger Bacon, expressando admiração pelo Sol, como corpo celeste, não apenas aventavam a possibilidade do episódio polêmico dos espelhos incandescentes, como acreditavam na sua legitimidade. Em 1646, o padre jesuíta Athanasius Kircher, a partir de suas próprias experiências, *“constata que com cinco espelhos planos dispostos judiciosamente, obtém-se um calor quase intolerável a mais de cem pés (33 metros) de distância. Com uma quantidade maior de espelhos, os efeitos serão ainda mais espetaculares”* (Thuillier, 1994, p.37).

No Renascimento, autores também se engajam na construção de espelhos ardentes, dedicando com detalhes obras inteiras a essa discussão, como Oronce Fine, matemático que concebe como mais eficaz o espelho parabólico, em detrimento do esférico.

Na tentativa de acabar com o impasse um físico francês, Du Fay, no século XVIII, combina um espelho côncavo e um parabólico seccionado. Sem lograr êxito, considera insustentável e absurda esta proposição histórica. Conforme salienta Thuillier (1994, p.38):

“(...) é Buffon quem dá a contribuição mais espetacular para a discussão. Pela prática, isto é, construindo ele mesmo um espelho formado por 168 vidros de pequeno tamanho e o experimentando em materiais diversos, mostra em 1747 que Descartes estava errado. Porque os raciocínios abstratos não importam: o fato é que é possível atear fogo muito depressa à madeira com um espelho composto.”

²⁶ A verdade para Bachelard e para filosofia contemporânea da ciência é entendida como provisória, de caráter efêmero.

No entanto, contemporaneamente prevalece a idéia de que se trata de um episódio lendário. Thuillier (1994) ressalta que o inglês D.L. Simms, especialista em fenômenos de combustão, tece objeções acerca de três pontos fundamentais:

- as fontes históricas favoráveis à existência de espelhos ardentes não têm valor porque os três historiadores que deixaram os melhores relatos do cerco de Siracusa (Políbio, Tito Lívio e Plutarco) não fazem qualquer alusão a espelhos ardentes;
- Arquimedes não dispunha de meios (intelectuais e técnicos) para construir uma arma solar tão potente: precisaria dos conhecimentos teóricos sobre as propriedades locais do parabolóide e sobre como os espelhos desencadeiam a combustão, fato que segundo seus argumentos não se evidencia. A partir de um laudo técnico, Simms constata que os célebres espelhos de Arquimedes não seriam capazes de destruir as tropas romanas.
- Nas condições concretas do cerco de Siracusa, uma proeza desse gênero jamais teria sido bem sucedida.

Ainda de acordo com Thuillier (1994, p.47):

“Embora pretenda arruinar a lenda dos espelhos ardentes, D.L. Simms é praticamente forçado a concordar: o ‘paradigma’ da ciência, no final do século III a.C. era bastante rico para fornecer todos os elementos necessários à concepção dos famosos espelhos. Não nos esqueçamos, além do mais, que muito antes de Arquimedes os gregos já se interessavam pelos fenômenos de reflexão e refração, bem como por suas aplicações práticas.”

A apreciação crítica dos historiadores ao se reportarem a esse embate evidencia uma história da ciência pouco consensual e pacífica. A efervescência de idéias que incorre do estudo recorrente da história que julgada, sentenciada e avaliada com o rigor da ciência atual, inspira a atitude reflexiva, sem, contudo, desmerecer o papel **relevante e essencial** da história do pensamento científico. Contribui, por outro lado, para analisar a legitimidade de um determinado episódio histórico, como no caso dos espelhos ardentes de Arquimedes.

5.6 - Um exemplo de obstáculo epistemológico na estruturação da concepção newtoniana da luz

Em que medida elementos subjetivos e valores científicos de uma época se vinculam a ação do pesquisador interferindo na sua prática científica?

A história do pensamento humano mostra a poderosa influência da filosofia mecanicista²⁷ nas concepções acerca do universo, inclusive sobre Newton. Bachelard afirma que a concepção corpuscular newtoniana acerca da luz estava carregada de um realismo²⁸ ingênuo, porque a luz era concebida como composta de partículas de natureza essencialmente material, simbolizando os rastros do mecanicismo.

Por outro lado, a concepção mecanicista constituiu-se uma barreira à aceitação da idéia newtoniana de ação à distância. Mais uma vez, a moderna filosofia da ciência pode contribuir para o debate.

Conforme assinala Bachelard (1975, 2001), conhecimentos cristalizados como os da tradição mecanicista balizam o pensamento, atravancando a pesquisa, como no caso da aceitação da visão de Newton de que partículas podem exercer forças entre si, sem contudo estarem em contato. Do mesmo modo, a idéia que diz respeito a concepção corpuscular da luz, acorrentada a um princípio realista da natureza pode constituir-se verdadeiro entrave e resistência ao avanço da ciência.

Bachelard denomina de obstáculos epistemológicos a forte tendência do pensamento científico de permanecer arraigado a conceitos sedimentados, como a hipótese realista da luz, entendida essencialmente como uma partícula luminosa, por consequência do mecanicismo.

Bachelard (1999) enfatiza que obstáculos podem se incrustar no pensamento e nas idéias do pesquisador, sendo causa de entraves e verdadeiras resistências à produção do conhecimento. Constituem uma *“espécie de conservação do pensamento”*, como sublinha Lopes (1996a, p. 263), contudo não são irremovíveis e indestrutíveis. Essa manifestação dogmática do pensamento reclama a necessidade de atenção e vigilância do pesquisador, pois intenta mascarar o processo de ruptura entre conhecimento comum e conhecimento científico, e em última instância impedir mudanças científicas.

O rompimento com dogmas torna o pensamento flexível às mudanças científicas, como as decorrentes da dualidade onda-corpúsculo, característica tanto presente em uma onda, quanto em partículas materiais.

Neste sentido, o filósofo da desilusão²⁹ enfatiza que o processo de desconstrução, as rupturas ou descontinuidades presentes no caminhar científico, abrem espaço à (re) construção de novos conceitos, liberta o conhecimento, torna livre a imaginação do pesquisador. De acordo com esta perspectiva, renegar o que está sedimentado afasta a pesquisa dos entraves, barreiras e obstáculos provenientes de uma investigação rotineira, tornando móvel o conhecimento estancado.

²⁷ Doutrina mecanicista: *“a natureza opera através de empurrões e puxões de partículas materiais ou fluidos”*. *“(…) Todos os fenômenos naturais podem ser resumidos a impactos de corpos materiais ou fluidos sobre outros corpos”* (Weinberg, 1996, p.135).

²⁸ A concepção realista do universo sustenta que a verdade está na natureza unicamente, e cabe ao cientista desvelar suas leis tornando-as acessíveis aos sentidos. O real dado é a fonte do conhecimento, revelando-se no mundo natural, que fornece aos sentidos, e em última instância à razão, a verdade dos fatos.

²⁹ Retratado assim por alguns autores (Lopes, 1996a), por imprimir à análise da evolução histórica da ciência a noção de ruptura e o valor do erro, comumente visto com certa cautela e mesmo negação (rejeição), pois de acordo com a imagem tradicional da construção do conhecimento, denota o símbolo do fracasso.

O pensamento científico tem seus vícios e o constante despojamento permite ao cientista seguir o caminho do aprender e conhecer. Alerta e mobilizado para contemplar sua investigação na totalidade, o pesquisador tem consciência da constante superação dos obstáculos epistemológicos.

Em contraposição aos obstáculos epistemológicos, Bachelard (1975, p.33) explora o que chama de atos epistemológicos, que são ímpetus do pensamento que o colocam em marcha. Idéias súbitas ou inspirações iluminadoras que impulsionam o cientista na solução de algum problema.

O confronto entre os obstáculos epistemológicos e os atos epistemológicos propiciam, na visão de Bachelard, o avanço da ciência. Ao mesmo tempo que na pesquisa do cientista se instalam aspectos negativos, causas de entraves e mesmo regressão do que se achava compreendido, há os aspectos positivos, os êxitos, responsáveis por contornar, a partir das permanentes retificações, os possíveis desvios e erros da pesquisa.

5.7 - Analogias na evolução da óptica: uma análise a partir da perspectiva bachelardiana

Qual o papel das analogias, metáforas e imagens na gênese e desenvolvimento das teorias científicas? Com que freqüência os cientistas apelam a essas ferramentas da linguagem e do pensamento? O uso desenfreado e excessivo do arsenal analógico e metafórico constitui elemento motor do conhecimento, agindo positivamente sobre o empreendimento científico? Ou são causa de entraves à evolução do pensamento científico?

Bachelard (1975; 1999) confere especial destaque a questão das analogias, metáforas e imagens apontando os cuidados quanto ao uso abusivo destas expressões da linguagem, implicando muitas vezes na formação de obstáculos e resistências ao avanço da ciência.

Nesta perspectiva, em virtude de uma compreensão inadequada destes mecanismos explicativos, o pensamento científico manifesta a tendência de contemplar as analogias, metáforas e imagens 'como uma afirmação dogmática da realidade' (Lopes, 1996, p.263), rejeitando desatentamente as diferenças entre os domínios que se pretende estabelecer correspondências.

Santos (1991, p. 141) ressalta que, de acordo com Bachelard:

“Há que desqualificar imagens e metáforas quando pretendem ser imagens-reflexos, mais ou menos exatas, de uma realidade oferecida à investigação, ou seja, quando pretendem passar por cópias fiéis dessa realidade.”

Com efeito, Bachelard evidencia que (1975, p.84):

“As imagens³⁰ (...) são ao mesmo tempo boas e más, indispensáveis e prejudiciais, é preciso usá-las com medida enquanto são boas e desembaraçar-se imediatamente delas quando se tornam prejudiciais.”

A história do pensamento científico, para Bachelard, mostra que a ciência caminha contra o conhecimento comum, afastando-se do concreto e do perceptível, investindo contemporaneamente em áreas cada vez mais especializadas. Contudo, a necessidade de inferir conclusões sobre o desconhecido objetivando simular os comportamentos da natureza requer, com frequência, conexões com o que é observável, com imagens e modelos concretos, para que relações analógicas possam tornar os conhecimentos não familiares acessíveis e inteligíveis.

No exemplo da evolução da óptica, Huygens, ao desenvolver a teoria ondulatória da luz faz uso de uma analogia com o som, definindo a luz como uma vibração mecânica (Rocha et al., 2002, 230; Pietrocola, 1993, p.167).

Uma analogia incorreta, como salienta Bachelard, pode desencadear alguns equívocos na construção de uma teoria e até mesmo distorção na compreensão de um conceito ou idéia. Esta analogia com o som evidencia isto: por se acreditar que o comportamento da luz não era apenas semelhante, mas idêntico ao comportamento do som, durante um longo período a crença na existência de um meio (éter) necessário para a propagação da luz permaneceu hegemônica. Neste caso, Bachelard afirma que esta analogia constitui-se um obstáculo epistemológico à idéia correta das ondas eletromagnéticas, que não necessitam um meio para se propagar.

Essa tendência do pensamento - utilização de recursos analógicos - é manifesta também nas investigações referentes à dupla refração, que desencadeiam estudos sobre fenômenos de polarização.

Newton, por exemplo, na tentativa de construir uma explicação satisfatória ao fenômeno de polarização da luz, observado por Huygens, imagina os raios luminosos como constituídos de uma estrutura com *propriedades distintas em diferentes direções transversais à direção de propagação* (Rocha et al., 2001), estabelecendo uma analogia entre os possíveis lados do raio luminoso e os pólos de um ímã.

Não obstante, nessa mesma linha de raciocínio analógico, Malus, em 1809, ao detectar a polarização por reflexão, concebe como causa deste fenômeno a atuação de forças repulsivas do meio sobre as moléculas que compõe os raios luminosos. Analogamente às partículas magnéticas que se orientam sob a ação de um ímã, o raio luminoso ao incidir sobre uma superfície mais refringente sofre a

³⁰ Pode-se estender sua afirmação acerca das imagens para analogias e metáforas.

influência das forças repulsivas deste meio, que além de se responsabilizarem pela reflexão, exercem ação sobre a orientação dos eixos das moléculas luminosas, que ficam dispostos paralelamente.

Relembrando a história: investigações sobre polarização

Erasmus Bartholinus, em 1669, observa que a imagem de objetos vistos através de um cristal de calcita apresenta-se duplicada, contrariamente ao que ocorre com as imagens de objetos vistos a partir de outros corpos transparentes. Huygens, em 1678, na busca de uma interpretação ao intrigante fenômeno da dupla refração, depara-se com outro efeito físico: a polarização. Newton procura tecer considerações acerca da polarização associando-a a explicações de cunho magnético. Contudo, somente com a idéia de onda transversal a compreensão destes fenômenos tornar-se-á mais clara.

Em síntese, Bachelard ilustra que o discurso científico não é literal, objetivo e transparente, apropriando-se muitas vezes destes recursos lingüísticos para dar significado a aspectos não observáveis do mundo natural, e por isso cumprem uma função positiva na ciência.

Contudo, a incisiva e contundente crítica bachelardiana ao uso incorreto das analogias, metáforas e imagens procura realçar que, como correspondem a modelos de raciocínio, nunca se constituem retrato fiel do real: uma analogia se estabelece entre domínios de natureza distinta. Neste sentido, devem pressupor a idéia de caráter efêmero e provisório, decorrente dos seus limites de aplicabilidade.

A pretensão de um discurso científico livre de expressões metafóricas e analógicas é contestada por Contenças (1999), que atribui inegável valor a esses recursos nos processos de significação de conhecimentos. A linguagem não é *'transparente e estanque'*, apropriando-se deliberadamente de analogias e metáforas para comparar domínios de gêneros distintos, aproximar noções de natureza complexa ao universo familiar.

Atualmente, extensa literatura (Curtis & Reaigeluth, 1984; Martins, 1998; Contenças, 1999) indica o raciocínio analógico como elemento essencial para tornar significativos aspectos não observáveis do mundo natural. Afirmar que as analogias e metáforas fazem parte apenas de estágios iniciais do pensamento da ciência, ou que o estilo científico não recorre em momento algum a esses recursos, dispondo sempre de uma linguagem literal, ordenada e rigorosa, caracteriza uma idéia ingênua e falaciosa do discurso científico, que tem sua raiz na concepção empírico-indutivista.

Contenças (1999, p.66) afirma que de acordo com esta concepção equivocada da ciência:

“(...) a descrição e a explicação da realidade são tarefas da ciência e só a linguagem literal é adequada para a caracterização objetiva desta realidade. A linguagem científica deve ser rigorosa, objetiva, apresentando os conceitos com conteúdo unívoco, de modo a possuir um estatuto racional

e atemporal. Por isso, deve excluir a fantasia, a imaginação e as preferências subjetivas do gosto... a linguagem formal resultante dos sistemas dedutivos é a única que a ciência deve usar, ignorando, deste modo, a metáfora e a analogia... Só a linguagem literal é empiricamente respeitável.”

As exposições científicas de teses teóricas e leis mostram que o discurso da ciência se apropria deliberadamente da linguagem metafórica e analógica. Contudo, os caminhos que conduzem à descoberta científica, as idas e vindas presentes na trajetória do cientista, em geral suprimidas na comunicação de textos científicos, mascaram as diversas facetas da linguagem presentes na atividade científica.

A polêmica referente à contaminação retórica causada pelas analogias e metáforas na linguagem científica apresenta-se bastante polarizada: de um lado, autores admitem que os recursos metafóricos e analógicos imperam unicamente na gênese e contexto de criação de teorias, outros defendem que a linguagem ambígua (metafórica e analógica) se revela tanto na elaboração quanto na difusão das teorias, permanecendo tanto em estágios iniciais como mais avançados da pesquisa científica.

Contenças (1999, p. 67) assinala que *“a história da ciência mostra-nos que desde sempre a linguagem científica inclui expressões metafóricas”*, recorrendo constantemente às analogias e metáforas como ferramenta da comunicação e ferramenta do próprio pensamento.

As contribuições da epistemologia histórica de Bachelard e recentes estudos da linguística têm potencializado a aceitação de uma postura mais flexível concernente a presença destes recursos da linguagem na atividade científica, desmistificando a imagem tradicional do fazer ciência.

5.8 - Analogias no ensino de ciências

Atualmente, têm-se percebido que o ensino também se aproxima do uso de analogias e metáforas para estabelecer conexões entre conceitos de domínios distintos. Contudo, diversos trabalhos apontam os limites e cuidados quanto a utilização destas ferramentas como recurso didático. Otero (1997) enfatiza que *“uma analogia é uma comparação não literal entre domínios distintos”*, nesse sentido, ilustra a primordial relevância desse instrumento no processo de ensino-aprendizagem, mas sempre apontando uma apreciação crítica sobre os limites e cuidados de seu uso:

“Esta comparação se realiza entre as estruturas de dois domínios, denominados análogo e alvo, e supõe a correspondência estrutural ou funcional de conceitos diferentes, pelo menos na aparência... depreciam-se as dicotomias e enfocam-se as semelhanças estruturais ou funcionais de ambos os

domínios. O interesse de seu uso tanto na produção do conhecimento científico como no terreno didático, é que é possível inferir da primeira estrutura, mais familiar (análogo), conseqüências sobre a segunda, menos familiar (alvo).”

Amplamente destacada por alguns estudos (Dagher, 1995; Terrazzan, 1997; Utges, 1999; Ferraz, 2000; Terrazan et al., 2000; Nagem et al., 2001; Isabel & Nagem, 2002), a implementação de modelos analógicos nas práticas e ações pedagógicas no espaço escolar propicia veicular noções abstratas que se afastam das experiências sensíveis aos sentidos a conceitos concretos e mais familiares, de forma estruturada e consciente, para que os alunos não desenvolvam ou reforcem concepções alternativas³¹ sobre os temas estudados.

Nessa perspectiva, Harrison & Treagust (1994)³² indicam uma seqüência de passos que necessariamente devem estar presentes quando se utiliza analogias e metáforas no espaço escolar:

1º Passo - introdução da "situação alvo" a ser tratada. Inicialmente, deve-se apresentar, de forma geral e abrangente, a situação ou o fenômeno a ser estudado e compreendido, deixando-se de lado as particularidades, os detalhes;

2º Passo - apresentação da "situação análoga" auxiliar. Nesta etapa, ainda não devem ser feitas as comparações entre o análogo e o alvo; mas ela deve ser utilizada para o professor apresentar o análogo, auxiliando os alunos a compreenderem/relembrem o mesmo, sempre procurando que este seja o mais familiar possível para estes alunos;

3º Passo - identificação das características relevantes do análogo;

4º Passo - estabelecimento das correspondências entre o análogo e o alvo.

5º Passo - identificação dos limites de validade da analogia utilizada. Este passo é essencial em um processo de ensino-aprendizagem e, curiosamente, o mais esquecido em sala de aula;

6º Passo - esboço da síntese conclusiva sobre a “situação alvo”. Esta última etapa serve para que os alunos, orientados pelo professor, retomem as considerações sobre a caracterização do alvo, agora à luz de uma melhor compreensão obtida pelas comparações feitas com o análogo.

³¹ As construções teóricas formuladas no âmbito do senso comum, impressões sobre o mundo natural, cuja raiz conceitual limita-se à intuição primeira e ao conhecimento imediato são designadas por concepções alternativas, idéias prévias ou cultura primeira. Se as concepções prévias dos alunos não forem levadas em conta, pode permanecer a idéia de que a ciência configura-se como uma extensão ou *refinamento* do senso comum. Nesta perspectiva, o movimento das concepções alternativas desencadeia viva e intensa investigação (Zilbersztajn, 1983; Carvalho, 1992; Mortimer, 1996), que em geral se interessa pelas origens destas concepções equivocadas dos alunos e pela busca de propostas que propiciem o seu desequilíbrio. Bachelard confere destaque a estas questões, ressaltando que a ciência caminha se afastando do senso comum.

³² Este modelo conhecido por TWA (teaching with analogies) foi proposto originalmente por Glynn em 1991 e modificado por Harrison & Treagust em 1994, visando aumentar a efetividade do uso de analogias para fins didáticos.

Estas estratégias visam estruturar e ordenar a utilização de analogias e metáforas no ensino, orientando o professor em suas atividades docentes (Ferraz & Terrazzan, 2003).

Apesar do total acordo no que diz respeito à utilização consciente e cuidadosa das analogias e metáforas tanto no ensino quanto na construção da ciência, Bachelard alerta constantemente em seus trabalhos para os perigos do mau uso destes instrumentos, que podem ser causa de profundas distorções do conhecimento.

Em virtude da estrita ligação ao real sensível (perceptível aos sentidos), as analogias, metáforas e imagens no espaço escolar não devem assumir o papel de ponte (continuidade) entre o conhecimento científico e o conhecimento comum, pois, desta forma, segundo Bachelard (1975, p.85), podem mascarar a ruptura entre estes dois domínios de saber veiculados a racionalidades distintas. Neste sentido, devem ser devidamente explicitadas as correspondências entre os conceitos tratados e os limites dos recursos utilizados.

Para Bachelard, as analogias, metáforas e imagens no ensino e na própria ciência *'devem ser realizadas e desrealizadas'*, ou seja, devem ser passageiras, concebidas como de caráter efêmero e provisório, jamais permanecendo de forma definitiva no pensamento.

5.9 - As novas perspectivas da ciência contemporânea à luz da epistemologia bachelardiana

5.9.1 - Diálogo entre a razão e a experiência: o papel do instrumental técnico na física contemporânea

De acordo com a corrente empirista, nos moldes tradicionais, o conhecimento confiável advém da experiência alheia a pressupostos teóricos, imaginação, intuição e especulações de qualquer gênero. Os fatos se apresentam de forma pura e transparente ao cientista que, paciente e atento, captura o que a natureza revela. A doutrina racionalista atribui a origem do conhecimento à razão.

Praia et al.(2002) sinalizam que a primazia conferida ou a razão ou a experiência como fonte única do conhecimento confiável, orientou diversas discussões entre filósofos da ciência. Conforme a idéia de novo espírito científico articulada às novas ciências do século XX, Bachelard (1975) destaca que não se pode conceber o racionalismo e o empirismo como posturas epistemológicas antagônicas, isto é, atribuir o conhecimento como expressão dos esforços exclusivos de uma ou outra vertente. A *'verdade'* se revela ao cientista no diálogo constante entre o racional e o empírico. Entretanto, um traço marcante da epistemologia histórica de Bachelard refere-se a primazia conferida às construções racionais, que necessariamente precedem a experiência.

Assim, guiado essencialmente pela idéia de que uma das características fundamentais da natureza é o princípio de simetria, De Broglie estendeu a dualidade onda-corpúsculo das ondas para partículas materiais, como o elétron. Corroborada mais tarde pela experiência de difração de elétrons, a intuição teórica de De Broglie conferiu a ele o mérito de ser um dos fundadores da Mecânica Quântica.

Conforme ressaltam Halliday et al. (1995, p.147):

“Foram raras as vezes em que os físicos se enganaram ao confiar nas simetrias da natureza. Por exemplo, depois de sabermos que um campo magnético variável produz um campo elétrico, faz sentido pensarmos (e de fato é verdade) que um campo elétrico variável produza um campo magnético. Sabia-se que o elétron possuía uma antipartícula (uma partícula de mesma massa, mas de carga oposta), e podia-se imaginar que o próton também tivesse uma antipartícula. Para confirmar esta hipótese, construiu-se um acelerador de prótons, com uma energia adequada, e o antipróton foi descoberto [detectado].”

A noção de experiência, no que diz respeito às idéias de Bachelard (1975, p.8), relacionada à física contemporânea, não está ligada ao real dado, sensível aos sentidos, que valoriza sobretudo o ‘percebido’, o ‘imaginado’, mas sim a uma realidade construída pela técnica. Os instrumentos e artefatos tecnológicos mediam sujeito e objeto do conhecimento, distanciando o real científico (objeto científico) do senso comum.

Os registros experimentais obtidos a partir do dispositivo construído por Davisson e Germer (fig.2), corroboram o pressuposto teórico de De Broglie: a matéria, tradicionalmente analisada como um conjunto de partículas, possui propriedades ondulatórias. Desenvolvido especificamente para medir comprimentos de onda de elétrons, representa a concepção de Bachelard com relação ao que é a experiência na física quântica. O fenômeno não está na natureza, apresenta-se a partir de uma técnica.

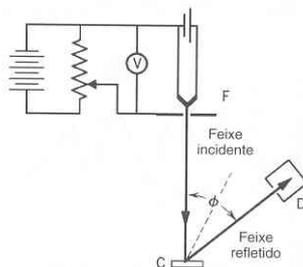


Fig. 2 Elétrons são emitidos por um filamento F e acelerados pela diferença de potencial variável V. Depois de serem refletidos pelo cristal C, eles são registrados pelo detector D [obtem-se uma figura de interferência], que pode ser movido por várias posições angulares ϕ . (Halliday et al., 1996, p.150)

De forma independente, em 1927 George Thomson³³ também chega aos mesmo resultados a partir de experimentos similares (fig.2a, 2b, 2c) ao de Davisson-Germer. Tanto George Thomson quanto Davisson receberam o prêmio Nobel por estes trabalhos.

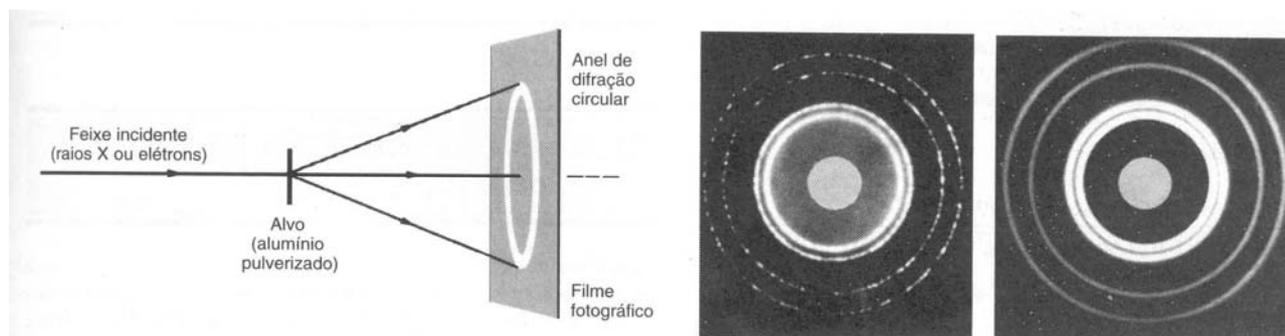


Fig.3(a) Um padrão de interferência é produzido utilizando um alvo pulverizado ou cristalino. (b) O padrão de difração de raios X de um alvo de alumínio pulverizado. (c) O padrão de difração de elétrons para o mesmo alvo. A energia do elétron foi escolhida de modo que o comprimento de onda de De Broglie seja igual ao comprimento de onda dos raios X em (b). (Halliday et al, 1996, p.151)

O processo de organização do pensamento determina a construção do objeto científico nas ciências físicas do século XX, que transcende os fenômenos ‘disponíveis’ espontaneamente no mundo natural. A ciência contemporânea trabalha com um mundo recomeçado, reconstruído e reestruturado pelo arsenal instrumental e técnico, rompendo com o saber comum, fonte de erros, enganos e distrações do pensamento, segundo Bachelard.

“A ciência de hoje em dia é deliberadamente ‘especializada’³⁴... Rompe com a natureza para construir uma técnica. Constrói uma realidade, esculpe a matéria, dá finalidade as coisas dispersas. Construção,... é aqui o trabalho humano, é aqui o trabalho científico.” (Bachelard, 1975, p.10)

³³ Filho de J. J. Thomson, George Paget Thomson evidencia, através de experimentos de difração de elétrons, que eles realmente podem apresentar comportamento ondulatório.

³⁴ O termo original utilizado por Bachelard em sua obra *“A Atividade Racionalista na Física Contemporânea”* é *factícia*, que em vários momentos é suscitado pelo autor para designar uma característica essencial da cultura científica contemporânea. A construção do objeto científico evidencia essa ciência especializada, dirigida a investigação detalhada de um fato, em oposição a generalidade.

Neste sentido, a ciência não dedica espaço apenas a elementos observáveis apresentados na natureza, como advoga a visão empírico-indutivista. A confiabilidade decretada somente às inferências teóricas obtidas a partir da observação, fonte primeira do conhecimento, são revisadas pela filosofia histórica de Bachelard que aponta a construção do objeto científico como principal motor da atividade científica contemporânea. A experiência da fenda dupla de Young, o interferômetro de Michelson-Morley, a difração de elétrons, indicam o papel fundamental do instrumental técnico mediando sujeito e objeto do conhecimento.

O interferômetro de Milchelson-Morley (fig.4), construído em 1887 para medir a velocidade da luz no éter, meio que até então se acreditava necessário para a propagação da luz, acabou por refutar a hipótese teórica da presença do éter. Este exemplo específico explicita, além da relevância dos dispositivos técnicos na ciência, a importância do **diálogo entre a razão e a experiência**, característica acentuada na epistemologia histórica de Bachelard, fundamentalmente no que se refere às ciências contemporâneas.

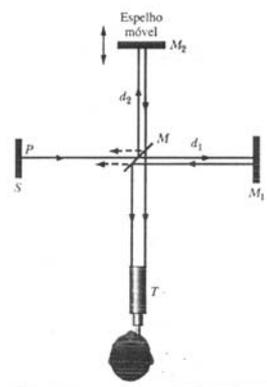


Fig.4 O interferômetro mostra o caminho seguido pela luz que parte de um ponto P de uma fonte S. O espelho M divide a luz em dois raios, que são refletidos pelos espelhos M_1 e M_2 de volta para M e daí para o telescópio T. No telescópio, o observador vê uma figura de interferência. (Halliday et al., 1995, p.75)

Entretanto, os resultados obtidos inicialmente por Michelson não se configuraram de imediato suficientes para por abaixo o éter. Apenas oito anos após a construção do interferômetro e a primeira realização da experiência é que, aliando-se a Morley, Milchelson aperfeiçoou o instrumento para medir a velocidade da luz, e comparar o intervalo de tempo gasto por dois feixes emitidos de uma mesma fonte em duas direções perpendiculares. Se uma dessas direções fosse a do movimento da Terra em sua órbita ao redor do Sol e a outra perpendicular, uma diferença de intervalos de tempos deveria ser detectada. Mas, inacreditavelmente, o éter mostrou não ter qualquer efeito sobre a velocidade da luz, quer o feixe se deslocasse na mesma direção ou perpendicular ao movimento terrestre. Se o éter existisse, a Terra estava em repouso! Este resultado propiciou uma revisão da hipótese teórica do éter. Este exemplo

explicita a relação entre o racionalismo e o empirismo, evidenciando que a dialética entre estas duas posturas filosóficas caracteriza o avanço da ciência, de acordo com Bachelard.

Os registros experimentais, ou mesmo simples observações, não se sustentam sem contar com um pilar teórico. Assim, a teoria deve ser rivalizada com os dados, podendo apresentar falhas ou mesmo estar susceptível a tornar-se obsoleta. Neste sentido, Bachelard caracteriza a importância de uma 'conversa' entre o que a experiência diz e entre o que a teoria prevê. Nesta troca, ambas são questionadas, interrogadas, submetidas a constantes problematizações (Bachelard, 1975).

No episódio histórico explorado, as previsões da existência do éter, confrontada com sucessivos registros experimentais, sugerem uma revisão da hipótese teórica, dado o caráter negativo da experiência de Michelson-Morley, explicitando o diálogo entre a razão e a experiência.

Com o engenhoso dispositivo, Michelson e Morley receberam o prêmio Nobel, em virtude fundamentalmente da construção do instrumento técnico, embora o resultado alcançado seja de inegável reconhecimento. Pode-se perceber neste caso e no exemplo da difração de elétrons o valor da técnica na estruturação de uma teoria na física contemporânea, que trata de fenômenos que são detectáveis somente a partir do experimento.

Por enfatizar estas novas perspectivas das ciências físicas propiciadas pelo advento da ciência quântica, Bachelard constitui-se um referencial importante para o estudo da evolução do pensamento científico. A percepção bachelardiana de formação do novo espírito científico, ressaltada ao longo da história da óptica, ilustra, em virtude dos exemplos explorados, que o conhecimento atual nas ciências físicas está diretamente ligado aos instrumentos técnicos, evidenciando a estrita ligação entre teoria e técnica. A técnica é uma teoria materializada.

5.9.2 A natureza distinta da física quântica: sobre moléculas, átomos e elétrons

“Em que sentido poderíamos considerar como existentes diversas entidades, tais como átomos, elétrons, campos eletromagnéticos, genes, DNA, placas tectônicas, galáxias espirais, buracos negros, que povoam nossas teorias científicas? Muitas dessas entidades, para que sejam minimamente identificadas e descritas, dependem de um sofisticado aparato teórico e tecnológico.”

Eduardo S. O. Barra (1998)

Moléculas, átomos e elétrons possuem o mesmo nível ou ordem de realidade de um objeto que se apresenta aos sentidos? A ciência contemporânea ultrapassa as aparências percebidas pelos sentidos, construindo seu objeto de conhecimento a partir do instrumental técnico, conforme está sendo apresentado.

Para Bachelard (1975, p.24), a profunda incompatibilidade no modo de pensar quando a ciência trata de objetos que podem ser vistos, tocados, que possuem lugar e forma definidos, e fenômenos que são acessíveis apenas através de instrumental técnico ilustra uma ruptura entre estes domínios do conhecimento.

Conforme destaca em sua obra *“A Atividade Racionalista na Física Contemporânea”* (1975, p.24), *‘as novas raízes da objetividade’* na física contemporânea *“(...) estão no que não se vê, no que não se toca, nessa região que a razão tem instituído como um domínio que ultrapassa a experiência comum: a microfísica”*.

A inovação da perspectiva bachelardiana é justamente refletir sobre as novas bases da cultura científica. Planck, em 1900, ao postular a natureza discreta e granular da energia na interpretação da radiação térmica de um de corpo negro, aliado, mais tarde, a idéia einsteiniana de pacotes associados às propriedades da luz, rompe com concepções clássicas da física, estabelecendo um novo domínio nessa ciência: o universo quântico.

De acordo com Bachelard (1975, p.32), *“a ciência contemporânea está na ordem de um pensamento repensado e de uma experiência reencontrada. (...) Esta ciência não encontra analogias no passado. E contempla um exemplo nítido de ruptura histórica na evolução das ciências modernas”*.

A natureza ondulatória dos elétrons (e de outras partículas materiais) apresenta importantes conseqüências na imagem que se tem de corpúsculo: os elétrons pensados usualmente como partículas, exibem propriedades ondulatórias de interferência e difração.

Nesta perspectiva, Bachelard (1975, p.94) explora a nova noção de corpúsculo da física contemporânea rompendo com a imagem tradicional, veiculada essencialmente a uma substância material. Para este autor, algumas características evidenciam o perfil dicotômico das partículas quânticas e a nova racionalidade da ciência quântica.

A idéia de corpúsculo na física quântica não se assemelha a nenhuma imagem concernente a realidade dos sentidos. Por esta razão, Bachelard reluta na articulação impensada e imediata destes conhecimentos a analogias, metáforas e imagens relacionadas à *‘corpos pequenos’* acessíveis aos nossos sentidos, com forma e dimensões definidas.

D’Espagnat & Klein (1993, p.69) enfatizam com clareza esta idéia:

“Não somos, de forma alguma, capazes de representar um objeto que não tenha uma posição e uma velocidade bem definidas. A física quântica corresponde, portanto, a uma crise da representação dos objetos físicos. O quantum destrói as imagens, violenta as intuições e proíbe as metáforas.”

Uma partícula clássica pode ser localizada tanto no espaço quanto no tempo. Em contrapartida, as partículas quânticas não dispõem desta possibilidade, pois são distribuídas ao longo destas duas

dimensões, em virtude do caráter ondulatório agregado a sua natureza. De acordo com o princípio da incerteza de Heisenberg, é impossível fazer medições simultâneas da posição e da velocidade de uma partícula com exatidão.

As novas perspectivas da ciência quântica tornam insustentáveis os pressupostos do realismo tradicional. Para o realismo ingênuo, o mundo natural pode ser alcançado de forma irrestrita: a impossibilidade de determinar simultaneamente posição e momento de um corpúsculo revela uma insuficiência no conhecimento científico. Todavia, este fato evidencia o comportamento dos fenômenos naturais e não a fragilidade da ciência ou irremediáveis dificuldades e imperfeições dos instrumentos técnicos.

Para Bachelard (1975, 1990) os alicerces da ciência contemporânea não se constroem a partir das *intuições geométricas* ou da experiência comum (que veicula insistentemente a idéia de corpúsculo ao que é paupável, visível), mas se estruturam pela organização de objetos de pensamento, realizáveis pela experiência técnica. A natureza distinta do âmbito microscópico exige instrumentos técnicos para tornar acessíveis aspectos não observáveis pelos sentidos.

D'Espagnat & Klein (1993, p.69) exploram bem esta questão:

Considerando um elétron em repouso, sendo, desta forma, sua velocidade e o seu momento exatamente iguais a zero, supõe-se que se deseja conhecer a sua posição. Evidentemente, não será a olho nu que o veremos. Teremos que usar um microscópio. Ocorre que todos os microscópios nos dão imagens ligeiramente inexatas... Isso se deve ao fato de as ondas luminosas serem deformadas por um efeito de difração quando atravessam a objetiva. Devido a este fato, se quisermos ter uma localização razoável do elétron, é necessário utilizar uma grande lente e iluminar o objeto através de ondas de pequeno comprimento de onda, ou seja, de grande energia. Escolhemos, por exemplo, raios γ . Quando um raio γ se choca com um elétron, esse elétron recua. Depois do choque, o elétron terá, então, uma certa velocidade. Será possível conhecê-la com exatidão? Infelizmente não, porque o recuo só pode ser determinado se conhecermos o ângulo de difusão do raio através do microscópio. Ora, tudo o que sabemos é que este raio atravessou a lente, e escolhemos uma lente tão grande quanto possível para termos uma imagem mais clara possível. Quer dizer, antes do choque entre o grão de luz e o elétron, conhecíamos, por hipótese, o momento exato deste último, mas desconhecíamos a sua posição. Após o choque, temos apenas um conhecimento aproximado de seu momento. Ou diminuimos a perturbação trazida ao momento do elétron, utilizando uma luz de maior comprimento de onda, mas ficamos com uma imagem bastante inexata; ou exigimos uma imagem clara e determinamos a imagem do elétron de forma bastante precisa, mas pelo preço de uma lente grande e de uma luz de pequeno comprimento de onda, o que não nos permite conhecer bem o momento do elétron. Cada grandeza considerada separadamente pode ser medida com uma precisão tão grande quanto a desejada, exatamente como na

física clássica. O problema da indeterminação só se coloca quando se pretende medir estas grandezas simultaneamente.

Contudo, depois desta discussão fica uma pergunta: se não é possível estender uma imagem ao domínio quântico, pensando em termos de fótons, sem forma, tamanho e qualquer dimensão definida, como salientado por Bachelard, como então comunicar um conhecimento abstrato que foge das experiências sensoriais se não ancorando-o a imagens, analogias e metáforas, aproximando-o de um domínio de natureza familiar? São questões abertas à pesquisa educacional, particularmente.

5.10 - A experiência da dispersão da luz branca: uma análise crítica à sua abordagem

“A multiplicidade de cores dos objetos, substâncias e seres vivos, que encanta o olho humano e inspira artistas a milênios, só ganhou sua primeira explicação científica no século XVII, através de Isaac Newton.”

Ciência Hoje, 1995

A teoria sobre luz e cores proposta por Newton (1672), em geral, é descrita pelos livros-texto de Física como estabelecida em um contexto harmônico e sem impasses, veiculada ainda a uma singular simplicidade e a um empirismo ingênuo (Silva & Martins, 1996), sintetizada, desta forma: as observações da formação do espectro colorido após a passagem de luz por um prisma conduziram Newton à idéia de que a luz branca é uma mistura heterogênea de raios de todas as cores.

Silva & Martins (1996) ilustram, em uma tradução comentada do Artigo de Newton publicado na *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, em 1672, comunicando sua teoria sobre luz e cores, uma história diferente:

“(...) a hipótese da composição da luz branca aceita por todos não é tão simples como os livros apresentam. A análise do experimento de Newton pode resultar em várias interpretações e hipóteses distintas que explicam igualmente os fenômenos... [logo] outros elementos experimentais e teóricos são necessários para se decidir entre as possíveis hipóteses.”(p.14)

Tendo em vista as sucessivas discussões acerca do célebre “Fenômeno das cores” anteriores a Newton, por René Descartes (1637), Robert Boyle (1664), Francesco M. Grimaldi (1665), Robert Hooke (1665) e os pressupostos teóricos no qual Newton se baseia, pode-se perceber a sua incursão em um contexto de discussão, evidenciando que sua teoria sobre luz e cores não foi desencadeada simplesmente pela observação pura.

Bachelard tece inúmeras críticas a visão tradicional da ciência, enfatizando o valor das conjecturas teóricas na elaboração de uma teoria, e o cenário no qual ela se configura. Deste modo, concebe como uma premissa ingênua defender que o conhecimento advém da experiência livre de pré-concepções. Nestes termos, para Bachelard (1975, p.25) “(...) se é possível entrar nos detalhes do pensamento, nos daríamos conta de que a cultura científica ... vai sem cessar da teoria à experiência”.

Obras de divulgação científica por vezes também são acusadas de equívocos conceituais e mesmo distorções da imagem da ciência e do cientista. Martins (1998), no artigo “*Como distorver a física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica.1 – física clássica*”, propõe-se a investigar uma obra de divulgação científica no que se refere as possíveis incorreções empregadas neste tipo de literatura, que tem como propósito, disseminar a ciência a um amplo público de leitores. Analisa criticamente o conteúdo físico do livro “*A dança do universo: dos mitos da criação ao big-bang*” (Gleiser, 1997), comentando brevemente as imperfeições de cunho histórico-filosófico, que reforçam sobremaneira a concepção empírico-indutivista da ciência: discussão que vai ao encontro dos interesses desta seção.

Astronomia antiga, luz e cores, mecânica clássica, gravitação, termodinâmica e teoria cinética dos gases, eletromagnetismo são os tópicos explorados por Martins (1998). No que diz respeito às considerações sobre luz e cores, fragmentos retirados da obra evidenciam uma visão incorreta da ciência relativa a este episódio histórico, contudo, o autor dá preferência à análise dos erros científicos³⁵.

A primeira afirmação diz:

“Newton realizou experimentos com prismas (um cristal em forma de pirâmide), lentes e espelhos, na tentativa de desvendar as propriedades físicas da luz. Ele sabia que, quando a luz do sol passa por um prisma, ela se decompõe nas sete cores do arco-íris: vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, azul-marinho, e violeta.” (Gleiser, 1997, p. 170-1 apud Martins, 1998, p.248)

O consenso da época era de que o prisma transformava, e não decompunha a luz branca em um conjunto de cores. Inclusive, esta, a princípio, era a convicção teórica newtoniana. Por outro lado, enfatizar que a luz do sol decompõe-se nas sete cores do arco-íris como uma idéia sabida, é incorreto. Newton estabeleceu uma analogia entre as cores e as escalas musicais. Contudo tinha clareza quanto aos limites desta analogia, pois existem infinitas cores que se agrupam por sua semelhança, e a demarcação que restringe a sete seu número não se constitui critério indiscutivelmente preciso.

³⁵ Um dos erros apontados pelo autor: os prismas são normalmente feitos de vidro e não de cristais, além de não possuírem forma de pirâmide (mas prismática). Este aspecto não se configura relevante para os objetivos desta seção.

Na tentativa de tornar fácil e acessível o conhecimento científico e inclusive sua própria história, alguns autores imprimem uma linguagem corriqueira às suas exposições, apropriam-se deliberadamente das imagens e analogias do senso comum, ligando esta esfera de conhecimento ao saber científico. Fadada a representar um refinamento do conhecimento comum, a ciência torna-se um emaranhado de constantes correções de um saber distinto em sua natureza.

Esta idéia de ancorar ao aprendizado da ciência extrema facilidade não traduz, para Bachelard (2001, p.196), a realidade deste processo. Intimamente ligada a consideração ingênua de que o conhecimento científico tem sua gênese no senso comum, esta concepção intenciona estabelecer continuidade entre o saber científico e o saber cotidiano, utilizando para esta ponte o saber escolar.

Esta postura almeja tornar menos obscuro e inacessível os conceitos científicos, tornando a ciência uma extensão do senso comum, porém seu efeito não é o desejado, mas justamente o que se propõe combater, dificultando o aprendizado da ciência, o qual envolve uma outra racionalidade: princípios, fundamentos e objetivos diferentes (Bachelard, 2001).

O livro *“Origens e Evolução das Idéias da Física”* aborda este tema destacando aspectos importantes dos estudos sobre luz e cores. A ênfase dada pelo autor ao caráter dinâmico deste momento histórico evidencia-se quando menciona o ‘grande impacto’ que a teoria de Newton propiciou na idéia que se tinha de cor (Rocha et al., 2002, p.221).

A concepção dominante pressupunha que a luz branca, sinônimo de luz pura, composta por raios de uma só cor, apresentava todas as cores ao atravessar um prisma, devido essencialmente a mudanças em sua natureza.

A proposição teórica de Newton, apresentada por Rocha et al. (2002), *“cores não são qualificações da luz derivadas de refrações ou reflexões dos corpos naturais (como é geralmente acreditado), mas propriedades originais e inatas [deste corpo]”*, confirma a surpreendente revelação desta teoria, registrando uma ruptura neste avanço da ciência óptica.

Conforme as idéias de Bachelard, um conhecimento se dá contra outro, retificando erros, superando entraves que se incrustam no pensamento, impedindo-o de prosseguir. Esta passagem explorada por Rocha et al. (2002) ilustra tais características.

Por outro lado, as contribuições de Boyle (concebe que corpos brancos refletem a luz que sobre eles incide e os corpos negros absorvem a luz) e Descartes (responsável pela idéia das cores fundamentais) neste contexto, desencadeadas pelos estudos sobre a dispersão da luz branca, são essenciais para despertar o interesse de Newton, que passa a realizar investigações acerca da formação do espectro colorido.

O contraste ressaltado por Rocha et al. (2001), ao caracterizar a postura distinta de um pintor e de um cientista diante da apreciação das cores, conduz a discussões fecundas acerca da distinção entre

‘as cores do espectro e as cores dos pigmentos’, que durante longo período configurou-se resistência a aceitação da teoria das cores de Newton, como para Goethe (1749-1832).

No que se refere ao destaque dado por Rocha et al. (2002) à analogia utilizada por Newton para delimitar as cores do espectro visível, o autor ressalta os cuidados desta veiculação. Assim, uma analogia empregada com critérios que evidenciem seus limites de aplicabilidade, quando se afirma que *‘a relação entre os sons da escala musical e as infinitas cores do espectro combinadas em sete grupos’* não se traduz literal, mas consiste em uma articulação *‘artificial’*, é o ideal para a efetividade do uso destes recursos explicativos. O que está de acordo com as observações de Bachelard no que concerne a utilização das analogias no ensino de ciências e na própria natureza e construção do conhecimento científico.

O estudo crítico da evolução dos conceitos da física suscita interessantes considerações acerca do processo de construção do conhecimento científico, passíveis de contradições e equívocos, exibindo uma prática muitas vezes mais polêmica e menos pacífica do que se toma conhecimento.

5.11 - Considerações Finais

Os exemplos ilustrados no texto não almejam, de maneira alguma, esgotar as possibilidades de um tratamento histórico-epistemológico da evolução dos conceitos, idéias e teorias da óptica. Na busca de estimular uma análise crítica no que concerne a trajetória dessa ciência, que enseja de forma incessante em suas raízes históricas a compreensão do que é a luz, explorou-se, neste caminhar, vários conceitos da epistemologia bachelardiana.

Assim, este referencial da moderna filosofia da ciência propiciou diversos questionamentos, discussões e reflexões sobre, por exemplo, a estruturação do conceito de dualidade onda-partícula, após a longa jornada das controvérsias sobre a natureza da luz.

Os ideais de Gaston Bachelard, que em geral suscitam notável fascínio, principalmente por sua veiculação estrita ao ensino e pela dimensão noturna³⁶ de suas obras, poderiam bastar para a escolha deste pensador. No entanto, suas obras dirigidas a problemáticas específicas do desenvolvimento de teorias tanto na física, quanto na matemática e na química desencadearam o interesse particular por sua filosofia (Bachelard, 1975; 1979; 1990; 1999).

³⁶ Bachelard desenvolveu obras no campo da poética, por isso atribui-se a seus trabalhos duas faces: a diurna e a noturna, respectivamente. A primeira refere-se aos livros de epistemologia e a segunda a este lado do devaneio.

É relevante destacar que Bachelard (1999, p.9) divide a evolução do pensamento científico em três grandes períodos históricos:

- O período pré-científico, que abrange toda Antiguidade Clássica, os séculos XVI, XVII e início do século XVIII;
- O período científico, que compreende o século XVIII, todo século XIX, e início do século XX;
- A era do novo espírito científico, que inicia em 1905, com a Teoria da Relatividade de Einstein, marcando um momento de ruptura com paradigmas intocáveis e inabaláveis. Compreende a pesquisa científica contemporânea.

Torna-se possível notar na trajetória histórica da ciência óptica estes estágios do pensamento, que, segundo Bachelard, evidenciam os esforços da razão. Os períodos históricos organizados por este pensador contemplam, em sua essência, características distintas, marcando rupturas neste avanço.

No primeiro período, por exemplo, prevalece fundamentalmente o conhecimento especulativo, guiado pela admiração e pela apreciação do mundo natural, alheio as abstrações matemáticas, a experimentação controlada. Observa-se a natureza na intenção de um entendimento pleno e completo do que ocorre no universo. Os primeiros estudos da óptica no mundo grego, tendo em vista a física do descontínuo (atomista) e a física do contínuo (estóicos), evidencia esta perspectiva.

O confronto Newton-Huygens acerca da natureza da luz modifica este quadro, articulando ao corpo de conhecimento da época, no âmbito da ciência óptica, conceitos mais sistematizados, pensados com rigor, experiências controladas: retrata o segundo período destacado por Bachelard.

As contribuições de Einstein e De Broglie fazem emergir outra vertente do conhecimento, que assume características distintas e inovadoras; como abordadas na seção anterior, esboça o novo espírito científico.

A disciplina Evolução dos Conceitos da Física pode ser terreno fértil para fazer germinar e crescer uma imagem mais dinâmica da ciência, se propiciar uma apreciação mais crítica dos conhecimentos históricos estudados. A formação inicial e continuada de professores, causa de constantes preocupações, não esgota por completo as diversas contribuições dessa abordagem histórico-filosófica: de inegável valor, por exemplo, na formação de bacharéis, que devem, do mesmo modo que os licenciados, ter clareza acerca da história da sua ciência.

Como bem expressa Schemberg (1985, p.52):

“Vemos então que a evolução dos conceitos da física é algo paradoxal e extremamente interessante porque não é um processo retilíneo, mas um verdadeiro ziguezague. Contudo, a ciência vai progredindo, cada vez descobrindo novas verdades. Mesmo quando se volta para uma idéia que já existia antes, não se volta do mesmo modo com que ela havia sido formulada anteriormente.”

E que a história e a filosofia da ciência sirvam de inspiração para um julgamento mais humano da prática dos cientistas, que enseja incansavelmente o entendimento das leis que regem o comportamento da natureza.

5.12 - Questionário

UFSC – Departamento de Física

Evolução dos Conceitos da Física – 2004/01

Nome:

O presente questionário objetiva avaliar a pertinência, influências e contribuições do texto “*A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz*” na disciplina Evolução dos Conceitos da Física. Da mesma forma, enseja obter subsídios para implementar possíveis melhorias quanto a clareza dos conteúdos e estruturação de idéias.

- 1) No que se refere ao perfil da disciplina Evolução dos Conceitos da Física, a presença da abordagem histórica, à luz da filosofia da ciência, é relevante para ampliar reflexões e discussões? Ou afasta a disciplina de seu real objetivo, de natureza fundamentalmente histórica?
- 2) Os conceitos da epistemologia bachelardiana são pertinentes para um estudo crítico-reflexivo da história da óptica?
- 3) O texto ‘*A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz*’ contempla vários aspectos da filosofia bachelardiana, como as rupturas e descontinuidades na evolução da óptica; a importância do erro, no sentido de que um conhecimento se dá contra outro; o novo conceito de verdade; a necessidade da superação dos obstáculos epistemológicos; e a noção de recorrência histórica; a nova visão da Física Contemporânea. Avalie a clareza com que se encontram abordados estes conceitos.
- 4) O texto destaca o papel das analogias em alguns momentos da evolução da óptica, priorizando uma apreciação crítica do uso das analogias tanto no âmbito da ciência quanto no ensino. Examine a relevância dessas discussões no contexto da disciplina Evolução dos Conceitos da Física.
- 5) Posicione-se quanto ao grau de dificuldade encontrado em relação a cada uma das seções do texto, de acordo com a seguinte escala:

- (FC) de fácil compreensão
- (MC) de média compreensão
- (DC) de difícil compreensão
- (SO) sem opinião

Justifique sua resposta.

- () Introdução
- () 1 - A epistemologia histórica de Gaston Bachelard
- () 2 - Newton e a Natureza Corpuscular da Luz

3 - Rupturas e Descontinuidades na Evolução da Óptica

- () 3.1 - Do mundo físico grego ao século XVII: sobre os mecanismos da visão e a natureza da luz
- () 3.2 - Um breve percurso ao longo da história da óptica: de Newton a Einstein
- () 4 - A História Recorrente de Bachelard e as Controvérsias sobre os Espelhos Ardentes de Arquimedes
- () 5 - Um exemplo de obstáculo epistemológico na estruturação da concepção newtoniana da luz
- () 6 - Analogias e Metáforas na Evolução da Óptica: uma análise a partir da perspectiva bachelardiana
- () 7 - Analogias no ensino de Ciências
- 8 - As novas perspectivas da ciência contemporânea à luz da epistemologia bachelardiana
 - () 8.1 - Diálogo entre a razão e a experiência: o papel do instrumental técnico na física contemporânea
 - () 8.2 - A natureza distinta da física quântica: sobre moléculas, átomos e elétrons
- () 9 - A experiência da dispersão da luz branca: uma análise crítica à sua abordagem
- 6) Sugestões e críticas gerais sobre o texto *“A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz”*.

CAPÍTULO 6 – IMPLEMENTAÇÃO DO TEXTO JUNTO À DISCIPLINA EVOLUÇÃO DOS CONCEITOS DA FÍSICA: SISTEMATIZAÇÃO E ANÁLISE DOS DADOS

Com o objetivo de avaliar a receptividade, influências e contribuições do texto '*A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz*', junto aos alunos da disciplina Evolução dos Conceitos da Física do curso de Física da Universidade Federal de Santa Catarina, no primeiro semestre de 2004, este capítulo contempla a análise dos resultados da pesquisa, de natureza qualitativa, com base nos seguintes instrumentos de coleta de dados: observações livres realizadas em sala de aula pela pesquisadora, um questionário e entrevistas.

O critério que conduziu a análise dos dados priorizou os seguintes aspectos: posicionamento crítico, clareza e encadeamento lógico de idéias, firmeza nas convicções defendidas e coerência nos argumentos utilizados. Com base nos objetivos da pesquisa, procurou-se considerar todos os alunos da turma de 2004/1³⁷. Contudo, alguns estudantes não se manifestaram satisfatoriamente ao longo de todo questionário e entrevista, conforme os aspectos explicitados, especialmente em função da falta de clareza em suas considerações veiculadas a estes instrumentos de coleta de dados. Nesse sentido, a ênfase em relação a alguns alunos, em particular, configurou-se essencialmente em virtude das ricas contribuições de suas respostas ao questionário e comentários críticos tecidos na entrevista.

Da amostra pesquisada, 6 estudantes cursam o bacharelado em Física e 8 Licenciatura em Física³⁸: Aluno 1 (B); Aluno 2 (L); Aluno 3 (B); Aluno 4 (B); Aluno 5 (L); Aluno 6 (L); Aluno 7 (L); Aluno 8 (B); Aluno 9 (L); Aluno 10 (B); Aluno 11 (B); Aluno 12 (L); Aluno 13 (L); Aluno 14 (L).

Apresenta-se a seguir a análise das respostas dos alunos com base na questão 1, questão 2, questão 3, questão 4 e questão 5. As sugestões e críticas gerais sobre o texto, concernente à questão 6, estão contempladas ao longo da análise das primeiras cinco questões, pois encerram alguns aspectos enfatizados nas mesmas. Em síntese, esses comentários destacam: a importância do diálogo texto-professor-aluno; a relação entre o texto '*A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz*' e a disciplina Evolução dos Conceitos da Física; e leituras ou disciplinas que influenciaram na compreensão do texto.

No que tange a análise dos dados, é possível verificar que os alunos responderam de forma completa a questão 1 e a questão 2. Nesse sentido, a entrevista é pouco enfatizada nessas questões,

³⁷ Os alunos foram designados por aluno 1; aluno 2; aluno 3; aluno 4; aluno 5; aluno 6; aluno 7; aluno 8; aluno 9; aluno 10; aluno 11; aluno 12; aluno 13; aluno 14

³⁸ (B) Bacharelado; (L) Licenciatura

situação que se inverte quando as demais perguntas são tratadas, onde a entrevista se configura um rico instrumento metodológico para explorar as respostas dos alunos. Explicita-se, na seqüência, as perguntas encaminhadas aos alunos e as suas respectivas respostas, analisadas:

QUESTÃO 1 - No que se refere ao perfil da disciplina Evolução dos Conceitos da Física, a presença da abordagem histórica, à luz da filosofia da ciência, é relevante para ampliar reflexões e discussões? Ou afasta a disciplina de seu real objetivo, de natureza fundamentalmente histórica?

De acordo com as respostas dos 14 alunos foi possível constatar a clareza na idéia de que os episódios históricos não existem objetivamente, constituindo-se livres e independentes da interpretação do historiador. Nesse sentido, o papel da filosofia da ciência no estudo da evolução do conhecimento científico revela-se primordial para os alunos, à medida que intenta promover uma reflexão-crítica acerca do conhecimento histórico adquirido. Nestes termos, ressaltam a pertinência da articulação entre a história e a filosofia da ciência em uma disciplina de Evolução dos Conceitos da Física. As respostas a seguir ilustram este consenso:

Aluno 1: Segundo o aluno 1, a história em geral e da ciência em particular está impregnada das convicções teóricas de quem a descreve. Logo, distintas interpretações permeiam a análise de um episódio histórico:

“Ao estudar a história da ciência, ou qualquer outra talvez, é inevitável fazê-lo à luz das concepções daquele que a transmitiu. Também é inevitável entender a história sob nossas próprias concepções. Logo, deve existir um posicionamento filosófico por parte do ‘historiador’. Aprende-se na atividade científica que existem várias maneiras de se abordar um problema. Além disso, não se espera que alguém ‘reinvente a roda’ toda vez que um problema aparecer. Quero dizer com isso que aquele que deseja analisar a história de nossa ciência de forma crítica, deve fazê-lo com um posicionamento filosófico, e necessariamente deve conhecer os posicionamentos daqueles que vieram antes.”

Aluno 2: O aluno 2 realça a importância de veicular algumas trajetórias históricas da física, como a óptica, à filosofia da ciência. Conforme destaca, os desafios desse empreendimento, em virtude fundamentalmente do tempo disponível em uma disciplina de Evolução dos Conceitos da Física, encorajam uma reflexão acerca dos objetivos inerentes ao estudo da ciência na perspectiva do bacharelado e licenciatura em Física:

“O estudo sobre o processo de produção e de legitimação do conhecimento científico – epistemologia – presente nos objetivos da disciplina fica mais claro quando o conteúdo é abordado de uma forma mais crítica como defende Bachelard, sendo assim, a filosofia da ciência torna-se relevante na disciplina. Esta análise histórica feita à luz da filosofia da ciência enriqueceu e muito minhas concepções a respeito das teorias abordadas. Imagino que se mais seções fossem abordadas desta

forma, ter-se-ia mais espaço para análises e discussões sobre os trabalhos de outros filósofos da ciência tão relevantes quanto Bachelard. Claro que, se cada texto usado no decorrer do curso fosse abordado desta forma, não teríamos tempo para trabalhar todo o conteúdo. Isso pede uma reflexão sobre a formação do profissional em ciência. Seja ele bacharel ou licenciado, ambos deveriam saber mais sobre a construção da ciência que estudaram e que alguns continuarão estudando. Sendo assim, torna-se necessário mais espaço em um curso de formação científica, em nível de graduação, para uma abordagem histórica e também filosófica da ciência.”

Aluno 3: O aluno 3 é bastante incisivo quando assevera que *“uma abordagem histórica puramente factual não existe. Mesmo nas mais monótonas tentativas de se listar datas e personagens, já está embutida uma parcialidade, uma visão de mundo, um viés histórico. Assim como a ciência, a história não consegue se livrar do sujeito que a faz. Assim como as leis da natureza não estão simplesmente por aí prontas para serem observadas, os acontecimentos também não são tão simples assim de serem enxergados. Basta abrir dois jornais quaisquer e notar as diferentes ênfases que são dadas aos mesmos fatos do dia anterior. E isso foi ontem! Portanto, nada melhor do que estar ciente de que a história é uma das invenções da cultura humana e, como tal, terá tantas versões quanto pudermos criar. E nada melhor do que usar a filosofia da ciência para confrontar estas versões. Pelo menos confrontá-las. Retirar esta reflexão sobre a física, a metafísica, seria de certa forma desonesto. Não há outra forma de se trabalhar este assunto, uma vez em que ele é visto à luz da filosofia da ciência. Esta reflexão é essencial para a disciplina.”*

Aluno 4: Este aluno faz um interessante comentário sobre a importância da filosofia da ciência para ilustrar como nasce e se desenvolve o conhecimento científico, um confronto com a visão de um ‘processo criativo’. De acordo com sua definição expressa na entrevista, um ‘processo criativo’ pode ser interpretado como a idéia de que uma teoria científica se desenvolve alheia a um contexto social, histórico e cultural, nasce desvinculada dos pressupostos ou convicções teóricas do cientista, de maneira fortuita e acidental. Em síntese, um conhecimento ahistórico e aproblemático. *“A abordagem à luz da filosofia da ciência não só é relevante como também fundamental. Uma abordagem puramente histórica seria errado e superficial. Considero de fundamental importância a discussão de como as coisas eram feitas, como se fazia ciência, quais as discussões dos cientistas e filósofos de suas respectivas épocas. Isto desmistifica o processo criativo da ciência, nos dá um entendimento do processo que pode nos ajudar ou guiar hoje.”*

Aluno 5: Enfatiza o papel indispensável da abordagem histórica à luz da filosofia da ciência, tendo em vista apresentar uma imagem mais dinâmica da natureza e construção do conhecimento científico, opondo-se às visões ‘erradas’ da ciência, estritamente ligadas ao senso comum. Da mesma forma, acentua a relação história-filosofia da ciência como um importante instrumento na superação das concepções alternativas dos alunos, que muitas vezes se assemelham às raízes históricas de um conceito.

“Sim, a moderna filosofia da ciência é indispensável e relevante para ampliar reflexões e discussões sobre a evolução dos conceitos da ciência. Quando iniciamos a disciplina, a ‘possibilidade de recorrermos ao passado’ através de uma abordagem histórica, à luz da filosofia da ciência, nos trouxe à tona nossas concepções alternativas de alguns anos atrás e que muitas destas concepções fazem parte do cotidiano social de muitos estudantes e leigos da sociedade. Saber quais eram as concepções dos filósofos da ciência, conhecendo quais eram os argumentos que buscavam sustentar estas concepções, torna-se extremamente necessário para compreendermos as razões que por muitas vezes o senso comum nos leva a crer em determinadas concepções erradas da ciência. É justamente pelo fato de recorrermos a filosofia da ciência é que se torna possível tornar o curso de evolução dos conceitos da física muito mais reflexível e debatível. Supor que afastaria a disciplina de seu real objetivo, seria um engano, uma vez que, se recordarmos o trecho de Zanetic, fornecido pelo texto, ‘Todo relato histórico é resultado de uma interpretação (...)’. Com isso temos a oportunidade de apreendermos as diferentes opiniões de historiadores sobre algumas versões relacionadas a evolução de um determinado contexto da ciência.”

Aluno 6: Para o aluno 6, desmistificar a imagem tradicional da ciência, a visão empírico-indutivista, caracteriza o objetivo central da filosofia da ciência no estudo da história da física. Assim, a articulação entre a história e a filosofia da ciência na formação inicial de professores e de pesquisadores configura-se de inegável valor, tendo em vista que ela pode propiciar uma análise mais crítica da evolução do conhecimento científico e conduzir a mudanças significativas nas suas respectivas práticas profissionais.

“Creio que o real objetivo da disciplina Evolução dos Conceitos da Física não seja realizar uma abordagem fundamentalmente histórica. A abordagem histórica, sem uma devida abordagem filosófica, pode fazer com que se tenha uma visão do desenvolvimento científico como sendo algo linear e cumulativo. A abordagem filosófica da ciência torna-se relevante pois possibilita reflexões e discussões, auxiliando no rompimento da visão empírico-indutivista, tão presente no âmbito da ciência e do ensino. Para desmistificar a imagem tradicional da construção do conhecimento científico, devemos analisar as visões de mundo presentes em vários momentos da história. Esta análise só é possível com o auxílio da filosofia da ciência. Para os licenciados, futuros professores, a abordagem filosófica pode fazer com que estes não repassem uma imagem deturpada da evolução do conhecimento científico. Para os bacharéis, em sua maioria futuros pesquisadores, a abordagem filosófica vai propiciar um melhor entendimento da sua ciência e pode contribuir para sua prática, enquanto cientista.”

Aluno 7: De acordo com o aluno 7, o estudo da evolução dos conceitos da física possibilita acessar a origem e construção dos conceitos. Propicia também uma visão de ciência que evidencia tropeços e erros, suas relações com a sociedade, uma ciência que não surge casual ou acidentalmente.

“As discussões em sala de aula são importantes, pois permitem ‘o saber’ de onde veio os inventos e a tecnologia que usamos hoje. Esta disciplina mostra de que modo a ciência foi construída e que nada apareceu de repente. Mostra também os sucessos e insucessos dos cientistas; as barreiras que os mesmos enfrentaram na sociedade e no campo político religioso, ... desde séculos antes de Cristo até em épocas atuais.”

Aluno 8: Em sintonia com grande parte das respostas dos alunos, considera que a filosofia da ciência, articulada à história da ciência, é relevante para apresentar a trajetória de desenvolvimento dos saberes científicos e compreender a ciência não como uma instância neutra e isolada, mas imersa em contexto social, e por isso susceptível às suas interferências. As várias visões delineadas pela filosofia da ciência quanto a um episódio históricos também são destacadas pelo aluno 8.

“Eu considero a filosofia da ciência muito importante para a disciplina Evolução dos Conceitos da Física, porque ela proporciona uma visão de como são formadas e estruturadas as teorias, os conceitos, etc... e como eles evoluem no decorrer da história, e além disso, mostra como a ciência se relaciona e é afetada pelo ‘resto do mundo’ (sociedade, economia, religião, tecnologia, etc...). Tudo isso contribui para as reflexões e discussões, porque as opiniões divergem muito com relação a muitos fatos e visões relacionados com a filosofia da ciência.”

Aluno 9: O aluno 9 acentua porquê se deve estudar a evolução dos conceitos da física: pois propicia o conhecimento de que a ‘a história das ciências, principalmente da física, é descontínua’, opondo-se à idéia de uma ‘ordem cronológica, um processo linear’. Discorre também sobre os objetivos da disciplina, como uma forma de sustentar a pertinência das discussões que a perpassa: “(...) procurou-se na disciplina evidenciar o caminho que o conhecimento vem percorrendo através dos séculos apresentando a melhor forma de compreender suas causas e buscas.” Ou seja, como realça na entrevista, auxilia o entendimento da ciência como um processo.

Aluno 10: Para o aluno 10, interagir com as distintas interpretações que permeiam as vertentes históricas da física, encoraja os alunos a assumir uma postura crítica diante de como se estruturaram os conhecimentos científicos. O papel da filosofia da ciência é o de mostrar, de uma forma mais ‘clara’, conforme expressa, o percurso construído pelos cientistas:

“Sim, acho que é relevante, pois à medida que a filosofia levanta questões pendentes junto a dúvidas, isso pode nos levar a debates que são muito mais produtivos, somos obrigados a colocar-nos sob diferentes pontos de vista da história do cientista, sociedade na época em que se passava os fatos e até mesmo podemos discutir o ponto de vista do historiador a respeito dos fatos. A filosofia científica é muito mais produtiva a medida que contribui mais em mostrar as passagens científicas e como eram criadas, dando assim uma idéia mais clara de como os acontecimentos decorriam.”

Aluno 11: A filosofia da ciência contribui para uma visão mais crítica da evolução histórica da ciência, pois ilustra um espectro amplo de diferentes interpretações vinculadas à natureza e construção científica.

“Os diferentes pontos de vista colocados por filósofos da ciência sobre a história da ciência são de extrema relevância. Estes pontos de vista nos mostram como é importante interagir de maneira crítica com relação a história da ciência.”

Aluna 12: Segundo o aluno 12, a filosofia da ciência propicia analisar a história da ciência de uma forma mais crítica, apresentando uma atividade essencialmente humana. Ressalta que qualquer observação está impregnada de teoria, mantendo estrita ligação à interpretação/visão de mundo do observador. Assim, conforme afirma “(...) já foi bastante discutida em sala de aula a idéia de que uma observação nunca é neutra, ela é sempre acompanhada por uma interpretação”. Acentua que no estudo da história da ciência essa idéia também é válida: “(...) quando investigamos a história, buscando dados em materiais da época, ou textos de historiadores, interpretamos este material de alguma forma, nem que seja tomando como base o que aprendemos no decorrer do curso”.

Expõe ainda que seria mais interessante articular outros referenciais epistemológicos ao estudo da história da ciência em geral:

“(...) Penso que seria melhor fazer essa leitura da história à luz de alguns filósofos, não apenas um, pois o importante são reflexões, discussões e o desenvolvimento de um senso crítico. Em resumo, não acredito que a abordagem histórica, à luz da filosofia da ciência possa afastar a disciplina de seu real objetivo. Mas é claro que tudo tem um limite, não podemos esquecer os fatos históricos ou deixá-los de lado para fazermos interpretações, essa mistura deve ser bem equilibrada.”

Cabe enfatizar que este aspecto referente à abordagem de um filósofo da ciência, como apresenta o texto, foi destacado por vários alunos, conforme será explicitado na questão seguinte, que trata especificamente da pertinência do estudo da história da óptica à luz da epistemologia bachelardiana. Contudo, em geral advertem para o fato da primazia dada a um único filósofo da ciência no estudo da história da ciência, conduzindo, por vezes, a uma representação unidirecional a evolução do conhecimento científico.

Aluno 13: Para este aluno é muito claro que a análise crítica sobre a história da ciência, proporcionada pela filosofia da ciência, configura-se importante e quase que indissociável do estudo histórico:

“Evidentemente que sim. A abordagem histórica pura e simples não contribui para a construção do conhecimento. É necessário discutir e refletir sobre os fatos históricos.”

Aluno 14: Para o aluno 14, a história da física, e da ciência em geral, encoraja e estimula *‘iniciativas a respeito da prática docente’*. Na entrevista, salienta que os debates históricos, polêmicas evidenciadas na interpretação de historiadores acerca da evolução da ciência, fazem o futuro educador refletir sobre que ciência vai ensinar.

O consenso evidenciado nas respostas dos alunos acerca da relevância da abordagem histórico-epistemológica da ciência não compreendeu uma contribuição específica do texto *‘A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz’*. De acordo com a ênfase dada pelo professor da disciplina ao papel das convicções teóricas do historiador ao interpretar um episódio histórico, e nesta perspectiva, as várias vertentes filosóficas da ciência, pode-se

pressupor que a disciplina Evolução dos Conceitos da Física desempenhou significativo papel nas considerações delineadas, contribuindo para sua maior receptividade e compreensão³⁹. Como o texto destinou um segmento específico (seção 2) para discutir aspectos gerais sobre as visões da ciência e de seu desenvolvimento histórico; e o módulo da óptica contempla uma aula específica (aula 1)⁴⁰ sobre a pertinência da história e da filosofia da ciência, o módulo da óptica reforçou e ampliou esse debate.

O contexto em que foi implementado o texto desempenhou importante papel na sua receptividade. Os alunos do bacharelado em física declaram em momentos diversos da entrevista que a disciplina Evolução é a única do currículo que abrange uma discussão de natureza teórica, de inegável valor para uma reflexão-crítica do conhecimento adquirido. Caso a aplicação do texto ocorresse no início da disciplina, possivelmente os resultados se modificariam, em virtude da ausência de subsídios teóricos para seu melhor entendimento crítico.

As observações críticas dos alunos sinalizam a necessidade de discutir propostas que defendam a inclusão nos currículos de Física de uma disciplina que encerre em seu programa e ementa a dimensão epistemológica do conhecimento científico, a fim de possibilitar um estudo mais detalhado da moderna filosofia da ciência. As considerações dos alunos encaminham igualmente a reflexões sobre propostas menos audaciosas, que não demandam uma reorientação e reorganização curricular, mas ao desenvolvimento de novas pesquisas que ensejam estabelecer uma ponte entre determinada trajetória histórica da física e a filosofia da ciência em uma disciplina de evolução dos conceitos da física, levando em conta o tempo disponível.

QUESTÃO 2: Os conceitos da epistemologia bachelardiana são pertinentes para um estudo crítico-reflexivo da história da óptica?

As respostas dos alunos enfatizam a relevância da orientação epistemológica à luz de Bachelard no estudo da história da óptica. O expressivo destaque a alguns conceitos da filosofia histórica de Bachelard, explicita essa postura. De modo geral, também se constituiu traço comum nas considerações dos alunos sugestões acerca da elaboração e implementação de propostas que articulem referenciais epistemológicos distintos à história da óptica, e da física em geral, tendo em vista ilustrar o contraste de

³⁹ Pontos polêmicos da história da física ressaltados no decorrer da disciplina influenciaram na receptividade do texto, pois contemplam uma visão clara de ciência que, tacitamente conduz as discussões e escolhas das referências bibliográficas, por exemplo: Galileu que se apresenta como uma figura polêmica na história da ciência, em virtude das várias visões de sua forma de trabalho, como mostra Zylbersztjan (1998); o início da ciência moderna, destacando Bacon que em 1620 sistematiza o método científico (passos que o cientista deve seguir rigorosamente para desvelar os segredos da natureza e alcançar desta forma conhecimento confiável), articulado às discussões acerca do percurso histórico da Alquimia à Química apresentado em Peduzzi (2002).

⁴⁰ Ver p. 77, seção 4.8 - Implementação do texto '*A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz*' na disciplina Evolução dos Conceitos da Física

visões/interpretações da gênese e desenvolvimento da ciência. Dos 14 alunos que responderam essa questão, 6 tecem comentários sobre a primazia conferida a um epistemólogo particular no estudo da história da ciência. Destes, 4 enfatizam este aspecto no questionário e na entrevista; 1 destaca apenas na resposta ao questionário, enquanto o outro comenta somente em suas declarações na entrevista. Os fragmentos a seguir contemplam as idéias gerais dos alunos, explicitadas nestes dois instrumentos de coleta de dados:

Aluno 1: A idéia de recorrência histórica chamou a atenção do aluno 1, que destacou este conceito no questionário como fundamental na epistemologia bachelardiana e indissociável da interpretação histórica da óptica, conforme apresenta em sua extensa argumentação:

“É interessante notar que Bachelard acredita que devemos verificar a história da ciência tendo como referencial a ciência atual (pág.24,§ 5). Essa concepção, para mim, parece ser uma das mais importantes para interpretar a história da óptica. Que me perdoem os filósofos não cientistas, mas seria impraticável entender a sutileza do problema que se apresentou a Newton e a Huygens, sem o conhecimento atual. Eu li muito sobre a natureza dual da luz, mas só consegui entender o problema depois de ter que deduzir, no caso da dupla fenda, o aparecimento das franjas claras e escuras, usando como base o conhecimento de que o fenômeno é ondulatório. E depois descobrir, estudando o efeito fotoelétrico, que a luz tem comportamento de partícula. Guardada as devidas proporções, acredito que o sentimento de Newton ao ficar sabendo do fenômeno nomeado de difração, se reproduz naqueles que ainda hoje o ‘descobre’. E ao entender esses fenômenos com a ciência atual, acredito ser possível entender a dificuldade de Newton em aceitar de todo a propriedade ondulatória da luz. Sejamos sinceros, alguém, mesmo hoje, consegue visualizar as duas propriedades, ondulatória e corpuscular, agregadas num único ente?”

A imagem descontinuista da razão, na perspectiva de Bachelard, é igualmente realçada: *“A concepção de descontinuidade na história da ciência também é bastante relevante na análise da evolução da óptica. As idas e vindas no processo científico aparecem claramente na óptica após a aceitação da teoria ondulatória de Huygens. O que é visto como um progresso, pode ser visto como um retrocesso já que, como sabemos hoje, a luz não deixa de ter comportamento de partícula. E desse modo a teoria atual não pode ser vista de forma simplista como embrionária em Huygens e Newton, mas como uma concepção que se deu contra aquelas obrigando as gerações posteriores a mudarem sua visão de mundo.”*

O aluno 1 deteve-se à noções específicas da filosofia bachelardiana, mostrando claramente que a partir da leitura do texto se identificou com alguns dos conceitos explorados. Cabe ressaltar ainda que na entrevista o aluno 1 tece comentários sobre a necessidade de abordar outros filósofos da ciência, imprescindível para uma visão crítica do conhecimento científico e para a própria compreensão da epistemologia estudada:

“Quando você tem o conhecimento de outra filosofia, ao mesmo tempo daquela que você está aprendendo, você tem base para poder aceitar ou não, ou se posicionar de algum modo em relação às duas filosofias, aquela que você já sabia e a que você está aprendendo. Eu não sei como isso poderia ser colocado no curso, por exemplo, na sala de aula o professor fez isso, chamou o Kuhn e explicou a visão de Kuhn da revolução da ciência na história, e achei que isso foi legal pra entender Bachelard.”

Aluno 2: Manifesta-se favoravelmente à articulação entre os pressupostos básicos da filosofia histórica de Bachelard e a história da óptica, sublinhando no questionário a objeção à imagem tradicional da ciência, a visão empírico-indutivista, como o núcleo central da epistemologia bachelardiana e evidência da pertinência dessa articulação.

“Quando fizemos a análise do desenvolvimento das idéias da óptica, desde os antigos gregos até a mecânica quântica, percebemos que este desenvolvimento deu-se de maneira descontínua e não cumulativa, contrariando a visão empírico-indutivista e caracterizando os períodos de rupturas e discontinuidades defendidos por Bachelard. Esta característica faz parte, conforme enfatizado pelo texto, dos conceitos centrais da epistemologia bachelardiana, mostrando assim, a pertinência da epistemologia bachelardiana neste estudo. Outros conceitos estudados também se mostraram pertinentes no estudo do desenvolvimento da história da óptica, como a valorização do erro pensado, fruto do esforço do pensamento, no sentido de que um conhecimento se dá contra outro; a noção de recorrência histórica; o novo conceito de verdade, com caráter provisório; os obstáculos epistemológicos; as novas perspectivas da física contemporânea dando primazia ao papel do instrumental técnico no desenvolvimento das idéias científicas.”

Embora não comente nesta questão específica a importância de tratar outras visões de ciência, na resposta à questão 1 ele expõe essa preocupação, conforme analisado anteriormente: *“(...) Imagino que se mais seções fossem abordadas desta forma, ter-se-ia mais espaço para análises e discussões sobre os trabalhos de outros filósofos da ciência tão relevantes quanto Bachelard...”*

Aluno 3: No que concerne a articulação entre a história da óptica e a filosofia de Bachelard ilustrada no texto, julga que a *‘visão de Bachelard pode ser entendida e exemplificada bem com a história da óptica’*. Segue destacando que já teve contato com as epistemologias desenvolvidas por Popper e Kuhn, interrogando-se no questionário acerca das possíveis contribuições dessas vertentes filosóficas no estudo da história da óptica. Esclarece na entrevista que iniciou o bacharelado em Física na Universidade de Brasília, cursando a disciplina Teoria da Ciência, destinada à grade curricular optativa, entretanto, pouco se recorda das filosofias estudadas. A ênfase da disciplina, de acordo com o programa e a ementa, dirigiu-se a uma abordagem unicamente filosófica, desvinculada do âmbito histórico. As discussões conduzidas nas aulas priorizaram dois referenciais da epistemologia contemporânea, Popper e Kuhn, e a bibliografia apoiou-se em obras específicas desses autores. Contudo, o questionamento apresentado pelo aluno parece emergir também em virtude das discussões em sala de aula ao longo da

implementação do texto, que confrontaram a idéia de rupturas e descontinuidades no pensamento bachelardiano e a visão kuhiana do avanço da ciência, concebido por longos períodos de ciência normal interrompidos por revoluções científicas.

A fim de conferir maior clareza quanto aos critérios que balizaram a escolha do referencial epistemológico, o aluno 3 sugere na resposta ao questionário e em suas declarações na entrevista que, conforme o público ao qual se destine o texto, seria indispensável explorar com mais ênfase, na introdução, as premissas teóricas que distinguem Bachelard, como por exemplo, sua larga prática docente no ensino secundário. Continua propondo que se incorpore à introdução mais subsídios teóricos sobre a filosofia contemporânea da ciência, com o intuito de contextualizar Bachelard historicamente, para que não se transmita a *'falsa impressão de que essa visão é a correta'*.

Aluno 4: Para o aluno 4, valer-se de uma única vertente filosófica, como a de Bachelard, pode, se não devidamente contextualizada, difundir uma visão estrita e fechada da gênese e desenvolvimento da ciência. Assim, pondera nas respostas ao questionário que *"(...) seria interessante adicionar um ou dois filósofos, historiadores da ciência para fazer uma comparação e discussão"*. Nessa mesma direção, expõe na entrevista que o confronto suscitado em sala de aula entre Bachelard e Kuhn deve de alguma forma ser incorporado ao texto, no sentido de afastá-lo de um enfoque *'tendencioso'* e *'unidirecional'*.

Aluno 5: Este aluno, em particular, recorre a vários conceitos da epistemologia histórica de Bachelard; como a idéia de verdade efêmera e provisória, as constantes rupturas na evolução da óptica, e a natureza distinta da física quântica, para corroborar sua opinião acerca do relevante papel da filosofia bachelardiana no estudo da história da óptica.

"Sim, acredito ser de fundamental importância, em se tratando do estudo da óptica, aplicar os conceitos da epistemologia bachelardiana. Para Bachelard o conceito de verdade absoluta não pode ser aplicado no contexto da evolução do conhecimento, uma vez que as rupturas estão sempre presentes. Os conceitos da epistemologia bachelardiana nos proporciona repensar como se constroem e mudam os conhecimentos científicos. Basta recordarmos que com o advento da teoria quântica, as concepções empírico-indutivistas perderam 'espaço', uma vez que estava fundamentada numa perspectiva limitada sobre a visão da fundamentação da atividade científica..."

Aluno 6: Sintetiza os pressupostos básicos da epistemologia histórica de Bachelard, e em seguida localiza esses conceitos na evolução histórica da óptica para analisar a pertinência desse referencial. Ressalta a crítica à visão empírico-indutivista da ciência, que concebe o conhecimento como resultado da observação neutra da natureza; acentua o desenvolvimento da ciência como um processo descontínuo; a nova perspectiva do erro, interpretado positivamente, e não como um *'acidente lamentável'*; os entraves ao avanço da ciência em decorrência dos obstáculos epistemológicos; e o

conceito de recorrência histórica. Dado o caráter completo de sua resposta, cabe apresentar integralmente suas considerações:

“Para analisarmos a pertinência da epistemologia bachelardiana para um estudo crítico-reflexivo da história da óptica, devemos entender quais os pontos básicos de tal epistemologia. Bachelard critica a visão empírico-indutivista da ciência, no qual o conhecimento é resultado da observação neutra da natureza. De acordo com a epistemologia bachelardiana o desenvolvimento da ciência não é linear, sendo resultado de um processo de rupturas e discontinuidades. O erro não é visto como um ‘acidente lamentável’, mas sim como algo positivo, necessário a construção do conhecimento científico. As teorias/modelos nas quais os cientistas acreditam podem ser entraves ao surgimento de novas teorias e, conseqüentemente podem dificultar o avanço da ciência. Essas teorias/modelos recebem o nome de obstáculos epistemológicos. Bachelard também utiliza o conceito de história recorrente. Para realizarmos o estudo da história da óptica à luz da epistemologia bachelardiana, devemos tentar localizar os pontos básicos de sua epistemologia no desenvolvimento da óptica.

- ❖ *Rupturas e discontinuidades: estão relacionadas com a ascensão da teoria ondulatória e o declínio da teoria corpuscular de Newton. Mais tarde a observação e explicação do efeito fotoelétrico representa um período de discontinuidade.*
- ❖ *Importância do erro: está relacionada as oscilações entre a teoria ondulatória e a teoria corpuscular.*
- ❖ *Obstáculos epistemológicos: a analogia da luz com o som, feita por Huygens. De acordo com esta analogia, a luz seria uma vibração mecânica, necessitando de um meio material para se propagar.*
- ❖ *História recorrente: pode ser utilizada para os estudos sobre o provável episódio envolvendo os espelhos ardentes de Arquimedes.*

Assim, conclusivamente avalia que “(...) os conceitos da epistemologia bachelardiana são pertinentes para um estudo da história da óptica, pois esses conceitos são localizados no desenvolvimento desta área da física”.

Este aluno não menciona em nenhuma questão os ‘perigos’ de tratar um epistemólogo particular no estudo da história da ciência, e da física em particular.

Aluno 7: Não há clareza em sua resposta dada ao questionário. Na entrevista ressalta a noção de ruptura (não-linearidade do avanço do conhecimento) na epistemologia bachelardiana, pois em sua opinião exemplifica a pertinência da vinculação apresentada no texto entre a filosofia de Bachelard e a evolução dos conceitos da óptica.

Aluno 8: Justifica seu posicionamento em favor da filosofia bachelardiana no estudo da história da óptica apontando que as idéias desse referencial podem ser encontradas nessa trajetória histórica, auxiliando um exame mais crítico da ciência óptica: “(...) na história da óptica são claras as rupturas, discontinuidades, obstáculos epistemológicos, etc,... facilitando o entendimento dessa epistemologia. A epistemologia bachelardiana propicia, neste caso, uma visão crítica evidenciando coisas como a importância do erro e o uso de analogias e

metáforas, mostrando uma evolução da ciência descontínua e com rupturas, contrastando com a visão empírico-indutivista.”

Aluno 9: Manifesta-se acerca do estudo da história e da filosofia da ciência de maneira geral, sem tratar especificamente sobre a articulação ilustrada no texto. Nestes termos, assevera no questionário e na entrevista que a filosofia da ciência permite perceber que não existe uma *‘verdade absoluta’*, em suas próprias palavras, da história da ciência. Assim, a investigação histórico-filosófica proporciona vislumbrar as distintas visões da ciência, contextualizando-as no tempo.

Aluno 10: Caracteriza como fundamental a abordagem ilustrada pelo texto. As rupturas e discontinuidades evidenciadas ao longo da evolução da óptica, na perspectiva de Bachelard, rompem com a imagem usual do avanço histórico da óptica. *“Claramente se mostram muito pertinentes no texto além de trazer no conceito das rupturas científicas um novo modo de pensar a respeito das trajetórias da história da óptica além de apontar as discontinuidades que do ponto de vista de Bachelard são importantes pois apontam as rupturas entre as novas e as velhas teorias.”*

Aluno 11: Examina esta questão apontando, no questionário e na entrevista, que a epistemologia de Bachelard não pode ser entendida como a visão mais correta da ciência. Menciona no questionário que as discussões em sala de aula contribuíram nesse sentido: *“(...) deve-se deixar claro que a epistemologia bachelardiana não se trata de uma verdade absoluta. Acredito que isso tenha se mostrado claramente, durante as aulas, nas discussões.”*

Aluno 12: Para o aluno 12 configura-se válida a maneira com que foi abordada a história da óptica, essencialmente porque *“(...) alguns trechos da história da óptica haviam passado despercebidos nas leituras anteriores⁴¹, mas ao ler este texto no qual consta as idéias de Bachelard, estes mesmos trechos acabaram por chamar a minha atenção. Um exemplo disso, são os tais acessos que a princípio passaram despercebidos e depois da leitura deste texto me forcei a refletir a respeito”*. Justifica que com isso não está *“afirmando que a interpretação bachelardiana seja a mais correta, e sim que, a leitura da história à luz da epistemologia de Bachelard auxiliou reflexões. Mas a interpretação de outros filósofos também poderia auxiliar”*.

Aluno 13: Critica no questionário a reflexão (de qualquer gênero) alicerçada em apenas um referencial ou, em suas palavras, *‘ponto de vista’*. Contudo, em nenhum momento, nem nas respostas ao questionário ou nas declarações da entrevista, menciona especificamente se o texto transmite a idéia de que a

⁴¹ Conforme esclarece na entrevista, refere-se à história da óptica apresentada no livro *‘Origens e Evolução das Idéias da Física’*, estudado anteriormente à implementação do texto.

epistemologia bachelardiana configura-se verdade única. Na entrevista, afirma apenas que: *'(...) a reflexão sobre qualquer tema não deve ser feita apenas sob um único ponto de vista'*.

Aluno 14: Recorre aos conceitos da filosofia bachelardiana para destacar a coerência da abordagem veiculada ao texto no tratamento da história da óptica, com ênfase à noção de rupturas e ao valor do erro no processo de construção do saber científico.

'Para Bachelard 'a ciência se desenvolve por descontinuidade, rompe com o saber sedimentado', e estes conceitos serão sempre pertinentes para um estudo crítico-reflexivo da história da óptica, uma vez que vem mostrando um rompimento de estruturas conceituais, dando valor para todo o processo, mesmo os erros assumiram grande valor e mostraram que muito mais precisa ser feito, uma vez que o conhecimento não segue uma linearidade.'

Apesar da constante preocupação presente nas observações dos alunos no que se refere à abordagem histórica da óptica à luz de um filósofo da ciência em particular, fica claro, a partir das respostas ao questionário e da entrevista, que a imagem transmitida pelo texto e discussões em aula não foi a de que a epistemologia histórica de Bachelard constitui-se verdade única e absoluta.

Uma consideração específica do aluno 12, mencionada acima, contempla uma interessante observação nesse sentido, ilustrando uma síntese do papel dos ideais de Bachelard no estudo da história da óptica: *"(...) alguns trechos da história da óptica haviam passado despercebidos nas leituras anteriores, mas ao ler este texto no qual consta as idéias de Bachelard, estes mesmos trechos acabaram por chamar a minha atenção. Um exemplo disso, são os tais acessos que a princípio passaram despercebidos e depois da leitura deste texto me forcei a refletir a respeito"*. Nesses termos, afirma que o texto contribuiu significativamente para uma reflexão-crítica da natureza e construção da história da óptica. Como o estudo da história da óptica apresentada no livro *'Origens e Evolução das Idéias da Física'* (Rocha et al) precedeu a implementação do texto *'A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz'*, de acordo com o aluno 12, a epistemologia de Bachelard suscitou a reflexão de aspectos que *'havam passado despercebidos'*. Conforme discorre em seguida, os ideais de Bachelard não se configuram verdade absoluta, mas estimularam o pensar sobre os episódios históricos que desencadearam acirradas controvérsias acerca da natureza da luz na história da óptica.

Como se pode evidenciar, os alunos posicionam-se favoráveis ao encaminhamento histórico, tendo em vista a moderna filosofia da ciência. De acordo com o posicionamento geral dos mesmos, a filosofia da ciência ilumina e orienta a história da ciência. Assim, uma análise crítica do trabalho científico, fundada em uma epistemologia não positivista, deve acompanhar a disciplina de Evolução dos Conceitos da Física, a fim de desmistificar concepções equivocadas e distorcidas do trabalho científico. Contudo, tendo em vista as sinalizações dos alunos acerca da primazia conferida a um filósofo da ciência em particular, deve-se sempre enfatizar o contexto histórico no qual nasce o modelo

teórico-epistemológico destacado, a fim de ilustrar que o referencial adotado se configura **uma** vertente filosófica entre outras tantas que compõe o quadro da moderna filosofia da ciência.

QUESTÃO 3: O texto *'A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz'* contempla vários aspectos da filosofia bachelardiana, como as rupturas e descontinuidades na evolução da óptica; a importância do erro, no sentido de que um conhecimento se dá contra outro; o novo conceito de verdade; a necessidade da superação dos obstáculos epistemológicos; e a noção de recorrência histórica; a nova visão da Física Contemporânea. Avalie a clareza com que se encontram abordados estes conceitos.

Esta questão tem suas respostas bastante variadas. O aluno 1 e o aluno 3 salientam que a noção de rupturas e descontinuidades na concepção bachelardiana ficou mais clara quando confrontada em sala de aula com a idéia de ruptura na concepção kunhiana. Outros alunos sublinham este aspecto em suas respostas à questão 5, quando analisam o grau de clareza em relação a cada seção do texto. O aluno 2 e o aluno 4 destacam que o conceito de recorrência histórica apareceu timidamente no texto, mencionado apenas no título da seção 5, que contempla a articulação desse conceito à história da óptica. A idéia de como Bachelard concebe o estudo da história da ciência ficou claro, contudo, os alunos não conseguiram relacionar o termo recorrência histórica ao seu significado. Outros alunos declaram dificuldades similares na questão 5, sinalizando essa lacuna presente neste segmento do texto. Os demais alunos, com exceção do aluno 12, que não respondeu esta questão (nem se manifestou na entrevista, quando questionado), tecem considerações diversas sobre a clareza concernente à abordagem dos conceitos da epistemologia bachelardiana.

Aluno 1: De acordo com a apreciação crítica do aluno 1, os conceitos da epistemologia histórica de Bachelard apresentam-se com clareza. No entanto, explicita em sua argumentação a primordial relevância das intersecções estabelecidas em sala de aula entre o modelo de Bachelard e de Kunh concernente à natureza e construção do conhecimento científico, especificamente as semelhanças e diferenças presentes na idéia de ruptura entre esses referenciais:

“Realmente a maioria dos conceitos de Bachelard me pareceram bastante claros. Foi feito em sala de aula algumas comparações entre as concepções de Bachelard e de Kunh. Esse recurso pareceu tornar mais clara a concepção de Bachelard a respeito da descontinuidade histórica. Talvez esse recurso pudesse ser usado no texto.”

Aluno 2: O aluno 2 salienta que algumas das características centrais da epistemologia de Bachelard, como obstáculos epistemológicos e recorrência histórica, respectivamente, foram completamente compreendidas somente após a explanação feita em sala de aula, destacando a contribuição

fundamental das discussões no sentido de propiciar maior clareza do tema estudado, como mostra os fragmentos de sua resposta, abaixo elencados:

“A necessidade da superação dos obstáculos epistemológicos: a abordagem desta parte da epistemologia histórica de Bachelard deu-se de maneira rápida e objetiva. Durante a leitura, não obtive muitos esclarecimentos sobre o tema, mas depois da discussão em sala e de nova leitura consegui obter algum esclarecimento sobre a idéia de obstáculo epistemológico para Bachelard...”

“A noção de recorrência histórica: este conceito foi abordado no estudo da possível façanha de Arquimedes, atear fogo em navios romanos com espelhos ardentes para salvar Siracusa. Este conceito só veio ficar mais claro para mim, durante a discussão em sala de aula, onde concluí que segundo a epistemologia bachelardiana, devemos abordar criticamente a história da ciência, para formar nossos conceitos e idéias sobre a verdade ou não dos fatos abordados.”

O aluno 2 não detalha nesta questão as dúvidas específicas encontradas no estudo desses conceitos abordados no texto. Contudo, na resposta à questão 5 discorre sobre os principais aspectos que constituíram a gênese de suas dificuldades, mais adiante devidamente analisados. Outros alunos manifestaram igualmente dificuldades no segmento do texto que contempla a noção de recorrência histórica, expondo também na questão 5, destinada a análise de cada seção que compõe o texto, suas análises nesse sentido. Cabe ressaltar que a entrevista auxiliou expressivamente no esclarecimento de algumas lacunas presentes nas respostas dos alunos, garantindo um aprofundamento de suas opiniões, minimizando, por conseguinte, possíveis falhas em inferências indevidas.

Segundo o aluno 2, a visão de Bachelard acerca da física moderna explorada no último segmento do texto, promoveu fascínio e estímulo por veicular-se à alguns aspectos da ciência física do início do século XX, conforme declara:

“A nova visão da Física contemporânea: talvez por trabalhar com a física contemporânea, aquela que ainda se procura algumas respostas, a abordagem deste conceito conseguiu prender mais a minha atenção do que os anteriores. Foi muito bem abordado. Ficou muito claro, principalmente a parte da epistemologia de Bachelard em que é dada a primazia as idéias, precedentes da experiência.”

Uma característica básica da epistemologia histórica de Bachelard, e da moderna filosofia da ciência, retrata que a observação está impregnada de teoria. Nesta perspectiva, a experiência (no termo cunhado por Bachelard, especificamente quando aborda o novo espírito científico, a ciência moderna) pressupõe conjecturas e expectativas teóricas. Entretanto, a idéia da ligação indissociável entre a razão e a experiência que permeia a atividade científica, para o aluno 2, emergiu neste segmento do texto, bem caracterizada na ciência contemporânea. Os demais conceitos articulados no texto foram entendidos com clareza, conforme declara:

- ❖ *“Rupturas e descontinuidades: foi de fácil compreensão este aspecto da epistemologia bachelardiana quando a análise foi aplicada no desenvolvimento das idéias da óptica, onde ficou claro que as idéias dos antigos gregos não podem ser consideradas precursoras das teorias ondulatória e corpuscular da luz.”*
- ❖ *“A importância do erro, no sentido de que um conhecimento se dá contra outro: outro aspecto da filosofia bachelardiana que foi bem esclarecido pelo texto quando aplicado no estudo da óptica. As rupturas ocorridas no desenvolvimento da óptica, forçaram a comunidade científica a pensar e repensar constantemente a maneira de ver os fenômenos luminosos, apontando um profundo dinamismo na ciência que exigiu a renúncia constante de bases filosóficas ultrapassadas.”*
- ❖ *“O novo conceito de verdade: este conceito foi abordado de forma rápida, mas clara pelo texto. Tendo como idéia principal que a verdade se constitui provisória e desta forma, o erro passa a ter um papel positivo na prática científica.”*

Entre as considerações do aluno 2, a falta de familiaridade com este tipo de leitura também é mencionada como um dos fatores responsáveis pelas dificuldades no entendimento de algumas seções: *“Eu acho que o texto de uma maneira geral, não por culpa dele, mas, de repente por culpa da nossa formação, acabamos entendendo alguns pontos, e acabamos passando por outros pontos, por falta de costume com este tipo de leitura, mas depois da discussão em sala, complementada pela segunda leitura do texto, alguns conceitos não claros na primeira leitura, como obstáculos, a história recorrente, passou meio batido, e com os questionamentos em sala de aula poucos souberam responder.”*

Aluno 3: O aluno 3 realça no questionário que a noção de rupturas e descontinuidades foi abordada com clareza. Defrontar Bachelard e Kuhn nas discussões em sala de aula favoreceu a compreensão: *“(…) para Bachelard as rupturas ocorrem de forma mais sutil e freqüente do que para Kuhn”*. Continua suas observações críticas *“(…) acho que este aspecto deveria ser melhor explorado, para reforçar a idéia de que nem sempre estas rupturas jogam uma teoria no lixo – caso da evolução da idéia ondulatória da luz, que partiu da analogia com o som, mas foi ousadamente modificada por Young”*. Nesta mesma perspectiva, quanto aos obstáculos epistemológicos sugere que *“deveria ser enfatizado o fato de que não é necessário abandonar uma teoria por completo”*.

Aluno 4: Expõe na entrevista que as rupturas foram bem evidenciadas ao confrontar-se as contribuições da física do contínuo e do atomismo relativas ao estudo da luz com as idéias da natureza da luz a partir do século XVII, caracterizando o caráter descontínuo da razão: *“(…) Cria-se a idéia de que por exemplo, ah, os atomistas tinham uma idéia de que a luz era partícula, então quer dizer que a luz que Newton via era igual, a partícula de Newton era igual à partícula dos gregos? Não, não era. A questão da propagação da luz como onda que os gregos tinham era igual a de Huygens? Não. Da mesma forma que os átomos dos gregos não são iguais aos átomos que mais tarde nós temos. Mas a idéia que se passa para nós é de que na época*

começou a se estudar de novo a questão do átomo... ah os gregos tinham, lá antigamente eles já sabiam o que era o átomo, eles resgatavam todo o conceito, tudo aquilo que eles trabalhavam em cima daquilo para melhorar. Então a importância da discussão é justamente para dizer, não é igual, os gregos tinham uma visão ondulatória e a visão corpuscular deles, dentro do que eles acreditavam, dentro das teorias de mundo deles, e Huygens e Newton tinham as idéias deles dentro da nova ciência que se tinha na época.”

Para o aluno 4, a noção de recorrência histórica, em princípio, ficou um pouco confusa no sentido de articular o termo à sua significação, como afirma no questionário:

“Não ficou muito claro o que era a recorrência histórica. Mesmo lendo tudo sobre dita recorrência me escapou o conceito que foi obtido em discussão em sala”. Na entrevista, também tece comentários nesse sentido:

“Na questão da recorrência histórica aconteceu foi justamente como foi na sala de aula, a gente estava falando justamente sobre isso... só que eu não consegui associar com a palavra, eu achava que estava dentro da epistemologia de Bachelard, eu não sabia que tinha um nome específico, que era história recorrente...”

Segundo o aluno 4, as dúvidas encontradas na leitura do texto ilustram o imprescindível valor das discussões em sala de aula. De acordo com as observações comentadas na entrevista ressalta que *‘a questão da discussão em sala de aula é importante’* porque quando *‘(...) você lê, você vai analisar do seu jeito’*. Nesse sentido, *‘ao entrar em contato com outros pensamentos, então você vai ter a oportunidade um, de você de fato consolidar o que você pensa, eu estou certo, eu vou defender a minha idéia, e se você estiver certo, ótimo, se você tem uma margem de dúvida, na hora da discussão, você ou retira esta sua dúvida, ou vai dar margem a algumas perguntas que vai te esclarecer melhor’*.

A explanação do aluno 4 evidencia o fundamental papel da **triade texto-professor-aluno** tanto no que se refere ao texto estudado *‘A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz’* quanto na leitura de outros textos.

Aluno 5: Salienta que *“a partir do texto ‘A Epistemologia Histórica de Bachelard no estudo da Evolução da Óptica’ tivemos a oportunidade de contemplarmos vários aspectos da filosofia bachelardiana”*. Destaca diversos conceitos explorados ao longo do texto afirmando clareza na compreensão desses conceitos abordados na história da óptica:

“Podemos verificar as controvérsias ocorridas entre adeptos da teoria corpuscular e ondulatória, no qual a passagem ocorrida entre a visão de mundo a respeito da luz constitui em vários momentos, rupturas conceituais, extremamente necessárias para a evolução do conceito. Mesmo quando a óptica era tratada como um fenômeno ondulatório, pode-se notar os erros presentes, quando acreditava-se que este fenômeno assemelhava-se aos fenômenos sonoros, desta forma fica caracterizado um erro ao acreditarem na existência de um meio para a propagação da luz, ou seja, no éter. Com isso, o éter constituiu um obstáculo epistemológico, decorrente de erros, no entanto muito essencial para se fundamentar o caráter ondulatório da luz. Relacionando a recorrência histórica, há quem acredita que Newton seria precursor da teoria onda-partícula da luz, nota-se que seria um erro adotar esta visão, conhecendo e percebendo a descontinuidade que há na

evolução deste conceito da óptica. Um outro aspecto importante é caracterizado pela nova visão da física contemporânea, onde um erro, como vimos, tem suas finalidades para avaliar conhecimentos, de modo que um conhecimento pode se dar contra outro. Neste sentido o conceito de verdade absoluta não pode ser mais aceito na comunidade científica, pois contribuiria para o surgimento de obstáculos epistemológicos, que foi visto, recorrendo a história, constitui um forte entrave na evolução da ciência.”

Aluno 6: Identifica criticamente lacunas em alguns segmentos do texto. No que se refere às rupturas e descontinuidades, salienta que incorporar mais exemplos possibilitaria um entendimento maior desse conceito. Elucida que o estudo em sala de aula contribuiu consideravelmente no esclarecimento das dúvidas: *“Com relação as rupturas e descontinuidades, esses conceitos poderiam ter sido melhor explicados, fornecendo mais exemplos. A compreensão deste conceito foi auxiliada com as discussões em sala de aula.”*

Quanto à idéia do erro na concepção bachelardiana destaca: *“A importância do erro está abordada de maneira pertinente. No entanto, não se discutiu de maneira adequada qual foi a importância do erro no desenvolvimento da óptica.”* Enfatiza uma dúvida concernente aos obstáculos epistemológicos, destacando que esse conceito deveria ter sido mais explorado: *“O reconhecimento e a necessidade da superação dos obstáculos epistemológicos poderiam ter sido melhor explicados. Uma dúvida que o texto não respondeu: A teoria corpuscular da luz (Newton) foi um obstáculo epistemológico?”* Um fato curioso é que o aluno 6 não mencionou esses questionamentos e dúvidas ao longo da implementação do texto, expressando-os somente em suas respostas ao questionário e entrevista.

Aluno 7: Desvia sua resposta do objetivo central da pergunta, sintetizando o que o texto aborda. Retomada esta questão na entrevista, o aluno 7 afirma sucintamente que os conceitos estão claros, sem se deter a noções específicas da epistemologia bachelardiana.

Aluno 8: Conforme menciona no questionário, alguns conceitos da epistemologia bachelardiana não foram compreendidos com clareza: *“Alguns desses conceitos não ficaram muito claros a princípio, mas com o uso dos exemplos da história da óptica não foi difícil entendê-los.”* Na entrevista esclarece que quando estas noções são tratadas na segunda seção do texto⁴² (desvinculadas dos episódios históricos da óptica) ficam incompreensíveis. No entanto, ao longo do texto, articulados a trajetória histórica da óptica, tornam-se claros. Essa observação do aluno mostra as dificuldades inerentes ao próprio estudo da filosofia da ciência.

⁴² A segunda seção do texto contempla aspectos gerais da epistemologia bachelardiana, contudo, sem menção a exemplos específicos da história da óptica.

Aluno 9: Menciona na entrevista que os conceitos estão claros, sem se posicionar mais detalhadamente.

Aluno 10: Critica o segmento do texto referente à subseção 3.1, *‘Do mundo físico grego ao século XVII: sobre os mecanismos da visão e a natureza da luz’*, quando confronta as discordâncias entre historiadores acerca das concepções de Pitágoras, Platão e Aristóteles sobre os mecanismos da visão, destacando que esta parte ficou extensa e confusa, desnecessária: *“Quanto a parte do texto que fala sobre rupturas e descontinuidades na evolução da óptica, configura-se um pouco subjetiva em relação a idéia principal. Essa parte do texto poderia ser mais direta ao falar sobre a idéia principal, acho que o texto divaga em alguns pontos e idéias, ao fazer muitas referências a livros distintos, tais idéias escapam um pouco do contexto deixando as discussões em sala muito dispersas que não objetivam muito bem o contexto central.”*

Quanto ao conceito de erro, está claro:

“Já com respeito à importância do erro, o texto é mais direto e deixa claro que esse erro é fruto do esforço do pensamento e não uma forma gratuita causada pela distração. Tal erro na concepção de Bachelard não é o tradicional erro infecundo, mas sim a ferramenta necessária para poder-se avançar, pois é através da correção deste erro que se avança à ciência.”

Discorre sobre o conceito de verdade (efêmera) e sobre os obstáculos epistemológicos como conceitos que também foram apresentados de forma clara:

“Quando se fala que um conhecimento se dá contra o outro o texto também deixa claro que não existe uma verdade científica inquestionável, mas sim dinâmicas todas sujeitas a se tornarem ultrapassadas.

Os obstáculos epistemológicos são verdadeiras resistências na produção do conhecimento comenta Bachelard, tais obstáculos são também infecundos, pois não deixam o pesquisador avançar em sua ciência, impede-se as mudanças aonde o que vem em contrapartida são os atos epistemológicos (idéias súbitas resultado de muito esforço estudo de um trabalho).”

A análise sobre a nova visão da física contemporânea contemplada pelo texto, à luz de Bachelard, também configura-se clara:

“Rompendo com o saber comum vem a física contemporânea que trabalha em cima de novas estruturas de pensamento rompendo com o saber comum e apoiada diretamente pelo arsenal técnico instrumental. Bachelard deixa claro que o saber comum é uma fonte de erros não servindo mais para as novas formas de ver a ciência isso é evidenciada em um bom trecho do texto e traduz com clareza a idéia.”

Aluno 11: Este aluno aponta um parágrafo específico do texto como de difícil compreensão, sugerindo que seja tratado mais objetivamente:

“Apenas em algumas ocasiões o texto se mostra de difícil entendimento. Uma delas se encontra na página 13, seção 3.1, primeiro parágrafo. A pergunta é longa e cansativa demais. Quando você está lendo o final da pergunta, já não sabe mais qual era o seu início.”

Aluno 12: Não respondeu esta questão.

Aluno 13: De forma bastante concisa, o aluno 13 assinala que de maneira geral o texto está claro, sem se ater a noções específicas da epistemologia bachelardiana: *“Todo o texto está claro e evidencia a descontinuidade Bachelardiana.”*

Aluno 14: Sem detalhar sua análise, afirma que o texto de maneira geral está claro.

Apresenta-se contemplada nas observações críticas de diversos alunos, a importância da articulação **texto-professor-aluno** na compreensão dos conceitos da epistemologia histórica de Bachelard. De modo geral, destacam que as discussões em sala de aula constituem-se fundamentais, tendo em vista suprir dúvidas, em virtude essencialmente da falta de familiaridade com a filosofia da ciência. A sala de aula configura-se igualmente um espaço dirigido ao debate, troca de idéias, conforme explicita o aluno 4. No caso do texto *‘A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz’*, as discussões complementaram a leitura prévia, conduzindo a novas reflexões e articulações, como por exemplo, a breve explanação da epistemologia kuhniana, com ênfase à idéia de ruptura e descontinuidade no avanço da ciência. Como os modelos teóricos de Bachelard e Kuhn, no que se refere a não-linearidade da construção do conhecimento científico ilustram intersecções, este recurso, de acordo com os alunos, contribuiu significativamente para o entendimento da noção de ruptura na perspectiva bachelardiana.

Durante a implementação do texto, constatou-se nas discussões em sala de aula resistência à idéia de ruptura, em virtude essencialmente da forma equivocada com que foi interpretada. Para alguns alunos, a noção de ruptura veiculava-se a um abandono completo de tudo que a ciência havia alcançado até então: como se as fontes de inspiração do cientista estivessem distanciadas de um contexto de discussão, e neste sentido, a partir da mente pura e limpa emergisse uma idéia iluminadora capaz de fazer germinar e crescer uma teoria científica, em um processo de caráter essencialmente individual.

QUESTÃO 4: O texto destaca o papel das analogias em alguns momentos da evolução da óptica, priorizando uma apreciação crítica do uso das analogias tanto no âmbito da ciência quanto no ensino. Examine a relevância dessas discussões no contexto da disciplina Evolução dos Conceitos da Física.

De maneira geral as respostas enfatizam a importância de estudar criticamente o uso das analogias. Grande parte dos alunos destaca a relevância de discutir a utilização desse recurso linguístico na produção do conhecimento científico. Esse aspecto aparece especificamente nas respostas do aluno 1, aluno 3, aluno 4, aluno 7, aluno 9, aluno 10, aluno 12 e aluno 14. O aluno 2, aluno 5, aluno 6, aluno 8, aluno 11, e aluno 13 destacam a importância de refletir sobre as analogias na gênese e desenvolvimento da ciência, e sua larga utilização como recurso didático, já que se configura uma

ferramenta da linguagem e do próprio pensamento, inerente à cognição humana. O uso espontâneo de analogias e metáforas caracteriza o discurso em geral, assim os alunos destacam que a necessidade de veicular o caráter efêmero e provisório a essas figuras de linguagem evidencia o importante papel das reflexões suscitadas no texto à luz da epistemologia bachelardiana.

Aluno 1: Menciona que a disciplina Evolução dos Conceitos da Física do curso de Física da UFSC é oferecida todo semestre, contudo, o Departamento disponibiliza apenas uma turma, cursada pelo bacharelado e licenciatura em conjunto, constituindo-se assim um obstáculo à estruturação de um programa que compreenda os objetivos de ambos os cursos. Ressalta esse aspecto em sua observação crítica ao estudo das analogias, exploradas tanto no âmbito da ciência quanto no âmbito do ensino ao longo do texto, a fim de compatibilizar as demandas do futuro educador e futuro pesquisador:

“Pode ser que uma das dificuldades em se elaborar o programa da disciplina Evolução dos Conceitos da Física esteja em agregar informações práticas que sejam úteis tanto para licenciandos como para bacharéis. A princípio eu acreditei que a discussão sobre as analogias fosse voltada para o ensino. Mas fiquei feliz por descobrir que a amplitude das analogias é muito maior. Como no caso da comparação entre as ondas da luz com as ondas sonoras, que foi usada por Huygens e outros cientistas para que estes mesmos pudessem visualizar o que estava acontecendo. E, claramente este recurso aparece por toda a história da física, como por exemplo, as linhas de força do campo magnético. Essa discussão é muito interessante e importante, e espero que um dia possa ser ampliada.”

A utilização das analogias e metáforas na elaboração e estruturação de uma teoria científica foi mencionada em vários momentos da disciplina⁴³, contudo sem discutir sobre a eficácia destes recursos. O ensino de ciências, em especial, por sua ligação estrita a domínios de conhecimentos abstratos, necessita que se estabeleça uma ponte a um universo mais familiar aos alunos. Embora o aluno 1 afirme que estas questões não interessam à sua realidade de futuro pesquisador; outros alunos cursando o bacharelado ressaltam que a sala de aula será um possível, ou talvez o único espaço profissional à eles oportunizado, em virtude da falta de incentivo à pesquisa no Brasil.

Aluno 2: Os cuidados explicitados por Bachelard quanto ao uso de analogias e metáforas no domínio científico e no ensino de ciências constitui, para o aluno 2, uma discussão indispensável, pois alerta para o fato de que estes recursos não se configuram refrato fiel do conceito que se quer explicar, apenas permitem estabelecer correspondências entre o conhecimento análogo e o alvo:

“Tendo em vista os objetivos propostos pela disciplina em entender o desenvolvimento das idéias da física, o conceito da epistemologia de Bachelard que trata das analogias e metáforas torna-se muito relevante para o entendimento do desenvolvimento de outras teorias físicas e até mesmo do seu ensino. No desenvolvimento de teorias, poder-se-ia fazer uma

⁴³ Mas, até então, sempre considerando tácita as limitações deste recurso de linguagem.

análise do uso de uma linguagem ambígua no desenvolvimento, por exemplo, da termodinâmica na época da teoria do calórico, onde este era tratado como uma substância com massa. No ensino de ciências, como exemplo, poderíamos citar um professor que faz analogias entre a geração e transmissão de energia elétrica e sistema sanguíneo do corpo humano. Com o objetivo de explicar o porque de um fio condutor não possuir corrente elétrica pelo simples fato de estar cortado ou não conectado ao gerador igualando este fato a uma veia partida que não está mais ligada ao coração e sendo assim não transporta mais a corrente sanguínea. Talvez essa analogia seja interessante, mas precisa-se ter alguns cuidados para que não sejam levantadas algumas idéias equivocadas por parte dos alunos.”

Articular às preocupações de Bachelard estudos recentes na linha das analogias e metáforas tornou mais clara aos alunos a primazia dada por este autor a esta questão, como se pode perceber na afirmação acima apresentada. As estratégias para se trabalhar as analogias no ensino também se configuraram discussão importante, conforme destaca na entrevista.

Aluno 3: Ao se referir às analogias e metáforas como instrumentos eficientes (quando usados cautelosamente) e necessários, na medida em que nosso pensamento estabelece irrestritamente correspondências entre domínios de gêneros distintos, o aluno 3, em sua resposta ao questionário, indica a importância de Bachelard nessa discussão, por apresentar razões para uma apreciação crítica destes recursos. Como enfatiza, esse aspecto é um ponto fundamental “*muitas vezes relegado ao esquecimento*”. Aponta também o valor destas discussões em uma disciplina de Evolução dos Conceitos da Física:

“(…) quanto mais a ciência avança nos campos micro e macroscópicos, mais intrincadas e traiçoeiras – porém essenciais – tornam-se as metáforas. Assim como os poetas não deixam de procurar palavras para sentimentos transcendentais, os cientistas não deixarão de tentar trazer imagens para aquilo que enxergam mas não podem ver (pelo menos do jeito que a ciência é hoje). Desta forma, nada mais relevante do que ter consciência dos efeitos dessas analogias.”

De acordo com os comentários do aluno 3 na entrevista, a distinta formação de um bacharel no que diz respeito às discussões educacionais e de natureza histórica ou filosófica em relação à licenciatura potencializaram a importância das discussões em sala de aula, capazes de suprir eventuais dúvidas cuja origem está associada ao que denominou “termos técnicos” utilizados por filósofos e historiadores, melhor assimilados por educadores.

Aluno 4: A exposição do aluno 4 no que se refere às discussões sobre as analogias e metáforas mostra o papel do contexto da disciplina Evolução dos Conceitos da Física no estudo do texto:

“Analogias, metáforas e imagens são, no meu ponto de vista, essenciais na discussão e divulgação da ciência. No contexto desta disciplina elas nos permitem visualizar como ocorreram os processos criativos, tanto nos erros quanto nos acertos. Ao longo de todo o curso dessa matéria vimos exemplos e o texto deixou claro os perigos de seu uso irresponsável. Deste

uso, noções errôneas podem ser formadas e perpetuadas e teorias corretas podem ser descartadas, deixadas de lado, se a analogia não for correta...”

Aluno 5: Menciona o papel importante de uma reflexão-crítica do uso das analogias no domínio da produção do conhecimento científico e na construção do conhecimento no ensino das ciências naturais: *“Priorizar uma visão crítica do uso das analogias no âmbito da ciência quanto no ensino se faz extremamente necessário, uma vez que estas analogias e comparações devem a todo momento serem bem relacionadas e limitadas para não induzir ‘falsas interpretações’ sobre o conceito que está sendo abordado.”*

Aluno 6: Ao discorrer sobre a importância do estudo acerca do uso das analogias na ciência e ensino, sugere no questionário que seria interessante um exercício sobre as analogias. Esclarece na entrevista que a proposta se realizaria com os alunos buscando analogias em outros segmentos históricos da física, estabelecendo assim as semelhanças e diferenças entre os conceitos estudados: análogo e alvo.

“As discussões acerca do uso das analogias na ciência e no ensino são pertinentes e relevantes, pois permitem avaliar a importância e as limitações desta. No âmbito do ensino, a analogia pode ser uma ferramenta que auxilia no aprendizado. No entanto, o uso excessivo das analogias pode fazer com que estas, em vez de auxiliarem, dificultem o aprendizado. Por isso é importante a exposição de seqüências propostas para utilização das analogias. Devido a importância do uso das analogias, poderia ser proposta aos alunos da disciplina a realização de analogias em diversas áreas da Física. Para os futuros professores, isso seria muito relevante, pois vai auxiliá-los quando executarão sua prática docente, possibilitando o uso correto das analogias. O mesmo vale para os bacharelados, pois o uso das analogias não está restrito ao âmbito escolar.”

Aluno 7: Conforme o aluno 7, a compreensão sobre o papel das metáforas de modo geral é relevante para pensar acerca dos seus limites de aplicabilidade, já que são evidentes ao longo da história da ciência. *“O uso de metáforas e imagens permite melhor entender a evolução da ciência, aproximando o máximo possível da realidade concreta, desde que sejam corretamente analisados de modo a não cometer erros significativos no conhecimento. Isto é, o uso errôneo desta linguagem pode permitir uma interpretação duvidosa ou totalmente oposta do que o escritor queria nos transmitir.”*

Aluno 8: Para o aluno 8, a importância dessas questões está no fato de que a ciência se apropria constantemente desses recursos da linguagem na gênese e desenvolvimento de conceitos, idéias e teorias, da mesma forma que no ensino: *“As discussões a respeito do uso das analogias e metáforas, tanto na ciência quanto no ensino são bastante relevantes para a disciplina Evolução dos Conceitos da Física, pois esses conceitos são muito utilizados na evolução da ciência tanto para explicar novos fenômenos como na formulação de novas concepções.”*

Aluno 9: Menciona a importância de conceber o caráter provisório das analogias, destacando-as no âmbito da ciência. Pois um grande equívoco é a ideia de que as analogias constituem-se imagem fiel do conceito que se pretende apreender.

“Com a evolução do conhecimento foi-se percebendo que alguns fenômenos podem ser submetidos a esse tipo de abordagem, para se demonstrar a existência de uma relação. Mas, a validade pode ser discutível, pois ao fazê-lo, corre-se o risco de submeter a complexa realidade do fenômeno a um esquema simplificado de análise, podendo inclusive acarretar o sacrifício do conhecimento. No entanto, essa prática pode revelar-se muito útil em determinado estágio de estudo quando já se delinearam as linhas gerais do fenômeno. Enfim, tem sua importância e utilidade, desde que aplicado dentro de seus limites naturais e que tem sido freqüente ao longo da história.”

Aluno 10: Atém-se a exemplos explorados pelo texto para enfatizar a pertinência da reflexão acerca do uso das analogias e metáforas no âmbito da ciência. Observa que analisar essas questões contribui para conhecer melhor o valor desses recursos na construção de teorias científicas e os cuidados que devem estar presentes quando se intenta estabelecer correspondências entre domínios de gêneros distintos.

“Discussões desta natureza são importantes na disciplina de evolução dos conceitos da física, à medida que mostram ao aluno o quanto analogias e metáforas foram ou não importantes no levante de teorias científicas. Mostra como analogias de novas teorias com conceitos formados ajudaram na sua interpretação e assimilação, como, por exemplo, comparar um feixe de luz com um feixe de partículas como fez Newton. No entanto tais analogias poderiam se tornar prejudiciais à medida que eram feitas entre fenômenos completamente diferentes. Discussões neste sentido enriquecem o entendimento de como as analogias ajudaram na ascensão de uma teoria e na discriminação de outra.”

Aluno 11: Enfatiza o papel das analogias para futuros pesquisadores e futuros professores, argumentando que entre os futuros profissionais em educação estarão vários pesquisadores. Assim, interpretar corretamente os limites de validade das analogias torna-se fundamental. *“Acho de extrema relevância, pois este assunto trata da evolução dos conceitos que cada um de nós tem a respeito da Física. Querendo ou não, cada um de nós, bacharéis ou licenciados, vamos parar em uma sala de aula para ministrá-las. Sendo assim de fundamental importância que saibamos estes conceitos, para que possamos passar nosso conhecimento de uma forma mais correta.”*

Aluno 12: Conforme destaca, é inerente ao pensamento científico ancorar conhecimentos mais abstratos a conceitos de natureza familiar, a fim de torná-los compreensíveis. Com isso, as analogias constituem-se parte da história da ciência, e assim, as discussões sobre analogias fazem parte dos objetivos de uma disciplina de Evolução dos Conceitos da Física.

“O texto destaca que as analogias estão presentes no pensamento científico ao longo da história. Huygens, citado no texto, fez uso de analogia com o som definindo a luz como uma vibração mecânica. Bachelard, salienta em seguida que essa é

uma analogia incorreta constituindo um obstáculo epistemológico. O texto cita outros que também utilizaram de analogias para exemplificar, ou até explicar alguma idéia. Entre eles está Newton. A necessidade de pensar nas analogias no ensino de ciência acho que ficou bem claro, mas o objetivo da disciplina de Evolução tem como objetivo estudar a história. Para estudar a história é importante saber mais sobre as reflexões feitas pelos cientistas ao desenvolver determinadas teorias. As analogias como já citei acima, fizeram (ou ainda fazem) parte do pensamento científico, sendo dessa forma, pertinente no estudo da Evolução dos Conceitos de Física.”

Aluno 13: Menciona enfaticamente que as analogias devem ser utilizadas cautelosamente. “O recurso da analogia, apesar de útil, deve ser usado de forma criteriosa. Se possível, depois de atingido o objetivo, a imagem metafórica deve ser abandonada. Esta, me parece, é a opinião explicitada no texto.”

Apesar de expressar dúvida nessa última frase sobre o que se propõe ilustrar este segmento do texto, na entrevista destaca que realmente a abordagem bachelardiana acerca do uso das analogias está clara, no sentido de que deve assumir papel provisório, ou seja, conforme o aluno 13 afirma, para Bachelard as analogias devem ser desconstruídas depois de usadas. Sua opinião também está de acordo com os pressupostos da filosofia de Bachelard.

Aluno 14: Assevera que as analogias, imagens e modelos são de ‘grande valia para o desenvolvimento científico’. Contudo, ‘podem gerar compreensão inadequada’ de certos conceitos e teorias. Assim, a discussão torna-se relevante nessa perspectiva.

Cabe enfatizar que os alunos em suas análises usam indiscriminadamente metáfora como sinônimo de analogia. O texto destaca apenas as analogias e não o recurso metafórico, assim não se preocupa em diferenciar essas ferramentas lingüísticas. Contudo, extensa literatura (Terrazan et al., 2000; Nagem, 2001; Isabel & Nagem, 2002) explora essa questão.

É importante mencionar novamente que ao longo da disciplina Evolução dos Conceitos da Física ilustrou-se exemplos diversos do uso de analogias na natureza e construção do conhecimento científico, sem, contudo, destacar os cuidados no uso das analogias no âmbito científico, e igualmente no âmbito escolar. A ênfase aos limites de validade desses recursos lingüísticos foi propiciada nas discussões do texto ‘A Epistemologia Histórica de Bachelard e o Estudo da História da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz’, que destinou dois segmentos específicos a esse tema, contribuindo para uma visão mais crítica do uso das analogias.

QUESTÃO 5: Posicione-se quanto ao grau de dificuldade encontrado em relação a cada uma das seções do texto, de acordo com a seguinte escala: (FC) de fácil compreensão; (MC) de média compreensão; (DC) de difícil compreensão; (SO) sem opinião. Justifique sua resposta.

O quadro a seguir esboça a síntese das respostas dos alunos de acordo com o grau de dificuldade relativo a cada uma das seções do texto:

TABELA 1

	Seções que compõem o texto ⁴⁴											
	1	2	3	4		5	6	7	8	9		10
<u>Alunos</u>				4.1	4.2					9.1	9.2	
1	FC	FC	MC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	DC	FC
2	FC	FC	MC	FC	FC	MC	MC	FC	FC	FC	MC	FC
3	MC	FC	MC	FC	FC	DC	FC	FC	FC	FC	FC	FC
4	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC
5	FC	FC	FC	MC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	FC
6	MC	FC	MC	FC	FC	MC	FC	FC	FC	FC	FC	FC
7	FC	MC	FC	FC	FC	MC	DC	MC	FC	FC	DC	DC
8	FC	MC	FC	FC	MC	FC	FC	FC	FC	MC	FC	FC
9	MC	MC	DC	FC	FC	MC	MC	-	-	MC	MC	MC
10	FC	FC	MC	FC	FC	FC	FC	FC	FC	MC	FC	MC
11 ⁴⁵	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC	MC
13	DC	FC	DC	FC	DC	FC	MC	MC	FC	FC	DC	FC

* O aluno 12 e o aluno 14 não responderam essa questão

⁴⁴ Ver p. 65, subseção 4.3 - Sobre a estrutura do texto '*A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz*'.

⁴⁵ O aluno 11 atribui média compreensão a todos os segmentos do texto em razão das dificuldades relacionadas à filosofia da ciência. Propõe que se articule ao texto uma linguagem mais acessível a fim de contornar esse problema. Em função das considerações apresentadas pelo aluno 11, torna-se pertinente comentar que alguns alunos ressaltam as dificuldades inerentes ao estudo da filosofia da ciência, mas não à linguagem utilizada pelo texto. Contudo, as reformulações implementadas no texto irão considerar esse aspecto.

A tabela a seguir apresenta uma síntese das respostas dos alunos agrupadas de acordo com a compreensão em relação a cada segmento do texto:

TABELA 2

Seções	Fácil Compreensão (FC)	Média Compreensão (MC)	Difícil Compreensão (DC)	Sem Opinião (SO)
1	7	4	1	-
2	8	4	-	-
<u>3</u>	4	<u>6</u>	<u>2</u>	-
4.1	10	2	-	-
4.2	9	2	1	-
<u>5</u>	6	<u>5</u>	<u>1</u>	-
6	8	3	1	-
7	8	3	-	1
8	10	1	-	1
9.1	8	4	-	-
<u>9.2</u>	6	<u>3</u>	<u>3</u>	-
10	8	3	1	-

Dos catorze alunos que receberam o questionário, doze responderam essa questão incluindo argumentos críticos para justificar o posicionamento assumido em relação à compreensão do texto. *'Newton e a natureza corpuscular da luz'* (seção 3); *'Recorrência histórica e os espelhos ardentes de Arquimedes'* (seção 5); *'A natureza distinta da física quântica: sobre moléculas, átomos e elétrons'* (subseção 9.2) compreendem os segmentos do texto que os alunos atribuíram maior grau de dificuldade. Os demais segmentos do texto foram, em geral, considerados de fácil compreensão. Na introdução, apesar de assinalada como de fácil compreensão por parte significativa dos alunos⁴⁶, foi possível evidenciar nas discussões em sala de aula falta de clareza quanto à articulação entre a metáfora extraída do livro *'Em Debate: cientificidade em questão'* (Borges, 1996) e as discussões seguintes do texto. Os alunos explicitaram/expressaram dificuldades em vincular a história do jardim florido, que contempla o diálogo entre insetos, destacando suas concepções de mundo, e o que discorre o restante da Introdução, que ressalta a idéia de que todo relato histórico compreende uma parcialidade, uma convicção teórica. Nesse sentido, sugerem que se retire o texto da metáfora, introduzindo diretamente estas discussões.

⁴⁶ Conforme a tabela 2.

Análise da seção 'Newton e a natureza corpuscular da luz'

A partir da análise das respostas, foi possível perceber notável semelhança entre os comentários críticos de alguns alunos no que se refere à seção '*Newton e a natureza corpuscular da luz*' (seção 3). Oito alunos conferiram algum grau de dificuldade a este segmento do texto: seis alunos assinalaram como de média compreensão e dois classificaram como de difícil compreensão.

As respostas do aluno 1, aluno 2, aluno 3, aluno 6, aluno 9 e aluno 10 alertam para o fato de que a teoria dos acessos desenvolvida por Newton, para explicar os fenômenos de difração, interferência e polarização é bastante controversa se analisada de forma ingênua e simplificada, basicamente por relacionar as **partículas** que compõe a luz a uma **onda** que determinaria o comportamento de fácil reflexão e de fácil refração do feixe luminoso, quando incide sobre uma superfície de separação entre dois meios. O tratamento dado pelo texto, segundo esses alunos, pode desencadear uma idéia distorcida da concepção de Newton acerca da natureza da luz, corpuscular em sua essência, e reforçar inclusive o caráter cumulativo da evolução do conhecimento científico, intensamente criticado por Bachelard. O aluno 11 avalia essa seção como de média compreensão em virtude de outros aspectos (p. 147, nota 45). Quanto ao aluno 13, a falta de clareza em seus comentários no questionário e declarações na entrevista impossibilitou a análise de sua resposta. Os demais alunos consideram esta unidade do texto de fácil compreensão.

O aluno 1 explicita a necessidade de uma abordagem cautelosa neste segmento do texto ('*Newton e a natureza corpuscular da luz*'), tanto acerca da concepção newtoniana da luz, quanto à postura de Bachelard em sua afirmativa de que "*a óptica de Newton é corpuscular em sua imagem mais simples e pré-ondulatória em sua teoria mais sábia*" (p. 89 da dissertação, capítulo 5), pois essa declaração parece contradizer as próprias premissas teóricas que norteiam sua epistemologia, essencialmente no que diz respeito à idéia de rupturas e descontinuidades na construção do conhecimento científico. Segundo o aluno 1, no que tange a sentença acima destacada, Bachelard parece interpretar a história dos modelos teóricos acerca da natureza da luz tendo em vista a perspectiva continuísta.

"(...) já que Bachelard não acreditava que a ciência é cumulativa, ou que os conhecimentos atuais fossem embrionários nos conhecimentos do passado, pode parecer um pouco estranho que se defenda que Bachelard acreditasse que Newton tivesse concepções pré-ondulatórias."

O aluno 6 acentua que, conforme explora o texto, Newton parece apresentar-se como precursor da concepção de dualidade onda-partícula da luz. Ressalta a pertinência das discussões em aula no esclarecimento desse aspecto: "*não foi bem explicado se Newton aceitava ou não um possível caráter ondulatório da luz. A citação de Mário Schemberg, sem a devida discussão, pode causar a impressão de que Newton já*

previu o caráter dual da luz. As discussões em sala de aula auxiliaram na compreensão”. Na entrevista, o aluno 6 reforça essas questões afirmando que a passagem de Schemberg apresentada pelo texto transmite a idéia de que Newton previu a concepção atual da natureza da luz.

Cabe enfatizar que a declaração de Schemberg ilustrada no texto (p. 88 da dissertação, capítulo 5), parece realmente realçar Newton como um precursor da concepção de dualidade onda-partícula quando destaca que Newton *‘(...) dizia que havia o aspecto ondulatório, sem dúvida, mas, de certo modo, a luz deveria ser composta de partículas. Isto é o que nós pensamos hoje em dia, que a luz é composta de fótons, o que não quer dizer que eles não tenham propriedades ondulatórias’*.

Em síntese, segundo a explanação do aluno 9, esta unidade do texto *‘pode induzir o estudo para intuições errôneas’*, essencialmente porque *‘Newton teria intuições ondulatórias’* em relação à natureza da luz; e a *‘teoria dos acessos permite mudança de estado físico’*. Reafirma suas observações críticas na entrevista, comentando que as idéias de Bachelard podem transmitir uma visão distorcida sobre o modelo corpuscular newtoniano, no sentido de caracterizá-lo como um modelo que transita entre a concepção corpuscular e a concepção ondulatória da luz.

A análise geral das respostas sugere a necessidade de implementar reformulações neste segmento do texto, dando primazia à convicção teórica newtoniana de que a luz era constituída por partículas sutis, infinitamente pequenas, distintas apenas em tamanho, que se propagavam com grande velocidade em todas as direções. Assim, a concepção de Newton não possui semelhança nenhuma à idéia da natureza dual da luz, atualmente compartilhada pela comunidade científica. O interesse despertado em Newton pela origem das franjas de interferência em bolhas de sabão, nas lâminas de mica,... revela apenas que Newton sabia de algo mais, ainda não identificado, relacionado a estes fenômenos. As observações críticas dos alunos conduzem a uma análise detalhada das considerações de Bachelard (1975, p.48 e 49) sobre a teoria dos acessos, ilustrando incoerência entre suas afirmações e o núcleo que sustenta sua percepção da natureza e construção da ciência. Ao afirmar que *‘é sobretudo a teoria das sucessões produzidas pelos acessos alternativos de fácil reflexão e de fácil transmissão o que marca a óptica newtoniana com um valor transacional entre as teorias corpusculares e as teorias ondulatórias’* e na seqüência *‘a óptica de Newton é corpuscular em sua imagem mais simples e pré-ondulatória em sua teoria mais sábia’* Bachelard parece colocar-se favorável à concepção cumulativa da história da ciência, contrastando com as convicções teóricas que orientam sua epistemologia. Da forma com que examina a teoria dos acessos de Newton em alguns segmentos de sua obra *‘A Atividade Racionalista na Física Contemporânea’* (1975), reconhece no modelo newtoniano acerca da natureza da luz o precursor do modelo da dualidade onda-corpúsculo da luz. A incompatibilidade evidenciada demanda novas pesquisas que aprofundem essas questões, pois fogem dos objetivos centrais da presente pesquisa.

Análise da seção 'Recorrência histórica e os espelhos ardentes de Arquimedes'

Quanto à seção '*Recorrência histórica e os espelhos ardentes de Arquimedes*' (seção 5), metade dos alunos atribuíram um certo grau de dificuldade na compreensão de alguns aspectos abordados. Cinco alunos classificaram como de média compreensão e um como de difícil compreensão. O principal motivo das dificuldades encontradas nesta seção do texto, identificado pelo aluno 2, aluno 3 e aluno 6, está vinculado à definição de '*recorrência histórica*'. Esses alunos esclarecem na entrevista que ficou clara a concepção de Bachelard sobre o estudo da história da ciência, analisar o passado à luz do presente, contudo, não veicularam essa idéia ao termo '*recorrência histórica*'. O aluno 7⁴⁷, aluno 9 e aluno 11⁴⁸ destacam aspectos variados à dificuldade encontrada nesse segmento do texto.

Em virtude do pouco destaque dado pelo texto, que menciona apenas no título da seção o termo '*recorrência histórica*', o que aguçou e dirigiu significativamente a atenção dos alunos foram as controversas discussões travadas entre historiadores, filósofos e cientistas sobre a possibilidade do episódio dos espelhos ardentes envolvendo Arquimedes, delegando a um plano secundário as contribuições de Bachelard articuladas a essa unidade do texto. As respostas a seguir destacadas evidenciam a dificuldade enfrentada pelos alunos nesta parte do texto:

O aluno 2 relata a compreensão propiciada ao ler o texto e a promovida pelas discussões em sala de aula, ressaltando o caráter complementar desse confronto: *"(...) quando li pela primeira vez, achei que havia entendido, só que quando o professor⁴⁹ questionou em sala de aula sobre a história recorrente de Bachelard, percebi que meu entendimento não foi completo. Após as discussões e novas leituras ficou mais fácil compreender"*. Conforme ressalta, ao ler o texto o conceito de recorrência histórica passou despercebido. Apenas após as discussões em sala de aula, momento onde os alunos foram questionados sobre o significado dessa noção na filosofia bachelardiana, e nova leitura do texto, vislumbrou a definição do conceito. Na entrevista traça uma interessante crítica acerca dos cuidados quando se almeja estudar a história da ciência à luz do presente, na perspectiva da recorrência histórica: *"(...) talvez tenha que se ter alguns cuidados, porque coisas que pra gente hoje é simples, se for olhar com a visão dos gregos, por exemplo, aquilo pra eles foi uma grande conquista, uma grande descoberta. Pode dar a impressão de que foi um conhecimento 'besta', um conhecimento encontrado do nada, sem esforço, sem trabalho, alguma coisa simples de se conseguir"*.

⁴⁷ Não detalha a causa de sua dificuldade.

⁴⁸ Ver p. 147, nota 45.

⁴⁹ Professor é aquele que esclarece, discute, conduz as discussões. Os alunos se referem ao professor indistintamente, ou como o professor da disciplina ou como o professor-pesquisador. Não foi preocupação da pesquisa fazer essa distinção ao longo da análise.

O aluno 6 corrobora a afirmativa do aluno 1, acentuando, tanto no questionário quanto na entrevista, a função das discussões em sala de aula, imprescindível para dirimir dúvidas, como a suscitada nesta seção. Assim, sugere que a noção de recorrência histórica seja melhor explicada. Na entrevista reafirma que faltou destacar uma definição explícita de recorrência histórica, ou seja, recorrência histórica configura-se a análise da história da ciência à luz do presente.

Apesar de avaliar o assunto abordado neste fragmento do texto como de fácil compreensão, o aluno 4 ressalta a ausência de uma definição explícita do que é recorrência histórica no domínio da epistemologia bachelardiana. O aluno 4 afirma na entrevista que “(...) *faltou dizer recorrência histórica é...*”. Prossegue estabelecendo uma interessante analogia para caracterizar seu exame crítico ‘(...) *é como $F=ma$, eu sei o que é $F = ma$, sei usar, mas alguém tem que me dizer que é a segunda lei de Newton*’. A orientação de Bachelard sobre a análise da história da ciência estava clara, contudo não se ligou essa idéia ao termo recorrência histórica.

O julgamento crítico do aluno 1, aluno 2, aluno 3 e aluno 4 exige que se submeta esta parte do texto a uma reformulação que incorpore uma conceituação clara de recorrência histórica. Pode-se ponderar que as dificuldades inerentes ao estudo da filosofia da ciência contribuíram para a desatenção sobre este conceito de Bachelard. O desenvolvimento do texto partiu justamente do pressuposto de que como o curso de Física da UFSC não apresenta uma disciplina de epistemologia da ciência, a ausência de subsídios teóricos desse domínio do conhecimento não pode se configurar uma barreira intransponível ao estudo histórico à luz de Bachelard. Contudo, essa seção ilustra que os cuidados tomados não foram suficientes.

Análise da seção ‘A natureza distinta da física quântica: sobre moléculas, átomos e elétrons’

Quanto à subseção 9.2 ‘***A natureza distinta da física quântica: sobre moléculas, átomos e elétrons***’, dos 12 alunos, 3 a consideraram de média compreensão e 3 de difícil compreensão, em virtude das dificuldades inerentes ao próprio estudo do domínio quântico. Os fragmentos a seguir destacados sintetizam essa idéia:

O aluno 1 indica na resposta ao questionário, a falta de clareza quanto à posição de Bachelard acerca da realidade dos objetos quânticos: sua crença está na construção do domínio quântico a partir dos instrumentos técnicos ou na idéia de que estes fenômenos possuem uma existência real independente de artefatos tecnológicos? Cabendo assim aos instrumentos apenas o vínculo entre os sentidos, restritos quanto ao seu alcance perceptivo, e a esfera do microscópico? Em suas próprias

indagações: “(...) não entendo se Bachelard acredita que os instrumentos determinam o alcance do que é visto, ou se determinam o próprio objeto estudado”.

É possível evidenciar que o texto contribuiu para reflexões críticas no que concerne os próprios pressupostos teóricos de Bachelard e, conforme constatado nas entrevistas, o aluno 1 questiona-se também sobre suas próprias convicções, relacionando esta discussão inclusive às suas leituras que posteriormente fundamentariam sua apresentação do seminário sobre ‘*A natureza dual da matéria*’, relativo ao segmento final da disciplina.

“Parece que a natureza sempre prega peças no ser humano, desde o começo da história, e o ser humano está preso a estatura mediana que ele tem, ele não está nem próximo do átomo, nem perto das estrelas, ele está mais ou menos no tamanho médio, e é médio do ponto de vista dele, então se ele vai tentar modelar a realidade é complicado mesmo partindo de fórmulas matemáticas entender a realidade. Você não consegue entender nem o que é um número, sei lá 10 elevado na sexta, quanto mais entender o que é um nanômetro, até estava lendo o livro de De Broglie, na biblioteca, e é engraçado o modo como ele coloca as coisas, que o que é tempo e o que é espaço. Tempo e espaço são marcos que a gente criou pra estabelecer os eventos e os objetos, e quando você diminui muito e chega ao nível do átomo, esses marcos que a gente criou já não valem mais, daí você vê que foi uma coisa que você criou, uma ilusão que o ser humano tem sobre o tempo e o espaço e a realidade. E aí quando você constrói um instrumento e mesmo ele servindo de janela pra essa realidade, mesmo assim você vai estar interpretando. Porque a matemática quântica funciona, isso está estabelecido, o que não está estabelecido é o que está acontecendo lá, e se funciona é porque tem uma realidade, agora o que é, a gente interpreta, e daí tem várias correntes.”

As várias vertentes deste complexo cenário sobre a existência de uma realidade independente do sujeito que a percebe retratam uma questão em aberto. Embora se distancie do objetivo do texto abordá-las, a seção 9.2, para este aluno em particular, estimulou a reflexão, abrigando uma contribuição fundamental neste sentido.

Conforme ressalta o aluno 2, “por tratar de um assunto de tão difícil representação, precisei mais uma vez das discussões em sala de aula para compreensão do texto”. Mais uma vez as discussões em sala de aula são ressaltadas como imprescindíveis. Não deixa, por outro lado, de sinalizar os constantes desafios enfrentados por pesquisadores na área das ciências naturais e ações governamentais que ensejam implementar projetos que priorizem a inserção de temas da física moderna e contemporânea no ensino de ciências em geral, e de física em particular.

O fascínio provocado por estes conhecimentos, que lidam com um universo intangível aos sentidos desarmados, não consegue minimizar as dificuldades inerentes ao seu estudo em nível universitário; bem como sua transposição para o ensino de física em nível médio. Fugir das representações, a partir de modelos, analogias e metáforas, configura-se um ideal inalcançável. Contudo, como não estabelecer correspondências entre o nível quântico e um domínio mais familiar, com o qual

muitas vezes contrasta? O texto encoraja esta reflexão apresentando a proposta organizada a partir de estratégias que orientam o uso destes recursos em sala de aula, tendo em vista sempre os cuidados que devem ser levados em conta neste empreendimento.

O aluno 7 destaca a física quântica como um domínio de natureza distinta e, nesse sentido, as dificuldades inerentes ao estudo do âmbito microscópico estão sempre presentes. Considera que torna-se difícil associar analogias e metáforas aos fenômenos quânticos, pois *'os fenômenos que envolvem são acessíveis apenas através de instrumental técnico ilustrando uma ruptura entre estes domínios do conhecimento'*. Acentua que as partículas quânticas não possuem dimensões definidas, e suas velocidades e posições não podem ser determinadas simultaneamente de forma precisa, apenas em termos probabilísticos.

Apesar de familiarizados com o assunto, em virtude de discussões veiculadas a disciplina Estrutura da Matéria I, que se constitui pré-requisito da disciplina Evolução dos Conceitos da Física, o perturbador comportamento do elétron, por exemplo caracteriza-se incompreensível.

De modo geral, a análise dos dados contempla resultados significativos e bastante satisfatórios, incluindo relevantes sugestões e apontamentos para a ampliação e aperfeiçoamento do texto. Nestes termos, possibilitou corroborar a hipótese inicial, gênese da presente pesquisa, da relevância de uma discussão epistemológica em uma disciplina de Evolução dos Conceitos da Física em um curso de Física, conforme explicitam os catorze alunos que compõem a amostra pesquisada, constituída por futuros pesquisadores que continuarão a carreira científica, e futuros professores que enfrentarão os desafios de ensinar física em qualquer nível de ensino.

CONSIDERAÇÕES FINAIS: CAMINHOS E PERSPECTIVAS

O ensino em geral prioriza o produto final da ciência restringindo a uma perspectiva irrealista e estereotipada o caminho trilhado pelos cientistas na construção do conhecimento científico. Entre as características expressas por essas visões ingênuas (e simplificadas) da ciência, traçadas freqüentemente no senso comum, pode-se salientar: a imagem de um cientista neutro e objetivo, que conduz sua pesquisa alheio a interferência de qualquer gênero; a visão da ciência como um conhecimento cumulativo e linear; a idéia de que existem 'fatos' independentes de pressupostos teóricos; a crença em um procedimento fixo que leva o cientista à realidade fiel do mundo natural, demarcando assim as intransponíveis fronteiras entre a ciência e a não-ciência.

Assim, difunde-se que a ciência está fadada a ditames de natureza pura e estritamente lógico-rationais, portanto sem interferências sociais, históricas e culturais. Considerando esse perfil usualmente tecido acerca do que é a ciência, ela configura-se por fim uma instância isolada, atemporal e responsável nesse sentido por balizar os rígidos (e infalíveis) critérios que conduzirão o cientista a uma verdade única e suprema da natureza.

A escassez de propostas de ensino que ensejem estabelecer uma articulação entre a história e a filosofia da ciência reforça o quadro acima descrito. A pesquisa desenvolvida nesta dissertação sinalizou um encaminhamento específico nestes termos, com o intuito de implementar na formação do futuro educador e pesquisador em ciências uma perspectiva crítico-reflexiva do conhecimento científico. O curso de Física da UFSC apresentou um espaço específico para este fim, a disciplina Evolução dos Conceitos da Física, capaz de abrigar discussões envolvendo a filosofia da ciência, favorecendo a aplicação do texto desenvolvido.

A escolha do referencial bachelardiano para uma visão crítica da história da óptica, conforme ilustra o texto *'A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz'*, justifica-se porque Bachelard foi um personagem expressivo na epistemologia contemporânea. Símbolo da desilusão, concebe a construção do conhecimento na perspectiva de rupturas e descontinuidades. A primazia conferida ao erro, como positivo e inerente ao ato de conhecer explicita as características transformadoras de sua filosofia, que interpreta, no âmbito da cultura e do conhecimento, não mais a verdade, mas as verdades múltiplas, históricas, provisórias, a natureza efêmera do conhecimento articulada ao conceito de verdade. A filosofia histórica de Bachelard desconstrói a visão de que a verdade se configura estanque e, por isso, definitiva e tangível. O perfil epistemológico de Bachelard retrata esse pluralismo de idéias associado aos conhecimentos, as distintas significações de um conceito ao longo da história da ciência e da história do próprio homem, que interpreta uma idéia distintamente ao longo de sua existência. O eterno recomeçar exprime a marca dos pressupostos de Bachelard, portanto, até uma pergunta como *o que é ciência?* resulta sem sentido, pois

com base nos racionalismos setoriais, os critérios de cientificidade são determinados coletiva e setorialmente pelas ciências, e portanto variáveis no tempo.

Os alunos da disciplina *Evolução dos Conceitos da Física*, do primeiro semestre letivo de 2004, mostraram-se bastante receptivos diante do estudo da história da óptica articulada à epistemologia bachelardiana. Com frequência, enfatizaram que a abordagem histórico-filosófica contribuiu para uma visão mais rica da gênese e desenvolvimento da ciência em geral, e da óptica física em particular. Além disso, destacaram que se deve destinar mais espaço no currículo a estudos dessa natureza, com ênfase inclusive a outras obras de Bachelard, e a outros filósofos contemporâneos da ciência.

Quanto à análise específica do texto, enfatizaram vários conceitos da epistemologia bachelardiana para ilustrar a pertinência do estudo histórico da óptica à luz deste referencial da moderna filosofia da ciência. Sublinharam a natureza descontínua da construção da ciência como uma das características mais relevantes destacadas por Bachelard. Os incisivos questionamentos sobre o uso equivocado das analogias, metáforas e imagens na ciência e no ensino foram igualmente citados como discussões importantes, principalmente na formação inicial de professores. Conforme destacaram, o estudo crítico das analogias e metáforas repercute diretamente na prática da sala de aula.

De acordo com a avaliação do texto, as contribuições da filosofia bachelardiana propiciaram efetivamente uma abordagem crítica da ciência óptica. Alguns alunos mencionaram que com a leitura do texto *'A Epistemologia Histórica de Bachelard no estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz'*, aspectos que haviam passado despercebidos quando estudados na história da óptica apresentada no livro *'Origens e Evolução das Idéias da Física'* (Rocha et al., 2002), chamaram a atenção, despertando uma reflexão mais ampla. A teoria dos acessos foi um exemplo acentuado por um aluno neste sentido. Assim, as idéias de Bachelard foram importantes para uma reflexão crítica do conhecimento histórico adquirido.

A avaliação geral do texto também sinalizou a necessidade de implementar reformulações em diversos segmentos do texto, a fim de aperfeiçoar ou ampliar discussões, conferindo-lhes maior clareza. Nesse sentido, algumas modificações já foram feitas⁵⁰.

Tendo em vista as dificuldades dos alunos em interpretar a metáfora do *'jardim florido'* apresentada na *'Introdução'*, e articular a idéia central da história às discussões que compreendem o segmento seguinte do texto, ela foi suprimida. (Anexo 1, pág. 172)

No que se refere à seção *'Newton e a natureza corpuscular da luz'*, grande parte dos alunos atribuiu algum grau de dificuldade à mesma, ressaltando que o texto explora a teoria dos acessos nas idéias newtonianas transmitindo a imagem de um Newton que adotava uma hipótese combinando aspectos ondulatórios e corpusculares da luz, na perspectiva de uma teoria pré-ondulatória. Assim, articulou-se a

⁵⁰ As seções que sofreram alterações se encontram nos anexos 1, 2, 3 e 4.

este segmento do texto uma discussão enfatizando que o modelo concebido por Newton sobre a constituição da luz não é análogo à noção de corpúsculo hoje aceita. A visão continuísta que pode ser transmitida na discussão de Bachelard sobre a teoria dos acessos, no modelo newtoniano da luz, foi igualmente sinalizada pelos alunos. Apesar de não mencionarem sugestões sobre como tratar essa incompatibilidade, considerou-se interessante conferir a este tema uma abordagem mais detalhada e crítica. (Anexo 2, pág. 177)

No que tange a subseção *Do mundo físico grego ao século XVII: sobre os mecanismos da visão e a natureza da luz*, com base nas observações feitas em sala de aula, considerou-se pertinente abordar com mais ênfase o nascimento e as bases teóricas da física atômica, com o objetivo de detalhar o confronto entre o atomismo e a teoria do contínuo (uma criação da escola estóica), tendo em vista as distintas concepções acerca da natureza da luz e dos mecanismos da visão. Outro aspecto modificado se refere à discussão ilustrada por Bassalo (1990) sobre as idéias de Platão e Pitágoras, concernente a formação das imagens e à visão, que foi apresentada de forma mais sintetizada. (Anexo 3, pág. 182)

Conforme sugestão específica do aluno b⁵¹, o assunto concernente à velocidade da luz, de acordo com os modelos ondulatório e corpuscular, explorado na subseção *Um breve percurso ao longo da história da óptica: de Newton à Einstein*, foi abordado com mais detalhes, intercalando novas discussões com base em questões presentes no Provão de Física de 2002. Neste caso, examinando o por quê das distintas hipóteses teóricas veiculadas às concepções corpuscular e ondulatória da luz quanto à velocidade da luz em diferentes meios. (Anexo 3, p.182)

Quanto a subseção *Diálogo entre a razão e a experiência: o papel do instrumental técnico na física contemporânea* explorou-se a dialética racionalismo-empirismo incluindo uma discussão mais detalhada com base na obra *A atividade racionalista na física contemporânea* (Bachelard, 1975). (Anexo 4, pág. 194)

As dificuldades inerentes ao estudo da filosofia da ciência, e a ênfase a uma epistemologia específica na análise da história da ciência, também compõem o amplo espectro de sugestões e críticas sinalizadas pelos alunos no questionário e entrevistas. Contudo, configurou-se preocupação constante na construção do texto explorar a concepção de Bachelard como uma interpretação de ciência, entre tantas outras presentes na moderna filosofia da ciência, tendo em vista que o tratamento da história da ciência à luz de um referencial epistemológico necessita alerta permanente para que não se encerre em uma visão positivista a origem e evolução do conhecimento científico.

Os professores e pesquisadores devem ter um olhar crítico sobre a imagem da ciência presente não apenas no ensino de ciências e na esfera da divulgação científica, mas igualmente sobre suas

⁵¹ O aluno b compôs a amostra respectiva à sondagem preliminar do texto, conforme destacado no cap. 4, seção *Uma sondagem exploratória do texto A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz, junto a um grupo de alunos do curso de Física*, p. 74. As sugestões enfatizadas pelo aluno b não foram incorporadas inicialmente pois se tomou conhecimento dessa discussão presente no Provão do MEC/2002 após a implementação definitiva do texto.

respectivas formações. E qual o papel da filosofia da ciência? Como assegura Peduzzi (2004) *“a filosofia da ciência ilumina a história da ciência. Sem ela, esta história é acrítica, enciclopédica, dogmática, linear, sem tropeços, sem idas e vindas, ‘racionalmente racional’”*.

Como menciona Anderson (Anderson, 1968), com base no prefácio do livro *“Termodinâmica”*, de Lewis e Randall, a investigação científica se assemelha a montagem de um quebra-cabeças muito especial. As peças, desordenadas nas etapas iniciais, contemplam um problema a ser resolvido, sem indicações da imagem que será formada, porém, os objetivos claros e bem determinados indicam o propósito da atividade. À medida que as peças se encaixam, algumas vezes fica evidente qual deve ser o passo seguinte. No entanto, em outros momentos há surpresas, aparecendo uma situação imprevista, tomando-se um ponto de vista completamente diferente do anterior. A ciência caminha desta forma. Quando a ênfase é conferida apenas ao resultado, ocultam-se as *“idas e vindas”* do pesquisador, as mudanças nas trajetórias encerrando perspectivas, as vezes, totalmente diferentes das concepções admitidas inicialmente:

“Os que escrevem sobre a metodologia científica observam o quadro quando está terminado e dão ênfase a sua beleza e sua evidente estrutura lógica; mas aqueles que contribuíram na sua realização têm uma experiência completamente distinta; uma experiência com mais frustrações e insatisfações do que aquele que vê unicamente os resultados.”

As divergências de idéias, pensamentos e práticas, erros e falhas do cientista, tão presentes na atividade científica, mostram a dinamicidade a que a ciência está sujeita. Repensar imagens, muitas vezes distorcidas da ciência, tão firmemente arraigadas no pensamento e ensino atual, pode contribuir significativamente para desconstruir crenças de uma ciência idealizada, por conseguinte quimérica.

Na perspectiva de novos trabalhos, a presente pesquisa inspira estudos sobre a utilização da história da ciência não apenas na formação inicial, mas em qualquer nível de ensino. Pensando especificamente no ensino das ciências naturais, em nível médio, o professor deve suscitar no aluno o questionamento sobre como a ciência produz conhecimentos. Que ciência se estuda? Desmascarar não apenas visões ingênuas da gênese e desenvolvimento do conhecimento científico, mas da própria filosofia da ciência: qual o seu papel junto à história da ciência? É um equívoco sem tamanho, fruto de uma visão ingênua, falar da filosofia de modo geral como mero devaneio no vazio, contemplação sem finalidade, sem articulação com conhecimentos específicos. A filosofia da ciência, por exemplo, está calcada em uma análise da gênese e construção da ciência!!!

Cabe sim ao físico-educador vincular os conceitos científicos à sua origem, suas fontes de inspiração, orientadas muitas vezes por princípios metafísicos e/ou de natureza/crença filosófica,

conhecimentos que se estruturam em um processo, contrastando com a imagem dos relampejos de idéias que permeiam o pensamento dos cientistas gênios, que compõe a ciência dos vencedores.

Muitos contrastes e dicotomias estão presentes no ensino de física em nível médio, principalmente pela maneira como os conteúdos são incorporados aos livros e manuais didáticos, apresentados como um campo enfadonho do saber, representando conhecimentos estáticos, frutos de uma atividade estritamente racional. Imagem que nutre as convicções equivocadas sobre o trabalho científico, largamente disseminada no ensino de ciências em geral. Desmistificar a idéia de um cientista estritamente racional, neutro e objetivo, que segue rigorosamente o método, e, por outro lado, retratar um cientista que falha, e erra muitas vezes, as freqüentes controvérsias entre teorias rivais, a complexidade e profunda ruptura em um processo de mudança científica, encerra uma perspectiva mais humana da ciência (Thuillier, 1994). A moderna filosofia da ciência abriga subsídios teóricos para este fim. Nestes termos, o texto implementado buscou também ilustrar o papel fundamental da epistemologia, usando para isso Bachelard.

Nesse sentido, o diálogo entre a história e da filosofia da ciência desafia reflexões sobre a necessidade de implementar uma abordagem histórico-epistemológica na formação inicial e continuada de professores, tendo em vista propiciar uma análise mais crítica da evolução do conhecimento científico (Freire Jr. et al., 2000; Matthews, 1995).

A implementação do texto *'A Epistemologia Histórica de Bachelard no estudo da história da óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz'* no ensino de física em nível médio, por exemplo, poderia, desencadear discussões importantes sobre as raízes históricas dessa ciência. Contudo, adequar a linguagem articulada ao texto; considerar os pré-requisitos necessários à compreensão dos temas abordados; compreenderiam alguns dos vários aspectos a serem examinados em uma proposta dessa natureza. Um desafio proposto a novas pesquisas.

Na delimitação da presente pesquisa optou-se pela história da óptica mas, em princípio, a potencialidade dos demais segmentos da história da física também se configura fértil. O tratamento de trajetórias distintas da física à luz da moderna filosofia da ciência propicia igualmente estudos, contudo tendo em vista que uma perspectiva crítico-reflexiva deve necessariamente acompanhar o estudo da evolução do pensamento científico, e isto não pode ser feito mencionando apenas os resultados da ciência, em uma ordem meramente cronológica.

A articulação da evolução das idéias, conceitos e teorias da óptica a outros referenciais epistemológicos, uma preocupação manifestada por alguns alunos, demanda novas pesquisas. Entretanto, foi possível evidenciar as contribuições da epistemologia kuhniana nesta trajetória histórica, especificamente quando se discutiu a noção de rupturas e descontinuidades na visão bachelardiana. Este confronto, ilustrado nas discussões em sala de aula, permitiu aos alunos, segundo seus próprios comentários, uma compreensão mais clara da idéia de não-linearidade na construção do conhecimento

científico, presente no modelo teórico de Bachelard. Com base nessas considerações foi possível perceber o papel fundamental e enriquecedor da intersecção texto-professor-aluno, efetivada nas discussões em sala de aula.

Conforme já destacado, a história da óptica estudada na perspectiva da epistemologia de Bachelard pode permitir o desenvolvimento do pensamento crítico-reflexivo do futuro educador acerca da imagem da ciência e do cientista disseminada no ensino de ciências.

E quanto aos bacharéis? Qual o papel dos elementos históricos e filosóficos em sua formação?

Quando se pensa especificamente no modelo teórico de Bachelard é possível estabelecer essa intersecção, pois este autor desenvolve sua epistemologia refletindo fundamentalmente sobre como se processa a construção do conhecimento no âmbito da ciência, objetivando alertar o pesquisador acerca das crenças e idéias constituídas apressada e imediatamente na resolução de um problema; os erros frutos de distração do pensamento cansado e/ou mergulhado, e por isso cego, no desenvolvimento de uma teoria, ilustrando a necessidade de um distanciamento crítico em sua investigação. De acordo com o núcleo da filosofia histórica bachelardiana, a catarse e/ou psicanálise intelectual e afetiva é imprescindível na cultura científica. Esses indicativos sinalizam que é importante para um bacharel uma análise e consciência crítica de seu caminhar, no sentido da construção do conhecimento científico.

A constante preocupação sinalizada por alguns alunos quanto à necessidade de compatibilizar a abordagem histórico-filosófica em uma disciplina como Evolução, ou dedicar mais espaço nos currículos dos cursos de Licenciatura e Bacharelado em Física a discussões dessa natureza estimulam e encorajam o investimento em novas pesquisas que almejam implementar trabalhos similares/semelhantes nessa linha. E para aqueles que ainda lançam dúvidas sobre a pertinência da história e da filosofia da ciência em cursos como Física, Química, Biologia e Matemática, cabe uma indagação: o que seria da humanidade sem o resgate e conhecimento de sua própria história? ***Estéril, infecunda***, incapaz de compreender seu próprio presente, incapaz de tecer conjecturas e expectativas sobre seu próprio futuro!

Não parece que as razões utilizadas contra a inclusão em currículos de Física de uma disciplina que priorize a evolução histórica da ciência (pressupondo, como a presente dissertação defende, uma imagem humana e dinâmica da ciência) constituam-se argumentos fortes diante dos comentários acima suscitados. Um crítico ferrenho e inflexível desse tipo de abordagem em qualquer nível de ensino poderia ainda destacar que a função dos historiadores, reportar-se a evolução do pensamento tendo em vista resgatar fontes e dados históricos, está garantida. A crítica remete ao fato de veicular ao ensino em geral esses resultados... Cabe assim, novamente uma questão: quem faz a história? Tanto no domínio da ciência, quanto no domínio da própria humanidade? Homens, pessoas comuns, ou nem tão comuns assim, todos contribuem na construção do conhecimento, seja utilizando-os (mesmo que sem consciência, dada a forma, descontextualizada e fragmentada, com que os saberes científicos, em

particular, se apresentam aos alunos e em livros de divulgação) ou participando como sujeitos no processo de produção. Resgatar a história para que? Para guardá-la, à mercê das traças e fungos? Ou compartilhar com todos que direta ou indiretamente ladrilharam esse caminho? A história **transforma**, um povo sem história é um povo **vazio, tabula rasa/ folha de papel em branco!!!...**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRANTES, P. **Imagens de Natureza, Imagens de Ciência**. São Paulo: Papirus, 1998.
- ANDERSON, D. L. **El Descubrimiento del Electron**. México: Editorial Reverté Mexicana, 1968.
- BACHELARD, G. **La Actividad Racionalista de la Física Contemporanea**. Buenos Aires: Editorial Siglo Veinte, 1975. 269p.
- BACHELARD, G. **A Filosofia do Não. Rio de Janeiro**. São Paulo: Abril Cultural, 1979. 87 p.
- BACHELARD, G. **O Novo Espírito Científico**. São Paulo: Abril Cultural, 1979. 90p.
- BACHELARD, G. **O Materialismo Racional**. Lisboa: Edições 70, 1990.
- BACHELARD, G. **A Formação do Espírito Científico**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1999, 314p.
- BACHELARD, G. **Epistemologia**. Lisboa: Edições 70, 2001.
- BACON, F. **Novum Organum ou Verdadeiras Indicações Acerca da Interpretação da Natureza**. São Paulo: Abril Cultural, 1979. (Trad. José A. R. Andrade, 2ª ed., (Coleção Os Pensadores).
- BAHIA, M. T. **O Empirismo nos Livros Didáticos: Um Convite ao Debate**. Florianópolis: UFSC. Pós Graduação em Ensino de Física. 2001 (Monografia de Especialização)
- BARRA, E. S. O. A Realidade do Mundo da Ciência: um desafio para a história, a filosofia e a educação científica. **Ciência & Educação**, Bauru, v.5, n.1 p. 15-26, 1998.
- BARROS, M. A. & CARVALHO, A. M. P. A História da Ciência Iluminando o Ensino de Visão. **Revista Ciência & Educação**, Bauru , v. 5(1), p.83-94, 1998.
- BASSALO, J. M. F. **Crônicas da Física**. Belém: Editora UFPA, 1987.
- BASSALO, J. M. F. **Crônicas da Física**. Belém: Editora da Universidade, 1990.
- BASSO, A. C. & PEDUZZI, L. O. Q. O Átomo de Bohr em Livros Didáticos de Física: interagindo com autores. **Atas IV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. 25 a 29 de novembro de 2003. Bauru – São Paulo.
- BOGDAN, R. & BIKLEN, S. K. **Qualitative Research for Education**. Boston: Allyn and Bacon, Inc., 1982.
- BORGES, R. M. R. **A Natureza do Conhecimento Científico e a Educação em Ciência**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1991.
- BORGES, R. M. R. **Em Debate: cientificidade e educação em ciências**. Porto Alegre: SE/CECIRS – Secretaria Estadual de Educação do Rio Grande do Sul, 1996.
- BRASIL, Ministério da Educação, Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.

- BULCÃO, M. **O Racionalismo da Ciência Contemporânea: Uma Análise da Epistemologia de Gaston Bachelard**. Rio de Janeiro: Antares, 1981. 148p.
- CARVALHO, A. M. P. Construção do Conhecimento e Ensino de Ciências. **Ponto de Vista: o que pensam outros especialistas**, Brasília, ano 11, n.55, jul./set. 1992.
- CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal**. São Paulo: Brasiliense, 2000
- CONTENÇAS, P. **A Eficácia da Metáfora na Produção da Ciência: o caso da genética**. Lisboa: Instituto Piaget, 1999.
- CURTIS, R. V. & REAIGELUTH, C. M. (1984). 'The use of analogies in written text.' In: **Instructional Science**, 13, 99-117.
- D'ESPAGNAT, B. & KLEIN, E. **Olhares sobre a Matéria**. Lisboa: Instituto Piaget, 1993.
- DAGHER, Z. (1995). 'Analysis of analogies used by science teachers'. In: **Journal of Research in Science Teaching**, 32 (3), 259-270.
- DELIZOICOV, N. C. **O Movimento do Sangue no Corpo Humano: história e ensino**. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.
- DELIZOICOV, N. C. & ERN, E. A Analogia “Coração Bomba” no Contexto da Disseminação do Conhecimento. **Atas IV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências**. 25 a 29 de novembro de 2003. Bauru – São Paulo.
- DITCHBURN, R. W. **Enciclopaedia Britannica**. Micropaedia, v.10. The University of Chicago, 1978.
- DRAKE, S. **Galileu**. Lisboa: Publicações Dom Quixote, 1981.
- FERRAZ, D. F. & TERRAZAN, E. A. Uso espontâneo de analogias por professores de biologia e o uso sistematizado de analogias: que relação? **Ciência & Educação**, v.9, n.2, p.213-227, 2003.
- FERRAZ, D. Frigo. **O uso de analogias como recurso didático por professores de Biologia no Ensino Médio**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS/BRA, 2000.
- FERREIRA, A. B. H. **Novo Aurélio Século XXI: o dicionário da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.
- FEYERABEND, P. **Contra o Método**. Rio de Janeiro: F. Alves, 1977.
- FREIRE JR., O. et al. A Relevância da Filosofia e da História da Ciência para a Formação de Professores de Ciências. In: **Epistemologia e Ensino de Ciências**. Alagoas: Arcádia, 2000.

- GAGLIARDI, R. Como Utilizar la Historia de las Ciências em la Enseñanza de las Ciências. **Enseñanza de las Ciências**, 1988, v.6, n.3, p.291-296.
- GALILEU, G. **Duas novas ciências**. São Paulo: Nova Stella Editorial, 1935.
- GAARDER, J. O Mundo de Sofia: romance da história da filosofia. São Paulo: Companhia das Letras, 2004.
- GILMORE, R. **Alice no País do Quantum**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1998.
- GLEISER, M. **A Dança do Universo: dos mitos de criação ao big-bang**. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.
- GUERRA, A. et al. A interdisciplinaridade no ensino das ciências a partir de uma perspectiva histórico-filosófica. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, v.15, n.1, p.32-46, 1996.
- HALLIDAY, D. et al. **Física**. Tradução de Alexandre Carlos Tort et al. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 4ª edição, Vol 4, 1996.
- HALLIDAY, D. et al. **Fundamentos de Física: ótica e física moderna**. Tradução de Denise Helena da Silva Sotero et al. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 4ª edição, Vol 4, 1995.
- HARRES, J. B. S. **Concepções de Professores sobre a Natureza da Ciência**. Rio Grande do Sul: PUC, Pós Graduação em Educação. 1999. (Tese de Doutorado). 192 p.
- HARRISON, Alan G. & TREAGUST, David F. Teaching with Analogies: A case Study in Grade-10 Optics. **In: Journal of Research in Science Teaching**, v.30, n.10, p.1291-1307, 1993.
- HARRISON, Allan G. & TREAGUST, David F. Science analogies: avoid misconceptions with this systematic approach. **The Science Teacher**, n.61, p. 40-43, 1994.
- HENRY, J. **A Revolução Científica: e as origens da ciência moderna**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1998.
- HESSEN, B. As raízes sócio-econômicas dos Principia de Newton. **In: GAMA, R, et al. Ciência e Técnica (antologia de textos históricos)**. São Paulo: T. A . Queiroz, 1993. HOFFMANN, B. **L' strange histoire des quanta**. Éditions du Seuil, 1981.
- ISABEL, C. A . P. & NAGEM , R, L. Analogias e metáforas e a mediação didática: uma relação possível? **Resumo XI ENDIPE** – Encontro Nacional de Didática e Ensino. Goiânia –Go. Maio – 2002.
- JAMMER, M. **Einstein e a Religião: física e religião**. Rio de Janeiro: Contraponto, 2000.
- KNELLER, G.F. **A Ciência como Atividade Humana**. Rio de Janeiro: Zahar/EDUSP, 1987.

KÖHNLEIN, J. F. K. & PEDUZZI, L.O.Q., Sobre a concepção empirista-indutivista no ensino de ciências. **Atas VII Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física**. 5 a 8 de junho de 2002. Águas de Lindóia – SP.

KÖHNLEIN, J. F. K. **Uma Discussão sobre a Natureza da Ciência no Ensino Médio: um exemplo com a teoria da relatividade restrita**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

KOYRÉ, A. **Do mundo fechado ao universo infinito**. Lisboa: Gradiva. p.39. (São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 1979.)

KOYRÉ, A. As etapas da cosmologia científica. In: KOYRÉ, A. **Estudos de história do pensamento científico**. Brasília: Universidade de Brasília, 1982.

KOYRÉ, A. **Estudos galilaicos**. Lisboa, Publicações Dom Quixote, 1986.

KUHN, T.S. **A estrutura das revoluções científicas**. São Paulo: Editora Perspectiva, 1987. p.137.

LAKATOS, I. **História da ciência e suas reconstruções racionais**. Lisboa: Edições 70, 1998. pp. 77-114.

LAKATOS, I. **La metodología de los programas de investigación científica**. Madrid, Alianza, 1989.

LAKATOS, E. M. & MARCONI, M. A. **Fundamentos de Metodología Científica**. São Paulo: Atlas, 1985.

LOMBARDI, O. I. La pertinencia de la historia en la enseñanza de ciencias: argumentos y contraargumentos. **Enseñanza de las ciencias**, vol.15, nº3, 1997, p. 343-349.

LOPES, A. R. C. Bachelard o Filósofo da Desilusão. **Enseñanza de las Ciencias**, Barcelona, v. 11, n. 3, 1993.

LOPES, A. R. C. **Conhecimento Escolar: quando as ciências se transformam em disciplinas**. Rio de Janeiro: UFRJ, Pós Graduação em Educação. 1996a. (Tese de Doutorado). 262 p.

LOPES, A. R. C. Contribuições de Gaston Bachelard ao Ensino de Ciências. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, Florianópolis, v.13, n.3, p.248-273, dez. 1996b.

LUCIE, P. **A gênese do método científico**. Rio de Janeiro: Campus, 1978. p.49.

LUDKE, M. & ANDRÉ, M. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. São Paulo: EPU, 1986.

MARTINS, R. A. Como Distorcer a Física: considerações sobre um exemplo de divulgação científica.1 – Física Clássica. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.15, n.3, p.243-264, dez.1998.

- MARTINS, R. A. Oersted e a Descoberta do Eletromagnetismo. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v.10, p.115-122, 1986.
- MATTHEWS, M. R. História, Filosofia e Ensino de Ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, Florianópolis, n° 3, p.164-214, 1995.
- MAZZOTTI, A. J. A. & GEWANDSZNAJDER, F. **O Método nas Ciências Naturais e Sociais: pesquisa quantitativa e qualitativa**. São Paulo: Pioneira, 1998.
- MEDEIROS, A. & BEZERRA FILHO, S. A natureza da ciência e a instrumentação para o Ensino de Física. **Ciência & Educação**, v.6, n.2, p 107-117, 2000.
- MEDEIROS, A. Entrevista com Tycho Brahe. **Física na Escola**, v.2, n.2, p 19-33, 2002a.
- MEDEIROS, A. Entrevista com Kepler: do seu nascimento à descoberta das duas primeiras leis. **Física na Escola**, v.3, n.2, p 20-33, 2002b.
- MOREIRA, M. A. & KOFF, E. D. O Questionário como Instrumento de Coleta de Informações sobre o Ensino. In: **Ensino na Universidade: sugestões para o professor**. Editora da Universidade/PADES/UFRGS/PROGRAD, 1985. MOREIRA, M. A. (Org.), p. 118-130.
- MOREIRA, M. A. & AXT, R. **Tópicos em Ensino de Física**. Porto Alegre: Sagra, 1991. p47.
- MORTIMER, E. F. Construtivismo, Mudança Conceitual e Ensino de Ciências: para onde vamos? **Investigação em Ensino de Ciências**, Porto Alegre, v.1, n.1, 1996.
- MORTIMER, E. F. **Linguagem e Formação de Conceitos no Ensino de Ciência**. UFMG, 2000.
- NAGEM, R. L. et al. Uma Proposta de Metodologia de Ensino com Analogias. **Revista Portuguesa de Educação**. V. 14 n.1, 2001.
- NEWTON, I. **Óptica**. Tradução, introdução e comentários de André Koch Torres Assis, São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2002.
- OERSTED, H. C. Experiências sobre o Efeito do Conflito Elétrico sobre a Agulha Magnética. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, v.10, p.89-114, 1986.
- OLIVEIRA, R. J. Bachelard e o Ensino de Ciências. *Educação em Foco*, v. 5, n. 1, p. 65-84, mar/set 2000.
- OSTERMANN, F. A. Epistemologia de Kuhn. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, Florianópolis, v.13, n.3, p.184-196, dez. 1996.
- OSTERMANN, F. A. & MOREIRA, M. A. **A Física na Formação de Professores do Ensino Fundamental**. Rio Grande do Sul: Editora da Universidade/UFRGS, 1999.
- OTERO, M. R. ¿Como usar analogías em classes de Física? **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, Florianópolis, v.14, n. 2: p. 179-187, ago, 1997.

- PAIS, A. **Sutil é o Senhor**. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.
- Parâmetros Curriculares Nacionais: Ensino Médio**. Brasília: Ministério da Educação, 1999.
- PEDUZZI, L. O. Q. **As Concepções Espontâneas, a Resolução de Problemas e a História e Filosofia da Ciência em um Curso de Mecânica**. Tese (Doutorado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.
- PEDUZZI, L. O. Q. Sobre a Utilização Didática da História da Ciência. In: **Ensino de Física: Conteúdo, Metodologia e Epistemologia numa Concepção Integradora**. Editora: UFSC, 2001. PIETROCOLA, Maurício (Org.), p. 151-170.
- PEDUZZI, L. O. Q. **Do Átomo Grego ao Átomo de Dalton: um percurso através da história da física e da química**. Publicação interna (Departamento de Física – Universidade Federal de Santa Catarina), 2003.
- PEDUZZI, L. O. Q. **Física Atômica e Filosofia: exemplares kuhnianos**. Publicação interna (Departamento de Física – Universidade Federal de Santa Catarina), 2004.
- PÉREZ, Daniel Gil, et al. Para uma Imagem não Deformada no Ensino de Ciências. **Ciência & Educação**, Bauru, v.7, n.2, p. 125-153, 2001.
- PIETROCOLA, M. O. O Éter Luminoso como Espaço Absoluto. **Cadernos de História e Filosofia da Ciência**, São Paulo, v.3, n.1/2, jan./dez., p.163-182, 1993.
- PINHEIRO, T. F. **Aproximação entre a Ciência do Aluno na Sala de Aula da 1ª Série do 2º Grau e a Ciência dos Cientistas: uma discussão**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro de Ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1996.
- POPPER, K. The rationality of scientific revolutions. In: Hacking I. (Ed.) **Scientific Revolutions**. Oxford: Oxford University Press, 1987. p.94.
- PRAIA, J. & CACHAPUZ, F. Un análisis de las concepciones acerca de la naturaleza del conocimiento científico de los profesores portugueses de la enseñanza secundaria. **Enseñanza de las ciencias**, v.12, n° 3, p. 350-354, 1994.
- PRAIA, J. et al. A Hipótese e a Experiência Científica em Educação em Ciência: contributos para uma reorientação epistemológica. **Ciência & Educação**, Bauru, v.8, n.2, p. 253-262, 2002.
- ROCHA, J. F. et al. **Origens e Evolução das Idéias da Física**. Salvador: EDUFBA, 2002.
- ROSMORDUC, J. **De Tales a Einstein**. Lisboa: Editorial Caminho, 1983.
- SAMBURSK, S. **El Mundo Físico de los Griegos**. Madrid: Alianza Editorial, 1990.

- SANTOS, M. E. V. M. **Mudança Conceitual na Sala de Aula: um desafio pedagógico**. Lisboa: Livros Horizonte, 1991.
- SCHEMBERG, M. **Pensando a Física**. São Paulo: Brasiliense, 1985.
- SILVA, C. C. & MARTINS, R. A. A “Nova Teoria sobre Luz e Cores” de Isaac Newton: uma tradução comentada. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v.18, n.4, p. 313-327, dezembro, 1996.
- SILVA, C. C. & MARTINS, R. A. A Teoria das Cores de Newton: um exemplo do uso da história da ciência em sala de aula. **Ciência & Educação**, Bauru, v.9, n.1, p. 53-65, 2003.
- SILVEIRA, F. L. A Filosofia da Ciência de Karl Popper: O Racionalismo Crítico. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, Florianópolis, v.13, n.3, p.197-218, dez. 1996.
- SILVEIRA, M. P. **Uma Análise Epistemológica do Conceito de Substância em Livros Didáticos de 5ª e 8ª Séries do Ensino Fundamental**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.
- SPLITTER, L. J. & SHARP, A. M. **Uma Nova Educação: A comunidade de investigação na sala de aula**. São Paulo: Nova Alexandria, 1999.
- STAUB, A. C. M. & PEDUZZI, L. O. Q. O Papel da Epistemologia em uma Disciplina de Evolução dos Conceitos da Física. In: XV Simpósio Nacional do Ensino de Física, 2003a, Curitiba, **Anais**.
- STAUB, A. C. M. & PEDUZZI, L. O. Q. Diálogo entre História e Filosofia da Ciência em uma Disciplina de Evolução dos Conceitos da Física. In: IV Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2003b, Bauru, São Paulo, **Anais**.
- STAUB, A. C. M. & PEDUZZI, L. O. Q. A História da Óptica à Luz da Epistemologia Bachelardiana: um estudo exploratório. XVI Simpósio Nacional do Ensino de Física, Rio de Janeiro, 2005, **Anais**.
- TATON R. **Causalidade e Acidentalidade das Descobertas Científicas**. São Paulo: Hemus.
- TERRAZAN, E. A. In: **XII Simpósio Nacional de Ensino de Física**. - Curso - Analogias e Metáforas. Belo Horizonte -27 a 31 de Janeiro de 1997.
- TERRAZAN, E. A. et al. Analogias no ensino de ciências: resultados e perspectivas. In: **Anais do III Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul**, Porto Alegre/BRA, 2000.
- THUILLIER, P. **De Arquimedes a Einstein: A face oculta da invenção científica**. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 1994.
- TIPLER, P. **Física: ótica e física moderna**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 3ª edição, Vol 4, 1995.

TREAGUST, D. F. et al. A naturalistic study of science Teachers` use of analogies as part of their regular teaching. **Paper presented at the Annual meeting of the American Educational Research Association**, 1990.

TRIVIÑOS, A. **Introdução à pesquisa em ciências sociais: a pesquisa qualitativa em educação**. São Paulo: Atlas, 1987.

TUFFANI, M. Prática Aliada à Teoria: a tecnologia busca ajuda na reflexão filosófica. **Revista Galileu**, outubro, n.135, 2002.

UTGES, G. Rita. **Modelos e analogias na compreensão do conceito de onda**. 292f. Tese (Doutorado em Educação) – Universidade de São Paulo, São Paulo/BRA, 1999.

VILLANI, A. O Confronto Lorentz-Einstein e suas Interpretações. **Revista de Ensino de Física**, São Paulo, v.3, n.1, p.31-45, março 1981.

WEINBERG, S. **Sonhos de Uma Teoria Final: a busca das leis da natureza**. Rio de Janeiro: Roxo, 1996.

ZANETIC, J. **Física Também é Cultura**. São Paulo: USP, Pós Graduação em Educação. (Tese de Doutorado). 252 p., 1989.

ZIMERMANN, E. & BERTANI, J. A. Um Novo Olhar sobre os Cursos de Formação de Professores. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 20, n. 1, p. 43-62, abr 2003.

ZILBERSZTAJN, A. Concepções Espontâneas em Física: exemplos em dinâmica e implicações para o ensino. **Revista de Ensino de Física**, v.5, n.2, 1983.

ZYLBERSZTAJN, A. Galileu: Um Cientista e Várias Versões. **Caderno Catarinense do Ensino de Física**, Florianópolis, nº 5, p. 36-48, 1998.

ZYLBERSZTAJN, A. Teoria Final, Unificação e Reducionismo: Opiniões da Comunidade Brasileira de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 1, p. 1-17, mar.

Endereços eletrônicos:

Exame Nacional de Cursos – Provão MEC – Física 2002

http://www.inep.gov.br/superior/provao/gab_prov_pad_res/fisica.htm

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS COMPLEMENTARES

- AWDRY, M. **Para Compreender a Ciência**. Rio de Janeiro: Ed. Espaço/Tempo, 1988.
- BACHELARD, G. **O Novo Espírito Científico**. São Paulo: Abril Cultural, 1979. 90p.
- BERNAL, J. D. **Ciência na História**. Belo Horizonte: Ed. Lisboa, 1968.
- BERNAL, J. D. *Science in History*. MIT Press, 1983.
- BREHIER, E. **História da Filosofia**. São Paulo: Ed. Mestre Jou, 1977.
- CHALMERS, A. F. **O que é ciência afinal**. São Paulo: Brasiliense, 2000.
- FARRINGTON, B. **A Ciência Grega**. Ed. Ibrasa, 1961.
- GAMOW, G. **The Great Physics From Galileo to Einstein**. Dover edition, 1988.
- HOLTON, G. A. **Imaginação Científica**. Rio de Janeiro: Ed. Jorge Zahar, 1989.
- HOOYKAAS, R. **A Religião e o Desenvolvimento da Ciência Moderna**. Brasília: Ed. UnB, 1988.
- HULL, L. W. H. **Historia y Filosofia de la Ciencia**. Barcelona: Ed. Ariel, 1973.
- JAMMER, M. *The Conceptual Development of Quantum Mechanics*. McGraw-Hill, NY, 1966.
- KUHN, T. S. **The Copernican Revolution**. Harvard University Press, 1971.
- KUHN, T. S. **A Estrutura das Revoluções Científicas**. Ed. Perspectiva, 1975.
- LOCQUENEUX, R. *História da Física*. Coleção Saber, 1989.
- MORGENBESSER, S. **Filosofia da Ciência**. Ed. Cultrix, 1979.
- OSADA, J. *Evolução das Idéias da Física*. São Paulo: Ed. da USP, 1972.
- PAIS, A. *Subtle is the Lord...! The Life and Science of Albert Einstein*. Oxford: Oxford University Press, 1982.
- POINCARÉ, H. **A Ciência e a Hipótese**. Brasília: Ed. UnB, 1985. RONAN, C. **História Ilustrada da Ciência**. Rio de Janeiro: Ed. Jorge Zahar, 1987.
- TATON, R. **História Geral das Ciências do Livro**. São Paulo: Ed. DifEurop., 1959.

ANEXOS

ANEXO 1

A Epistemologia Histórica de Bachelard no Estudo da Evolução da Óptica: as controvérsias acerca da natureza da luz

5.1 - Introdução

A análise da evolução do pensamento científico revela uma história da ciência permeada por controvérsias entre historiadores, filósofos e cientistas (que se interessam pela história da sua ciência). Assim, as distintas interpretações envolvidas neste contexto evidenciam concepções de ciência divergentes, muitas vezes justificada pela postura epistemológica assumida: visão de como conceitos, idéias e teorias se desenvolvem.

Nesta perspectiva, não se deve perder de vista que os fatos históricos, no campo científico ou em qualquer outro, são fruto de uma história contada e que carregam por isso a imagem de ciência assumida pelo autor: empirista⁵², racionalista⁵³, realista⁵⁴... Não há uma versão única, neutra da origem e desenvolvimento do conhecimento científico:

“Todo relato histórico é resultado de uma interpretação (...) a história não está disponível ao historiador nos documentos, nas inscrições e assim por diante, como os peixes na tábua do peixeiro. A história construída pelos historiadores positivistas⁵⁵ pressupõe uma separação completa entre sujeito e objeto (...) A convicção num núcleo sólido de fatos históricos que existe objetiva e independentemente constitui-se uma crença falaciosa.” (Zanetic,1989)

No curso de Licenciatura e Bacharelado em Física da Universidade Federal de Santa Catarina, a disciplina Evolução dos Conceitos da Física tem como objetivo central analisar histórica e epistemologicamente os desenvolvimentos conceituais das teorias físicas, desde os gregos até o presente.

O programa da disciplina explicita, com clareza, os conteúdos a serem trabalhados:

a) A evolução da cosmologia e da mecânica (Cosmologia na Grécia Antiga; A astronomia ptolomaica; A astronomia e a mecânica na Idade Média; A inovação copernicana; As contribuições de Brahe, Kepler, Galileu e Descartes; A síntese newtoniana e a visão de natureza; As críticas à mecânica newtoniana: de Berkeley a Mach; As teorias da relatividade e cosmologia moderna);

⁵² Premissa fundamental dessa corrente filosófica: o conhecimento verdadeiro e confiável advém da observação livre de pré-concepções.

⁵³ Escola filosófica que imprime unicamente à razão o papel de conduzir o pensamento ao conhecimento científico.

⁵⁴ Escola filosófica na qual se enquadra o empirismo. Pressuposto básico: o conhecimento científico reflete fielmente a realidade do mundo natural.

⁵⁵ Positivismo: escola de pensamento que tem sua raiz na concepção empírico-indutivista.

b) A evolução das idéias sobre luz, eletricidade e magnetismo (Teorias sobre luz e visão: de Platão a Descartes; Os modelos corpuscular e ondulatório para a luz; A eletricidade como fluido; Os campos elétrico e magnético; A luz como onda eletromagnética; O efeito fotoelétrico e a dualidade onda-corpúsculo);

c) A evolução das idéias sobre calor e constituição da matéria (O calor como fluido; Calor, termodinâmica e conservação da energia; A teoria cinética da matéria e a mecânica estatística; A estrutura dos átomos e a física quântica).

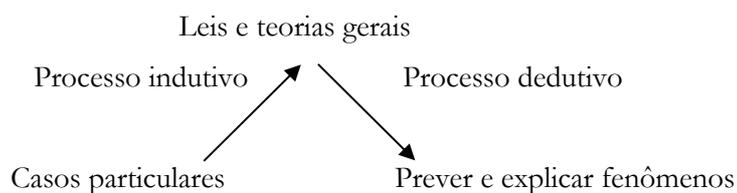
Assim, esta disciplina deve possibilitar uma reflexão-crítica acerca da natureza e construção do conhecimento científico. A moderna filosofia da ciência é indispensável para este fim.

Este texto objetiva propiciar um estudo crítico-reflexivo de um segmento da disciplina Evolução dos Conceitos da Física à luz de um filósofo que reflete sobre o dinamismo da ciência, sua gênese e desenvolvimento, priorizando as constantes transformações veiculadas a esta atividade. Nesta perspectiva, promoveu-se a articulação entre a trajetória histórica da óptica, ilustrada no livro *“Origens e Evolução das Idéias da Física”* (Rocha et al., 2002), e as idéias de Gaston Bachelard centrada na sua obra *“La Actividad Racionalista de la Física Contemporânea”* (1975). Neste sentido, o texto enseja proporcionar uma análise do conhecimento histórico adquirido, auxiliando a (re) pensar como se constroem e mudam os conhecimentos científicos.

Caracterizar a ciência, sua natureza e construção, não é tarefa fácil, tendo em vista o dinamismo desta prática. A moderna filosofia da ciência, a partir da década de 30, evidencia justamente os traços presentes no conhecimento científico, como o pluralismo teórico, multiplicidade de idéias, explícitos na cultura científica contemporânea.

Para Bachelard e outros epistemólogos contemporâneos é consensual a insuficiência da concepção empírico-indutivista em fundamentar a atividade científica. Trata-se de uma perspectiva muito limitada e por isso questionável conceber que a base da pesquisa científica está na observação neutra, seguida da coleta de dados, comprovação experimental, formulação de leis e teorias gerais obtidas a partir de casos particulares, de caráter explicativo e preditivo.

Segundo Chalmers (2000, p.28), é possível sintetizar a visão empírico-indutivista de acordo com o seguinte esquema:



O lado esquerdo da figura diz respeito a derivação de leis e teorias científicas a partir da observação de casos particulares: processo indutivo. O lado direito refere-se à derivação das conseqüências (explicações e previsões) a partir das leis e teorias científicas: processo dedutivo.

Contudo, esta imagem deformada do trabalho científico, embora criticada no domínio da filosofia, está largamente difundida na esfera escolar, tanto no ensino de ciências em geral, quanto no ensino de física, em nível médio e universitário, em particular. Este fator revela a pertinência de explorar esta discordância entre o que realmente se pode afirmar da ciência e o que efetivamente intervém e se transmite na prática da sala de aula.

Em contrapartida a esta concepção estrita e fechada, a imagem contemporânea da ciência revela que a observação pressupõe uma carga de concepções prévias e expectativas teóricas, contrariamente a sua suposta neutralidade e objetividade.

A imagem da relação entre o cientista e a natureza não está encerrada em uma objetividade indiscutível e absoluta, alheia à filosofia, emoções, poesia, religião, quimeras, portanto esta idéia parece ser produto de uma fábula mal contada. As influências sobre a prática científica retratam *“um trabalho humano, (...) uma atividade intelectual que é psicológica e socialmente condicionada.”* (Thuillier, 1994)

Não é simples pensar sobre a ciência, se ela possui um método, o que a determina e quais as suas implicações. O que se pode afirmar é que ela não está fadada (vinculada) a uma visão cumulativa, descontextual, neutra, ou seja, positivista. A ciência está submetida a trocas entre sujeitos que criam e são criados por seu entorno social, por limitações econômicas, imposições tecnológicas muitas vezes fora do controle do cientista.

Entre os personagens críticos à imagem tradicional da ciência, concernente ao cenário filosófico, encontram-se: Gaston Bachelard (1884-1962), Thomas Kuhn (1922-1996), Imre Lakatos (1922-1974), Karl Popper (1902-1994), Paul Feyerabend (1924-1994).

Constitui-se uma imagem comum entre cientistas e pesquisadores em tecnologia tachar os estudiosos do campo da filosofia da ciência de ‘sonhadores e estudiosos do vazio’, representando verdadeira resistência à reflexão filosófica, em virtude principalmente da ‘idéia de que os filósofos da ciência não conhecem ciência’. Contudo, estes estudiosos vêm muitas vezes da pesquisa científica, engajando-se no estudo da história de sua ciência (Tuffani, 2002, p.78). Bachelard tem uma sólida formação em Química, Física e Matemática; Kuhn e Feyerabend são físicos; Lakatos é matemático.

Apesar da incisiva e contundente crítica da moderna filosofia da ciência aos pressupostos defendidos pelos empiristas, esta postura ainda está largamente disseminada no espaço escolar, tanto na visão de professores quanto nos próprios livros didáticos, repercutindo significativamente na compreensão dos alunos acerca da natureza do trabalho científico.

Logo, deve-se pensar melhor acerca da formação dos professores no ensino de ciências para que não reproduzam em sala de aula uma imagem inadequada e mesmo incorreta da ciência. Por

outro lado, os futuros pesquisadores (bacharéis) nas áreas de ciências, responsáveis pelo processo de crescimento da ciência, devem ter consciência de suas próprias práticas, assimilando-a de forma aberta e criativa (Staub & Peduzzi, 2003a; Staub & Peduzzi, 2003b).

Mesmo com um bom número de pesquisas que abordam estas questões, seu esgotamento está longe de se constatar, pois, se por um lado as discussões de cunho epistemológico avançam no âmbito da filosofia, o ensino das ciências naturais, tanto em nível médio como universitário, se vê muito afastado dessas reflexões.

Este cenário acarreta desafios no sentido de um ensino mais atento para uma visão realista e humana da prática do cientista, que pode ser norteadada pela seguinte reflexão suscitada por Pérez et al. (2001):

Faria sentido pensar que, tendo nós uma formação científica (Biologia, Física, Química, Geologia, ...) e sendo nós professores de ciências, deveríamos ter adquirido – e, portanto, estaríamos em situação de transmitir uma imagem adequada do que é a construção do conhecimento científico?

ANEXO 2

5.3 - Newton e a natureza corpuscular da luz

Será que se pode afirmar um Newton rígido, defensor ferrenho e inflexível da teoria corpuscular da luz?

A inexpressiva ênfase conferida às discussões sobre a concepção teórica newtoniana no que diz respeito à natureza da luz, por livros didáticos, afasta-se do real debate entre filósofos, e também entre historiadores da ciência, mascarando as distintas posturas desses autores concernente à compreensão de Newton sobre as propriedades da luz (Schemberg, 1985; Rocha et al., 2002).

O fenômeno de difração descoberto por Grimaldi, a partir das observações da passagem de luz por um orifício, suscitou o interesse de Newton, que realizou essa experiência detalhadamente, relatando os resultados na sua obra '*Óptica*' (2002). Contudo, a teoria corpuscular era insuficiente para expressar este novo comportamento da luz, demandando maiores estudos. Alerta para este fato, Newton depara-se então, com os seguintes questionamentos:

Como é possível, no exemplo da difração, um feixe de partículas, ao incidir sobre uma barreira com uma fenda estreita, deixar passar apenas uma parte do feixe e a outra não? O que determina esse comportamento? Por outro lado, o que faz a luz, formada por partículas infinitamente pequenas e de **mesma natureza**, de acordo com a teoria corpuscular, ora se refletir, ora se refratar quando incide sobre uma superfície de separação entre dois meios? E nesta mesma ocasião, o que faz a luz refratada refletir-se e transmitir-se novamente quando em contato com outro meio?

Newton compreendia a luz como constituída por partículas infinitamente pequenas, que se propagavam em grande velocidade e em todas as direções. Distinguiam-se apenas em tamanho, sendo que as partículas menores eram aquelas correspondentes ao violeta, e as maiores as relativas ao vermelho. Para Newton as partículas que compõem a luz não diferiam em termos de propriedades. Logo, tendo em vista a insuficiência do modelo corpuscular da luz para explicar fenômenos como a difração, a interferência e a polarização, que aspecto então, com base nos pressupostos newtonianos, poderia veicular-se à luz para explicar estas observações?

Newton incorpora a teoria dos acessos à sua concepção da natureza da luz, afirmando a existência de uma onda associada às partículas luminosas, determinando assim os comportamentos de fácil reflexão e fácil refração da luz. As partículas que formam a luz seriam regulados por uma onda que se propaga juntamente ao feixe luminoso, responsável pelos acessos (*fits*) da luz de fácil reflexão, quando se reflete; e de fácil transmissão quando se refrata. Newton percebia as dificuldades em lidar com estes fenômenos tendo em vista apenas a teoria corpuscular.

Para o físico brasileiro Mário Schemberg (1985), mencionado por Rocha et al. (2002, p.227), a teoria dos acessos newtoniana evidencia que Newton não rejeitava por completo o aspecto ondulatório,

em virtude das evidências empíricas acima mencionadas, acreditando na sua existência, no entanto, a prevalência do aspecto corpuscular, era, para ele, incontestável:

“O homem era terrível, porque achava que de alguma maneira o aspecto corpuscular deveria ser o mais importante. Dizía que havia o aspecto ondulatório, sem dúvida, mas, de certo modo, a luz deveria ser composta de partículas. Isto é o que nós pensamos hoje em dia, que a luz é composta de fótons, o que não quer dizer que eles não tenham propriedades ondulatórias. Newton teve ainda a intuição de que a existência de fenômenos de difração por uma fenda estaria ligada a um “acesso” do corpúsculo de entrar ou não pela fenda. Não sei se já existia a palavra probabilidade, mas ele usou a palavra inglesa fits. A partícula tinha fits e podia ir para um lado ou para outro. Ele achava que havia ainda outros aspectos não bastante esclarecidos, que deviam estar ligados a alguma coisa, um certo meio, que seria o éter.”

A citação de Schemberg, acima ilustrada, pode, em princípio, induzir uma imagem continuísta da ciência, tendo em vista a idéia de que se deve a Newton o nascimento da concepção de dualidade onda-partícula articulada à natureza da luz, fundamentalmente na sentença em que enfatiza “(...) Isto é o que nós pensamos hoje em dia, que a luz é composta de fótons, o que não quer dizer que eles não tenham propriedades ondulatórias...”. Conceber Newton como precursor da interpretação dual da luz implica assumir uma visão cumulativa da evolução histórica do conhecimento, que pressupõe a visão de que as teorias somam-se umas às outras sem respeitar os distintos contextos em que têm origem. A noção de partícula no domínio quântico não se aproxima da concepção newtoniana de partícula, pois correspondem a estruturas conceituais de gênero distinto, formuladas com objetivos diferentes e em culturas que não se confundem, historicamente situadas, portanto fruto de visões de mundo díspares.

Para Newton, conforme explicitado, a luz dotava características bastante claras, suas convicções teóricas acerca da natureza e propagação da luz respeitavam estes pressupostos. Contudo, o que deve ficar claro é que ao se deparar com fenômenos que transcendiam a interpretação corpuscular, Newton desenvolve a teoria dos acessos, que nem a ele se configura muito clara e, apesar de *ad hoc*, supre em parte uma lacuna de sua hipótese teórica.

Ao analisar aspectos da evolução da óptica em seu livro “*A Atividade Racionalista na Física Contemporânea*”, Bachelard (1975, p.48) ressalta que “*é sobretudo a teoria das ‘sucessões’ produzidas pelos acessos alternativos de fácil reflexão e de fácil transmissão o que marca a óptica newtoniana com um valor transacional entre as teorias corpusculares e as teorias ondulatórias*”. Observa-se com surpresa que, para Bachelard, as idéias (de fácil reflexão e fácil refração da luz e os “*acessos de entrar ou não pela fenda*”) assumidas por Newton, apontam indícios de uma sensibilidade à característica dual da luz. Para Bachelard os “acessos” da luz na perspectiva newtoniana explicam a refração e a difração como consequência de uma espécie de

mudança de estado físico da luz, dando origem, deste modo, a alternância de comportamento. Conforme denota Bachelard (1975, p.49), Newton acentua o caráter corpuscular da luz, mas, as intuições ondulatórias não lhe são alheias: “*a óptica de Newton é corpuscular em sua imagem mais simples e pré-ondulatória em sua teoria mais sábia*”, está entre o modelo corpuscular e o modelo ondulatório da luz.

A análise de Bachelard (1975) concernente à teoria dos acessos de Newton assemelha-se bastante ao exame delineado por Schemberg (1985), ilustrando que o modelo teórico newtoniano perpassa a natureza dual e ondulatória da luz. Com efeito, supor traços da concepção dual da luz em Newton contradiz os pressupostos teóricos centrais da epistemologia histórica de Bachelard, tendo em vista que implica a defesa de continuidade no avanço da ciência e do conhecimento de maneira geral, em detrimento da interpretação descontinuista.

Dois exemplos bastante ilustrativos dados por Lopes (1996, p. 255), relativos à história da química e do atomismo, podem propiciar uma compreensão mais clara do porquê não se pode considerar que Newton conjecturou antecipadamente o embrião teórico do modelo atual da luz:

“A interpretação continuísta da História da Química tende a considerar a Alquimia como uma espécie de infância da Química. Ao contrário, concebemos a Alquimia com características de arte sagrada. O alquimista não investiga as propriedades das substâncias e suas transformações, com o intuito de conhecer melhor a Natureza e construir teorias sobre a matéria. O alquimista tem por objetivo alcançar a revelação de segredos divinos, a busca do Bem, o auto-conhecimento, a transformação de sua alma. Daí o animismo estreitamente associado a sua interpretação da natureza. Nesse sentido, a racionalidade da Química rompe decisivamente com a Alquimia (...)”

Mais adiante segue explorando o exemplo do atomismo:

“As proposições de Demócrito, bom como as de Leucipo e Epicuro, não compõem uma teoria atômica, nem tampouco visam explicações para as transformações químicas. Suas concepções de mundo são bem diversas das concepções dos físicos modernos. Seus pensamentos constituem uma filosofia que procura explicar a natureza, a partir da inserção do homem nessa natureza: seus propósitos e seus valores. Nesse sentido, as teorias de Dalton não são consequência das teorias de Demócrito. Diferentemente, Dalton tinha por objetivo construir um modelo de átomo capaz de explicar as relações de massa nas transformações químicas (...)”

O presente texto não tem por objetivo explorar detalhadamente esta aparente incoerência evidenciada no livro ‘*A atividade racionalista da física contemporânea*’ (Bachelard, 1975), tendo em vista a

apreciação do modelo teórico newtoniano da luz conforme o exame de Bachelard, contudo o alerta para esta incompatibilidade configura-se necessário.

ANEXO 3

5.4 - Rupturas e Descontinuidades na Evolução da Óptica

5.4.1 - Do mundo físico grego ao século XVII: sobre os mecanismos da visão e a natureza da luz

No mundo grego (século III a.C.), berço da ciência ocidental, encontram-se duas teorias físicas de natureza distinta: o atomismo e a física do contínuo. As concepções dos estóicos sobre a propagação da luz em um meio, o 'pneuma', permitem um confronto com os atomistas, que sustentavam o caráter descontínuo da matéria (Sambursky, 1990). Articular a idéia de rupturas e descontinuidades, da filosofia bachelardiana, ao estudo das raízes históricas da óptica, possibilita compreender as distintas premissas teóricas que dirigiam o pensamento dos filósofos gregos acerca do mecanismo da visão e do que é a luz, em virtude essencialmente do contexto histórico no qual esses pressupostos se inserem.

A física do contínuo constitui-se uma criação original dos estóicos, que está associada principalmente aos nomes de Zenon, Crisipo e Posidônio. A pedra angular da física estóica é a concepção de continuidade do espaço, da matéria e continuidade na propagação.

A originalidade da teoria estóica, no que concerne à idéia de continuidade, configura-se inegável. A escola estóica atribui ao meio qualidades ativas, consistindo em um princípio regulador de todos os fenômenos físicos do cosmos. A essa substância ativa, combinação de ar e fogo (justamente porque estes elementos estão cheios dessa propriedade ativa, o calor), responsável por unir e encadear em um todo único e dinâmico o cosmos, denominou-se 'pneuma', termo grego que significa 'espírito' ou 'alento'. O 'pneuma' penetra todas as substâncias e preenche todo espaço vazio, possui uma capacidade extraordinária de coesão e conexão das coisas para que não se desintegram, devido as qualidades tensoras que possui.

As propriedades elásticas do ar, sua compressibilidade, a força expansiva do vapor, proveniente do fogo, exprimiam razões físicas para esta primazia dada ao ar e ao fogo; no âmbito da biologia, por outro lado, as razões eram 'óbvias', dado o reconhecimento de que os processos térmicos eram indissociáveis da vida orgânica, essencialmente no que diz respeito ao crescimento e desenvolvimento biológico.

Assim, é possível perceber que a idéia de 'pneuma' rendeu frutos para as explicações gregas não apenas acerca do mundo natural, mas também as concepções biológicas no que se refere ao que determinava e do que dependia, por exemplo, a existência da vida. De acordo com Sambursky (1990, p.158) *'as funções dinâmicas do fogo e do ar foram estendidas para abarcar todos os fenômenos naturais'*. A suposição dos estóicos era de que os seres vivos estavam impregnados deste princípio vivo, dinâmico e 'regulador' do universo, o 'pneuma'. As variações na sua combinação propiciavam sua ligação a diversidade dos reinos orgânico e inorgânico, ao mundo físico em geral, associando-se, no primeiro

caso, diretamente a alma, ou seja, ele é entendido como um tipo de matéria primordial similar a alma. Tendo em vista a idéia de 'pneuma' como um pilar fundamental na concepção biológica dos estóicos, em virtude do pressuposto de que *'tudo que se nutre e cresce contém em si mesmo uma fonte de calor'* (Sambursky 1990, p.160), são essas funções dinâmicas que constituem o princípio ativo do 'pneuma', gérmen e princípio da vida, que possibilitam a existência do mundo natural.

Por outro lado, a busca de respostas aos primeiros questionamentos acerca da natureza da matéria, no século VI (a.C.), reflete um pensamento movido por uma necessidade ímpar de conhecer as leis que regem o universo. *'Do que o mundo é feito'* é a pergunta que norteia e desafia o espírito grego na Antiguidade Clássica. Os filósofos cuja crença comum é a busca de uma matéria prima na natureza contribuem para a formulação de inúmeras conjecturas referentes ao elemento básico a partir do qual tudo se origina, sinalizando, neste sentido, o nascimento da teoria atômica com Leucipo, desenvolvida por Demócrito, seu discípulo.

A idéia da matéria como não contínua, composta por partículas infinitas em número, duras, indestrutíveis e inacessíveis aos olhos humanos; articulada a idéia da ausência de matéria, ou seja, a existência do vazio, constituem o núcleo duro das premissas teóricas dos atomistas. O átomo grego é eterno, imutável e indivisível. Para Demócrito, isso repercute na idéia de que essas partículas, elementos fundamentais a partir dos quais se constrói a natureza, não surgem do nada, não se transformam e nem podem ser destruídos (Peduzzi, 2001). As características dos átomos, conforme Demócrito, são: firmes e sólidos, diferentes em tamanho e formas. Como realça Gaarder (1995, p.57), conforme a concepção de Demócrito, os átomos *"não podiam ser iguais, pois se todos os átomos fossem iguais não haveria explicação para o fato de eles se combinarem para formar de papoulas a oliveiras, do pêlo de um bode ao cabelo humano"*. Átomos com formas perfeitas e arredondadas, dotados de superfícies lisas; átomos disformes e irregulares, dotados de superfícies rugosas agrupados entre si resultavam na diversidade do mundo natural. A rigidez dos objetos devia-se ao maior ou menor grau de compactamento presente entre os átomos agregados. As cores, os contrastes entre sabores, enfim, a configuração do mundo grego estava estritamente ligada aos arranjos geométricos, movimentos e formas dos átomos (Peduzzi, 2001).

Assim, a constituição da alma, formada por átomos, não poderia fugir à tradição dessa escola materialista, que concebe matéria e vácuo (existência de átomos e vazio) no cerne da natureza. Assim como os estóicos, os atomistas dirigem seu pensamento no sentido de abarcar explicações que extrapolam o âmbito inorgânico, tecendo considerações inclusive sobre a vida.

Sambursk (1990) sinaliza em sua obra *'O mundo físico dos gregos'* que a escola estóica e a atomista são responsáveis por investigações acerca da propagação da luz, sobre bases extraídas de suas próprias convicções de mundo: a idéia da natureza contínua e discreta da matéria, respectivamente. Desta forma, este cenário ilustra uma imagem completa do contexto teórico no qual se consolidaram as convicções gregas sobre os mecanismos da visão, e igualmente sobre o que é a luz.

A física do contínuo concebe que se o ar é agitado por um impulso, dada sua natureza uniforme, sem espaços vazios, é capaz de propagar o sinal: “(...) ouvimos porque o ar que se encontra entre a voz e o que escuta é golpeado e se expande em ondas esféricas que alcançam nossos ouvidos, de maneira igual as ondas que se expandem em círculos em um tanque perturbado pelo lançamento de uma pedra” (Sambursky, 1990, p. 164)⁵⁶. Nesta perspectiva, a visão é propiciada pela luz que sai da alma do observador, se propaga por todo o corpo através do ‘pneuma’ que o preenche, até chegar ao olho. De lá, a luz perturba o ar, propagando-se até o objeto de interesse. A imagem se forma pela luz que do objeto se expande novamente em direção ao olho, que a retransmite para alma, através do ‘pneuma’ (Peduzzi, 2004).

Para os atomistas, apoiados na crença da descontinuidade da matéria, a luz é composta por átomos sutis, arredondados e velozes. A visão é possível em virtude de um fluxo de partículas emanado do objeto que apenas é assimilado pelos olhos. Neste fluxo de partículas, átomos dispõem-se em grupos formando ‘imagens em miniatura’, os ‘simulacros’, identificadas pelas estruturas dos olhos.

As conjecturas teóricas acerca da estrutura da matéria abrigam natureza e ênfases distintas; para os atomistas, a busca de um elemento básico, raiz fundamental que constitui todas as coisas, é essencial; para Platão e Pitágoras a primazia deve deslocar-se à estrutura e a forma geométrica; o que não exclui a formulação de hipóteses sobre os mistérios que cercam a visão. Assim, o encanto e o fascínio guia alguns filósofos gregos à investigações acerca dos fenômenos luminosos, orientadas por uma questão básica: a luz vem dos objetos que vemos; sai de nossos olhos para os mesmos; ou será um misto dessas alternativas? Bassalo (1990, p. 555). Para a doutrina pitagórica, os raios luminosos têm sua origem no objeto, deslocando-se até alcançar os olhos, da mesma forma que o comportamento de alguns astros, as chamas do fogo e os vaga-lumes. A hipótese de Platão pressupõe a existência de três raios necessários a visão: o raio visual, o raio proveniente do objeto, e o vindo das fontes iluminadores (Sol, lâmpada,...). Desta forma, explica por que não é possível enxergar no escuro: fundamentalmente em virtude da ausência deste terceiro raio.⁵⁷

As raízes históricas do conhecimento físico grego acerca da formação de imagens e da natureza da luz permitem uma reflexão: é possível considerar o confronto entre as concepções da vertente estoíca e atomista como precursoras⁵⁸ das teorias corpuscular (Newton) e ondulatória (Huygens) da luz desenvolvidas no século XVII? Em uma perspectiva mais geral: o conhecimento atual pode ser

⁵⁶ Segundo Sambursky (1990), os estoícos destacam-se também nas discussões sobre a propagação do som em um meio contínuo, pioneiros nesse sentido, originais inclusive na analogia clássica das ondas na água.

⁵⁷ De acordo com Bassalo (1990), há controvérsias em relação a hipótese pitagórica sobre o entendimento da visão. Para o historiador Ditchburn (1978; apud Bassalo, 1990, p.556), as imagens se formam devido a um fluxo visual emitido pelos olhos, contrastando com a postura adotada por Bassalo, em sintonia com a abordagem dada pelo historiador Hoffmann (1981; apud Bassalo, 1990, p.556).

⁵⁸ A idéia de precursor incorpora em sua essência a crença em um desenvolvimento cumulativo do conhecimento, sem respeitar o contexto histórico-cultural no qual nasce e se estrutura uma teoria. Contudo, cabe destacar que os cientistas não simbolizam gênios, que destituídos de toda e qualquer carga teórica mantém a imaginação livre, desconhecendo inclusive a história, com o objetivo de acessar o secreto do mundo natural.

analisado como a forma adulta de concepções embrionárias existentes em épocas passadas? Pressupondo, assim, um crescimento gradual, linear e contínuo, do conhecimento físico no que se refere à natureza da luz?

Parece, em princípio, simplista demais entender as idéias físicas do mundo grego como os embriões teóricos que fizeram germinar, tendo em vista um progresso cumulativo, o modelo ondulatória (Huygens) e corpuscular (Newton) da luz. Bachelard critica de forma contundente a imagem de um progresso contínuo do conhecimento científico, acentuando o caráter descontínuo da razão.

Como se pode evidenciar, as explicações dadas a visão e ao que vem a ser a luz, tanto pelos atomistas quanto pelos estóicos, estavam fundamentadas de acordo com filosofias de mundo. A partir do século XVII, a polêmica acerca da natureza da luz desencadeia-se entre dois modelos distintos: o corpuscular e o ondulatório. Vinculam-se a outro cenário histórico, caracterizado por novas idéias sobre o universo, ou seja, uma nova concepção de mundo, sinalizando descontinuidade no avançar do conhecimento científico.

No que se refere ao caráter descontínuo entre as concepções gregas e as concepções que começam a se firmar no século XVII sobre a luz e a visão, vale ressaltar que os primeiros conflitos de idéias, no domínio científico, se estabelecem entre Descartes e Fermat, ambos no campo teórico.

Para demonstrar a lei da refração, Descartes, em 1637, partindo da teoria corpuscular, infere de seus estudos que a velocidade da luz deveria ser maior em meios mais densos (mais refringentes). Já Fermat, em 1661, com base no 'postulado do tempo mínimo', chega a um resultado contrário, de que a luz em meios mais refringentes tem menor velocidade. A divergência entre as duas concepções teóricas (conflitantes), objetos de controvérsias, cresce com os trabalhos de Huygens (teoria em concordância com Fermat) e Newton (teoria de acordo com Descartes).

A filosofia tradicional da ciência interpreta a evolução histórica da cultura e do conhecimento a partir da imagem de um progresso contínuo. Essa crença difunde a imagem de que conceitos, idéias e teorias se desenvolvem como o desenrolar de um novo, os conhecimentos de forma gradativa somam-se uns aos outros sem respeitar seus distintos contextos de origem. Lopes (1996a, p.255) ressalta que segundo esta visão “as idéias atuais são entendidas como pré-existentes de forma embrionária em épocas anteriores”. De acordo com Lopes (1996a, p.256):

“Em síntese, os continuistas não analisam o pensamento filosófico inserido em sua cultura, com pressupostos e visões próprias de mundo, porque interpretam a cultura como um todo monolítico,

história cumulativamente contada, na qual há formulações de infância e de vida adulta. Insistem em ver todo acontecimento do passado como uma preparação dos acontecimento do presente.”

Nesta perspectiva, os saberes que constituem uma ciência, como a física, por exemplo, refletem uma construção estabelecida sobre uma única racionalidade, e domínios teóricos de natureza distinta manifestam a “*existência de um fio condutor de influências ao longo da história*”.

Entretanto, o cenário no qual se configuram as disputas acerca dos mecanismos da visão (entre concepções estóicas e atomistas) e da natureza da luz (entre Descartes e Fermat) é essencialmente antagônico para Bachelard (1990; 1999), defensor das rupturas no caminhar da ciência.

De acordo com esta postura descontinuista, a antiguidade clássica contempla ideais frontalmente dissonantes dos que constituem o contexto da ciência moderna: as concepções de mundo estão veiculadas a domínios de natureza distinta, agregados a pressupostos radicalmente dicotômicos. As revolucionárias e expressivas mudanças ocorridas no século XVII, em virtude da origem da ciência moderna, desencadeiam alterações profundas na compreensão da natureza, organização social e prática científica.

A tendência do pensamento clássico é dar primazia à construções teóricas que preferenciam explicar a totalidade dos fenômenos do mundo natural, apoiando as interpretações na evidência sensível, fundamentalmente. Por outro lado, a ascensão das ciências matemáticas sobre as considerações e exame da natureza articulada ao experimentalismo ilustram o nascimento de uma nova ‘imagem de natureza’ (Abrantes, 1998; Henry, 1997).

5.4.2 - Um breve percurso ao longo da história da óptica: de Newton a Einstein

A primazia conferida ao permanente processo de reconstrução do saber científico, na epistemologia histórica de Bachelard (1975), traduz o aspecto descontinuista da razão. As oscilações entre a teoria corpuscular e a teoria ondulatória da luz, vivenciadas pela comunidade científica a partir do século XVII, ilustram que não há um contínuo e linear entrelaçamento de idéias ao longo da história da óptica. Em contrapartida, essa trajetória histórica caracteriza-se por freqüentes rupturas e discontinuidades, mudanças de visão, pressupostos e convicções teóricas no que se refere às propriedades da luz, principalmente em virtude das evidências experimentais relativas à difração (1665), a interferência (1665) e a polarização (1667).

A concepção corpuscular newtoniana, apesar de rivalizar com a ondulatória proposta por Huygens (1678), predominou durante todo século XVIII. Estas concepções contemplam conjecturas teóricas antagônicas quanto à velocidade da luz, resolvidas com as experiências de Fizeau (1850) e Foucault (1851), que corroboram a hipótese ondulatória. No entanto, a maior

aceitação da concepção ondulatória se consolida anteriormente, com sua retomada por Young (1802) e mais tarde por Fresnel (Abrantes, 1998).

A experiência da fenda dupla de Young, realizada em 1801 (fig.1) fragiliza a hipótese corpuscular da luz, embora não seja determinante para seu abandono. Contudo, as figuras de interferência luminosa obtidas em um anteparo e o comprimento de onda da luz medido pela experiência constituem-se fortes componentes para o ressurgimento da hipótese ondulatória da luz, que culmina com as experiências de Airy, Foucault, e Fizeau.

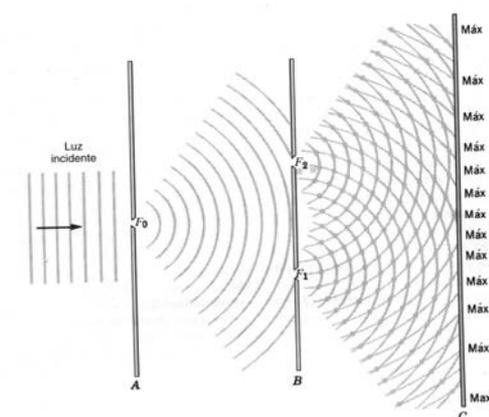


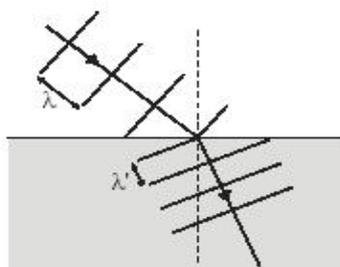
Fig 1. Na experiência de interferência de Young, a luz difratada em um orifício circular F_0 incide sobre os furos F_1 e F_2 na tela B. A luz difratada por esses dois furos superpõe-se sobre a tela C, produzindo uma figura de interferência. (Halliday et al., 1996, p.59)

Young propõe a hipótese da transversalidade das ondas luminosas, tendo em vista as vibrações em uma corda, perpendiculares à direção de propagação. Neste sentido, contrapõem-se à perspectiva de Huygens, que admitia, por analogia com o som, que as vibrações da onda luminosa eram longitudinais, ocorrendo na mesma direção de propagação da onda.

As experiências realizadas por Airy (1833) referente ao fenômeno de interferência, e, fundamentalmente, as de Foucault e Fizeau (1850), que medem a velocidade da luz em meios mais densos que o ar, se configuram essenciais para corroborar as premissas teóricas de Huygens.

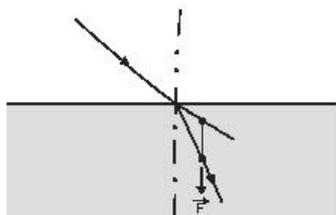
Para a teoria ondulatória, no que se refere ao fenômeno de interferência, o efeito das cores em uma placa delgada após a incidência de um feixe de luz era consequência da interferência da luz refletida pela primeira e segunda superfícies da placa; para a teoria corpuscular as cores produzidas resultavam da luz refletida pela segunda superfície somente. Assim, Airy (1833) de algum modo impediu a reflexão na primeira superfície, confirmando as previsões teóricas do modelo ondulatório (Rocha et al., 2002).

O modelo ondulatório previa que a velocidade da luz, ao passar do ar para a água, deveria diminuir. Como ilustra a figura a seguir, tendo em vista que o raio de luz refratado se aproxima da normal, a previsão teórica era de que o comprimento da onda refratada fosse reduzido ao incidir sobre um meio mais denso. Como a frequência é constante, a velocidade da luz deveria diminuir (Provão MEC, 2000):



(Figura 1 - Provão MEC, 2000)

Com pressupostos contrários, o modelo corpuscular previa que a velocidade da luz, ao passar do ar para a água, deveria aumentar. Como o raio de luz se aproxima da normal, observada na passagem da luz do ar para a água, a hipótese teórica sugeria que seria necessária a existência de uma força atuando no sentido de acelerar o corpúsculo para dentro da água, aumentando, por conseguinte, sua velocidade. A figura a seguir sintetiza essas premissas (Provão MEC, 2000):



(Figura 1 - Provão MEC, 2000)

A maior aceitação da teoria ondulatória frente à teoria corpuscular da luz (Newton) simboliza um descompasso neste percurso histórico, marcando um momento de ruptura na forma de pensar a natureza da luz.

Uma das contribuições fundamentais da epistemologia histórica de Bachelard é a primazia conferida ao permanente processo de reconstrução do saber científico, ao traço descontínuista da razão. A ciência é expressão de contínuas reformas: um novo pensamento sempre desencadeia um rompimento com estruturas conceituais solidamente firmadas.

No entanto, o triunfo da teoria ondulatória não é definitivo, interrompido pelo registro do efeito fotoelétrico por Hertz ao buscar confirmar experimentalmente a previsão de Maxwell de que a luz é uma onda eletromagnética. O efeito fotoelétrico caracteriza mais uma ruptura na ciência óptica.

O cenário era o seguinte: em determinadas situações a luz manifesta comportamento de partícula, como no efeito fotoelétrico, e em outras, como na experiência de Young, assume caráter

tipicamente ondulatório. Uma única teoria com a função de explicar e descrever fenômenos distintos, como os suscitados, era insuficiente.

O confuso e aparentemente contraditório comportamento da luz, articulado às investigações da radiação térmica de corpo negro, explicitam insuficiências da física clássica quando trata do âmbito das interações da radiação com a matéria. De um lado, Einstein interpreta o efeito fotoelétrico (1905) concebendo a luz como constituída de quanta de energia; por outro lado, Planck constata que os átomos emitem e absorvem energia de forma discreta. Assim questionam a física clássica, lançando as bases conceituais de um novo domínio, o universo quântico (Rocha et al, 2002).

Bachelard (1999, p.20) realça que:

“(...) as crises de crescimento do pensamento implicam uma reorganização total do sistema de saber. A cabeça bem feita precisa então ser refeita. Ela muda de espécie. Opõe-se a espécie anterior por uma função decisiva. Pelas revoluções espirituais que a invenção científica exige, o homem torna-se uma espécie mutante, ou melhor dizendo, uma espécie que tem necessidade de mudar, que sofre se não mudar. (...) Se considerarmos, por exemplo, a modificação psíquica que se verifica com a compreensão de doutrinas como a da Relatividade ou como a da Mecânica Ondulatória, talvez não achemos tais expressões exageradas...”

Conforme Bachelard, a cultura científica caracteriza-se essencialmente por descontinuidades. À medida que um conceito se modifica, e com o aparecimento de novos conceitos, rompe-se com o saber sedimentado, renovando suas bases. As mudanças extrapolam o âmbito puramente teórico, resultando muitas vezes em profundas rupturas nas convicções filosóficas dos cientistas, como a perspectiva dual da luz: trata-se, pois, de uma nova racionalidade.

A idéia de descontinuidade, no que concerne o referencial bachelardiano, segundo Santos (1991,p.135), tem como premissa básica que *“(...) o antes e o depois do conhecimento científico são irreduzíveis um ao outro e que, por isso são distintos”*. Santos continua, sugerindo que:

“(...) enquanto a tese continuísta defende que o presente da ciência depende do seu passado, que a ciência adiciona inovações, Bachelard defende que o passado não perspectiva o futuro, que a ciência não aglutina descobertas, antes as retifica e reorganiza; que o pensamento científico não desliza harmoniosamente de uma descoberta a outra; que as ligações entre as velhas e as novas teorias não são mecânicas – não conduzem diretamente daquelas a estas; que muitas destas ligações só, a posteriori, são determinadas. Sublinha que o processo da ciência não é linear, nem unívoco, mas dialético, descontínuo e inacabado.”

A defesa do progresso contínuo da razão, isto é, da trajetória histórica do conhecimento científico, está alicerçada em quatro pilares fundamentais. Em sua obra *'Epistemologia'*, Bachelard (2001, p.193-195) expõe e critica esta tese:

- as graduais transformações evidenciam o percurso linear e crescimento cumulativo do conhecimento científico, de acordo com os continuistas;

Entretanto, conforme Bachelard, as lentas transformações na construção de conceitos, idéias e teorias na ciência mascaram as crises, remodelações e profundas rupturas na essência destes conhecimentos, revelando mudanças científicas e não sinais de continuidade.

- o êxito da ciência é fruto da ação de cientistas que capturam idéias que permeiam no ar, conforme a proposição continuista, justamente porque *'as idéias atuais são entendidas como pré-existentes de forma embrionária em épocas anteriores'*;

Compreendida desta forma, segundo Bachelard, desconsidera-se as concepções de mundo de uma época ou momento histórico.

- a ciência é vista como extremamente fácil e simples, já que o conhecimento científico ancora-se ao conhecimento do senso comum. Nestes termos, o saber escolar assume a função de ponte entre estas estruturas conceituais;

Para Bachelard, esta idéia está equivocada, porque a ciência e o senso comum cumprem funções distintas nas explicações que tecem sobre as coisas: o compromisso da primeira com o rigor, seus procedimentos e práticas constituem um corpo teórico de racionalidade distinta das idéias geradas de forma espontânea no senso comum.

- julga-se simples estender as imagens e a linguagem da ciência clássica (ou do senso comum) para o âmbito da física contemporânea, estabelecendo de forma direta esta ligação;

Entretanto, a ciência quântica, intangível aos sentidos, não pode ser traduzida de forma completa pelas imagens, analogias e metáforas (linguagem) da esfera do senso comum ou da física clássica. Para Bachelard, estes recursos, quando utilizados para representar o universo microscópico, devem ser colocados sempre entre aspas, pois não refletem fielmente este

domínio. Assim, a linguagem e as imagens são expressões de constantes redefinições e resignificações à medida que caminham de uma racionalidade a outra. Em cada contexto deve haver clareza do alcance, por conseguinte, dos limites das imagens, das analogias e das metáforas.

A perspectiva de um encadeamento lógico de idéias, conceitos e teorias revela um traço marcante da imagem tradicional do fazer ciência, encerrando o conhecimento científico à uma sucessão de verdades (passos corretos) que se agregam ao longo do tempo. Com efeito, acredita-se que na história da ciência o erro não só não tem lugar, como sua inexistência, tal como é concebido pela corrente positivista, pode ser evidenciada no decurso da história do pensamento científico, tendo em vista que um conhecimento se soma a outro.

Para Bachelard, contrariamente, um conhecimento se dá contra outro, retificando constantemente os erros, superando entraves e dificuldades em seu percurso. O conhecimento científico não está encerrado à uma visão estanque e definitiva, contrariamente, configura-se dinâmico e vivo.

A história da óptica ilustra as rupturas que ocorrem no decorrer do desenvolvimento dessa ciência, forçando o espírito científico a pensar e repensar constantemente a forma de ver os fenômenos luminosos:

As mudanças de perspectivas da ciência, distintas trajetórias percorridas para alcançar conhecimentos, apontam o profundo dinamismo desta atividade, que, segundo Bachelard, exige a renúncia constante de bases filosóficas ultrapassadas.

As oscilações entre as teorias corpuscular e ondulatória da luz evidenciam, para Bachelard (1999), que a verdade constitui-se provisória, e o erro, neste sentido, assume papel positivo e inerente a prática científica. Contudo, o erro valorizado por Bachelard é aquele pensado, que surge não de forma gratuita e distraída, mas fruto do esforço do pensamento.

De acordo com a perspectiva tradicional, o erro configura-se um 'acidente lamentável', 'um equívoco', 'uma anomalia a ser arrancada' da prática científica, pois torna o conhecimento falível, estéril e infecundo. Nestes termos, deve ser condenado e suplantado por completo em qualquer atividade que exija a construção de conhecimento, seja no espaço escolar ou no campo científico. Idéia que não tem lugar na epistemologia histórica de Bachelard.

A primazia em geral conferida a verdade no ato de conhecer desconsidera o valor do erro na construção do saber e sua presença constante neste percurso. Segundo Bachelard (1999), o erro é o elemento motor do desenvolvimento da ciência por propiciar as condições necessárias para seu avanço.

Como ressalta Lopes (1996, p.252), para Bachelard “*precisamos errar em ciência, pois o conhecimento científico só se constrói pela retificação desses erros*”. Assim a noção de verdade se modifica. Não existe a verdade inquestionável, conhecimento inviolável que permaneça cristalizado ao longo da história. Toda idéia tem caráter efêmero, está sujeita a tornar-se obsoleta. Esta característica da evolução dos conceitos, idéias e teorias científicas mostra as constantes rupturas que se estabelecem no avanço de uma trajetória histórica, já que a verdade não se configura definitiva, mas provisória. O conhecimento é concebido como móvel, dinâmico, em detrimento de uma imagem estanque (Bachelard, 1975, p. 25).

ANEXO 4

5.9 - As novas perspectivas da ciência contemporânea à luz da epistemologia bachelardiana

5.9.1 - Diálogo entre a razão e a experiência: o papel do instrumental técnico na física contemporânea

De acordo com a corrente empirista, nos moldes tradicionais, o conhecimento confiável advém da experiência alheia a pressupostos teóricos, imaginação, intuição e especulações de qualquer gênero. Os fatos se apresentam de forma pura e transparente ao cientista que, paciente e atento, captura o que a natureza revela. Já a doutrina racionalista atribui a origem do conhecimento à razão.

A primazia conferida ou a razão ou a experiência como fonte única do conhecimento confiável, orientou diversas discussões entre filósofos da ciência (Praia et al., 2002). Conforme a idéia de novo espírito científico articulada às novas ciências do século XX, Bachelard (1975) destaca que não se pode conceber o racionalismo e o empirismo como posturas epistemológicas antagônicas, isto é, atribuir o conhecimento como expressão dos esforços exclusivos de uma ou outra vertente. A ‘verdade’ se revela ao cientista no diálogo constante entre o racional e o empírico. Entretanto, um traço marcante da epistemologia histórica de Bachelard refere-se a primazia conferida às construções racionais, que necessariamente precedem a experiência.

A noção de experiência, no que diz respeito às idéias de Bachelard (1975, p.8), relacionada à física contemporânea, não está ligada ao real dado, sensível aos sentidos, que valoriza sobretudo o ‘percebido’, o ‘imaginado’, mas sim a uma realidade construída pela técnica. Os instrumentos e artefatos tecnológicos mediam sujeito e objeto do conhecimento, distanciando o real científico (objeto científico) do senso comum. Neste sentido, o empirismo está ligado a uma realidade *construída* pela técnica.

A dialética racionalismo-empirismo e o valor do instrumental técnico podem ser explorados no exemplo da síntese teórica de De Broglie acerca da natureza dual dos elétrons. Guiado essencialmente pela idéia de que uma das características fundamentais da natureza é o princípio de simetria, De Broglie estendeu a dualidade onda-corpúsculo das ondas para partículas materiais, como o elétron. Conforme Bachelard (1975, p.233) “(...) *não se conhecia nenhum ‘fenômeno eletrônico’ que pudesse receber uma interpretação ondulatória. Como o empirismo não oferecia nada, o racionalismo deveria fazê-lo. O problema deveria ser abordado por via de construções racionais(...)*”. Configura-se, assim, uma ‘filosofia do movimento’, de acordo com a perspectiva bachelardiana, ilustrando o **diálogo constante entre a razão e a experiência**.

Corroborada mais tarde pela experiência de difração de elétrons, a intuição teórica de De Broglie conferiu a ele o mérito de ser um dos fundadores da Mecânica Quântica.

Conforme ressaltam Halliday et al. (1995, p.147):

“Foram raras as vezes em que os físicos se enganaram ao confiar nas simetrias da natureza. Por exemplo, depois de sabermos que um campo magnético variável produz um campo elétrico, faz sentido pensarmos (e de fato é verdade) que um campo elétrico variável produza um campo magnético. Sabia-se que o elétron possuía uma antipartícula (uma partícula de mesma massa, mas de carga oposta), e podia-se imaginar que o próton também tivesse uma antipartícula. Para confirmar esta hipótese, construiu-se um acelerador de prótons, com uma energia adequada, e o antipróton foi descoberto [detectado].”

Os registros experimentais obtidos a partir do dispositivo construído por Davisson e Germer (fig.2), corroboram o pressuposto teórico de De Broglie: a matéria, tradicionalmente analisada como um conjunto de partículas, possui propriedades ondulatórias. Desenvolvido especificamente para medir comprimentos de onda de elétrons, representa a concepção de Bachelard com relação ao que é a experiência na física quântica. O fenômeno não está na natureza, apresenta-se a partir de uma técnica.

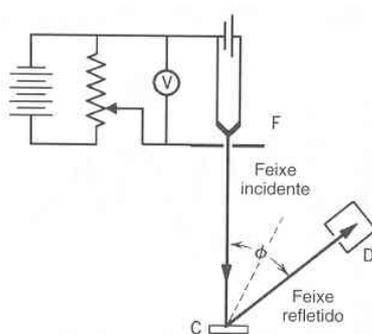


Fig. 2 Elétrons são emitidos por um filamento F e acelerados pela diferença de potencial variável V. Depois de serem refletidos pelo cristal C, eles são registrados pelo detector D [obtem-se uma figura de interferência], que pode ser movido por várias posições angulares ϕ . (Halliday et al., 1996, p.150)

De forma independente, em 1927 George Thomson⁵⁹ também chega aos mesmo resultados a partir de experimentos similares (fig.2a, 2b, 2c) ao de Davisson-Germer. Tanto George Thomson quanto Davisson receberam o prêmio Nobel por estes trabalhos.

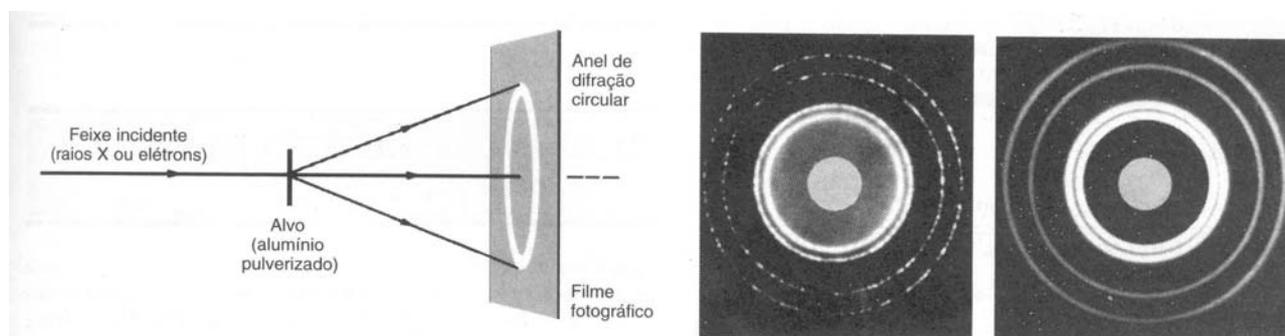


Fig.3(a) Um padrão de interferência é produzido utilizando um alvo pulverizado ou cristalino. (b) O padrão de difração de raios X de um alvo de alumínio pulverizado. (c) O padrão de difração de elétrons para o mesmo alvo. A energia do elétron foi escolhida de modo que o comprimento de onda de De Broglie seja igual ao comprimento de onda dos raios X em (b). (Halliday et al, 1996, p.151)

O processo de organização do pensamento determina a construção do objeto científico nas ciências físicas do século XX, que transcende os fenômenos ‘disponíveis’ espontaneamente no mundo natural. A ciência contemporânea trabalha com um mundo recomeçado, reconstruído e reestruturado pelo arsenal instrumental e técnico, rompendo com o saber comum, fonte de erros, enganos e distrações do pensamento, segundo Bachelard.

“A ciência de hoje em dia é deliberadamente ‘especializada’⁶⁰... Rompe com a natureza para construir uma técnica. Constrói uma realidade, esculpe a matéria, dá finalidade as coisas dispersas. Construção,... é aqui o trabalho humano, é aqui o trabalho científico.” (Bachelard, 1975, p.10)

Neste sentido, a ciência não dedica espaço apenas a elementos observáveis apresentados na natureza, como advoga a visão empírico-indutivista. A confiabilidade decretada somente às inferências

⁵⁹ Filho de J. J. Thomson, George Paget Thomson evidencia, através de experimentos de difração de elétrons, que eles realmente podem apresentar comportamento ondulatório.

⁶⁰ O termo original utilizado por Bachelard em sua obra *“A Atividade Racionalista na Física Contemporânea”* é *factícia*, que em vários momentos é suscitado pelo autor para designar uma característica essencial da cultura científica contemporânea. A construção do objeto científico evidencia essa ciência especializada, dirigida a investigação detalhada de um fato, em oposição a generalidade.

teóricas obtidas a partir da observação, fonte primeira do conhecimento, são revisadas pela filosofia histórica de Bachelard que aponta a construção do objeto científico como principal motor da atividade científica contemporânea. A experiência da fenda dupla de Young, o interferômetro de Michelson-Morley, a difração de elétrons, indicam o papel fundamental do instrumental técnico mediando sujeito e objeto do conhecimento.

O interferômetro de Milchelson-Morley (fig.4) construído em 1887 para medir a velocidade da luz no éter, meio que até então se acreditava necessário para a propagação da luz, acabou por refutar a hipótese teórica da presença do éter. Este exemplo específico explicita, além da relevância dos dispositivos técnicos na ciência, a importância do **diálogo entre a razão e a experiência**, característica acentuada na epistemologia histórica de Bachelard, fundamentalmente no que se refere às ciências contemporâneas.

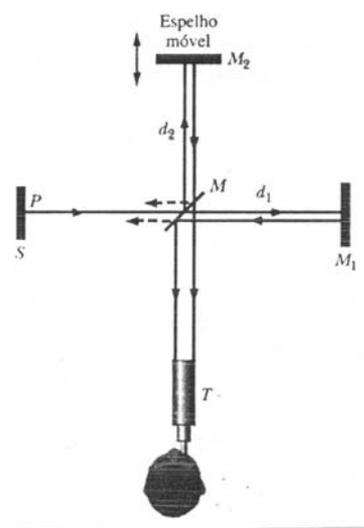


Fig.4 O interferômetro mostra o caminho seguido pela luz que parte de um ponto P de uma fonte S. O espelho M divide a luz em dois raios, que são refletidos pelos espelhos M_1 e M_2 de volta para M e daí para o telescópio T. no telescópio, o observador vê uma figura de interferência. (Halliday et al., 1995, p.75)

Entretanto os resultados obtidos inicialmente por Michelson não se configuraram de imediato suficientes para por abaixo o éter. Apenas oito anos após a construção do interferômetro e a primeira realização da experiência é que, aliando-se a Morley, Milchelson aperfeiçoou o instrumento para medir a velocidade da luz, e comparar o intervalo de tempo gasto por dois feixes emitidos de uma mesma fonte em duas direções perpendiculares. Se uma dessas direções fosse a do movimento da Terra em sua órbita ao redor do Sol e a outra perpendicular, uma diferença de intervalos de tempos deveria ser detectada. Mas, inacreditavelmente, o éter mostrou não ter qualquer efeito sobre a velocidade da luz, quer o feixe

se deslocasse na mesma direção ou perpendicular ao movimento terrestre. Se o éter existisse, a Terra estava em repouso! Este resultado propiciou uma revisão da hipótese teórica do éter.

Este exemplo explicita a relação entre o racionalismo e o empirismo, evidenciando que a dialética entre estas duas posturas filosóficas caracteriza o avanço da ciência, de acordo com Bachelard.

Os registros experimentais ou mesmo simples observações não se sustentam sem contar com um pilar teórico. Contudo, a teoria deve ser rivalizada com os dados, podendo apresentar falhas ou mesmo estar susceptível a tornar-se obsoleta. Além de assinalar este aspecto, Bachelard caracteriza a importância de uma 'conversa' entre o que a experiência diz e entre o que a teoria prevê. Nesta troca, ambas são questionadas, interrogadas, submetidas a constantes problematizações (Bachelard, 1975).

No episódio histórico explorado, as previsões da existência do éter, confrontada com sucessivos registros experimentais, sugerem uma revisão da hipótese teórica, dado o caráter negativo da experiência de Michelson-Morley, explicitando, o diálogo entre a razão e a experiência.

Com o engenhoso dispositivo, Michelson e Morley receberam o prêmio Nobel, em virtude fundamentalmente da construção do instrumento técnico, embora o resultado alcançado seja de inegável reconhecimento. Pode-se perceber neste caso e no exemplo da difração de elétrons o valor da técnica na estruturação de uma teoria na física contemporânea, que trata de fenômenos que são detectáveis somente a partir do experimento.

Por enfatizar estas novas perspectivas das ciências físicas propiciadas pelo advento da ciência quântica, Bachelard constitui-se um referencial importante para o estudo da evolução do pensamento científico.

A percepção bachelardiana de formação do novo espírito científico, ressaltada ao longo da história da óptica, ilustra, em virtude dos exemplos explorados, que o conhecimento atual nas ciências físicas está diretamente ligado aos instrumentos técnicos, evidenciando a estrita ligação entre teoria e técnica. A técnica é uma teoria materializada.